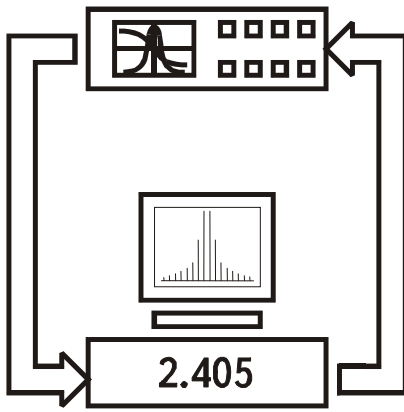


ISSN 2219-9365



*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, 2016, №2 (55)

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету, протокол № 11 від 29.5.2016 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://jml2012.indexcopernicus.com/+++++,p24781565,3.html>
Google Scholar http://scholar.google.com.ua/citations?user=nwN_nusAAAAJ&hl=uk
Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського <http://nbuv.gov.ua/j-tit/vott>

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); Злепко 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 Мамісвич, 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.; Туз Ю.М., д.т.н., проф.; Філінюк М.А., д.т.н., проф.; Шарпан О.Б., д.т.н., проф.; Шевченко К.Л., 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: (+380) 97-684-3429.

E-mail: vottp.tiv@gmail.com

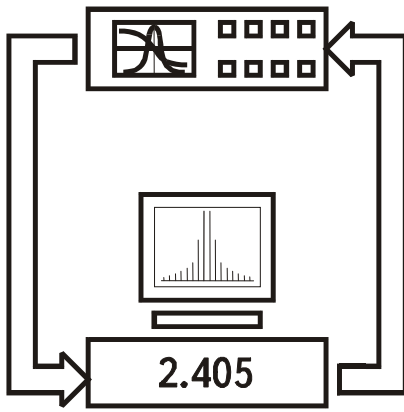
web: <http://fetronics.ho.com.ua>

<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.

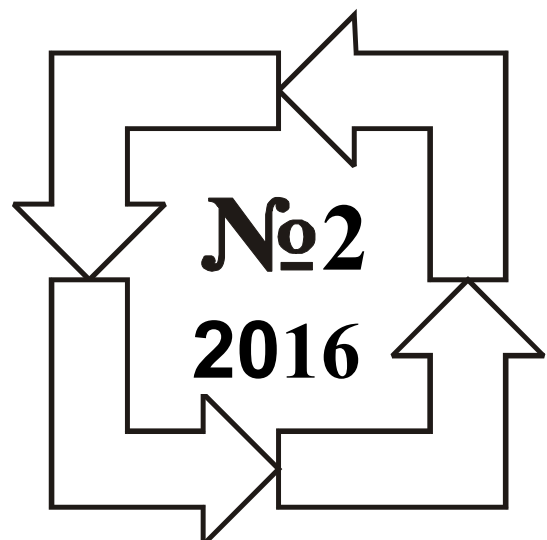
© Хмельницький національний університет, 2016
© Редакція "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", 2016

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, 2016, №2 (55)

**Advised for printing by solution of scientific council of
Khmelnytsky national university, protocol № 11 from 29.05.2016**

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
National library of Ukraine named after
V.I. Vernadsky (Kyiv, Ukraine)

The decision of Higher Attestation Commission, 10.02.2010, № 1-05/1

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37653
<http://jmi2012.indexcopernicus.com/+++++,p24781565,3.html>
http://scholar.google.com.ua/citations?user=nwN_nusAAAAJ&hl=uk
<http://nbuv.gov.ua/j-tit/vott>

Chief Editor
Deputy Editor and Chairman of Editorial Board
Executive Secretary

Ivan V. Trotsishin, prof., doctor of science
V.T. Kondratov, prof., doctor of science
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. ; **Filinyuk M.A.**, 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. ; **Popov Valentin**, 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. ; **Tuz Yu.M.**, prof.; **Sharpan O.B.**, prof. , **Shevchenko K.L.**, prof.; **Zhultovsky Bogdan**, prof. (Poland); **Zlepko S.M.**, 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: (+380) 97-684-3429 (Russian, Ukrainian)

E-mail: vottp.tiv@gmail.com (Russian, Ukrainian, English)

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, 2016**
© **Magazine "Measuring and Computing
Devices in Technological Processes", 2016**

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

В.Т. КОНДРАТОВ. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА УРАВНЕНИЙ ИЗБЫТОЧНЫХ И СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. СООБЩЕНИЕ 2	7
Й.Й. БЛИНСЬКИЙ, М.В. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ. АНАЛІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ	23
С.А. ДАРЗНЕК, Ж.Е. ЖЕЛКОБАЕВ. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ (НКТД)	30

ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Є.О. ЗАЙЦЕВ, А.С. ЛЕВИЦЬКИЙ, Б.А. КРОМПЛЯС. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ ДЛЯ ГІДРОГЕНЕРАТОРИВ МЕТОДАМИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ	35
О.О. ДРЮЧИН, В. І. ОТТ. СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ПЕРЕДАВАЧІВ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ	41
Г.М. КЛЕЩЁВ, О.В. ГРАБОВСКИЙ, О.Г. ЯНКОВСКИЙ. АКТИВНЫЙ МЕТОД БЕЗКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМИ ПРИБОРАМИ И КОРРЕКТИРОВКА ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ	46
О.С. ЛЕВИНСЬКИЙ, М.О. ГОЛОФЄЄВА, Ю.І. БАБИЧ. ВПЛИВ КУТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ	51
А.А. ЯКИМОВ, Л.В. БОВНЕГРА, Ю.И. БАБИЧ. ПОИСК ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕРЫВИСТЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ	55

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА РАДІОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

А.О. СЕМЕНОВ. ТРАНЗИСТОРНІ ГЕНЕРАТОРИ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ ДЛЯ ЗАСОБІВ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ	62
О.П. РУСУ, С.В. СТАЙКУЦА, Д.В. ГОЛЕВ, І.Г. БОЄВ. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ КОМПЛЕКСОМ АКОР-ЗПК	68
А.О. СНЕРОК. CALCULATION OF ESSENTIAL CHARACTERISTICS FOR EM SIGNAL TRANSPORTING ALONG LINEAR NANO-SCALE Ag/Au/Cu-WAVEGUIDES IN SiO ₂	74
С.П. КОНОНОВ, М.М. МИРГОРОДСЬКИЙ. ІДЕНТИФІКАТОРИ ЧАСТОТИ ЗІГ СВІП-ГЕНЕРАТОРА	80

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, О.Г. БОРТНИК. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	85
О.Б. В'ЮНЕНКО, А.В. ТОЛБАТОВ, В.А. ТОЛБАТОВ, С.В. ТОЛБАТОВ. ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ	90
О.О. БРОВАРЕЦЬ. ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РОСЛИННИЦТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОТОЧНОГО ТА ПРОГНОЗОВАНОГО АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ	97
С.М. ЛЕВИЦЬКИЙ, М.П. РОЗВОДЮК. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗБОРУ ДАНИХ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОФІСНИХ ДОДАТКІВ MICROSOFT	104
С.А. ЗОРИ. К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ	112
О.Н. РОМАНИУК, І.В. АБРАМЧУК О.О. ДУДНИК. АНІЗОТРОПНА ФІЛЬТРАЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАГОВОЇ ФУНКЦІЇ НА ОСНОВІ ГАУСІВСЬКОЇ МОДЕЛІ ПІКСЕЛЯ	117

БІОМЕДИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ

М.Ф. БОГОМОЛОВ. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДІАГНОСТИКИ СПОТВОРЕНЬ НОРМАЛЬНОГО СТАНУ ФОРМЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ	122
---	-----

А.А. ХАМЗА, О.А. ХАМЗА, А.П. МАРЧЕНКО. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	127
М.В. БАЧИНСЬКИЙ, Н.В. ТИТОВА, С.В. ТИМЧИК, А.Ю. КЛАПОУЩАК. ОПТОЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ І ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЛЮДИНИ	130
Я.В. САВЕНКО. МЕТОД ФУНКЦІЙ ПЕРЕВАГ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ІНТЕГРОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МЕДИКО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ	136
А.Е. АПИКОВА. НЕЙРОННАЯ СЕТЬ В РАСПОЗНАНИИ ХРИПОВ ДЫХАТЕЛЬНОГО ПАТТЕРНА	141

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ

А.В. РУДИК. ВИКОРИСТАННЯ СТЕЛС-ТЕХНОЛОГІЙ В МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ ТА МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОПОМІТНИХ ОБ'ЄКТІВ	146
V. ТІКНОНОВ, А. ТАНЕР, О. ТУКНОНОВА. SIMULATION THE ALGORITHM OF MULTIMEDIA DATA INTEGRATION IN PACKET BASED DIGITAL CHANNEL	151
Н.Г. КАНАКИ, И.Л. АФОНИН, П.А. БУГАЁВ. СПОСОБ ШИФРОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ	156
М.О. ПАТЛАСНКО. АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ У ЗАСТОСОВАННЯХ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	161
В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСТАНОВКИ SMD-КОМПОНЕТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ	168
А.А. БАРТЕЦЬКИЙ. МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КІЛ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	172
А.Я. ШИРИНОВА, У.Э. ГАСАНОВА, И.С. ДЖАМАЛЬХАНОВА. ИССЛЕДОВАНИЕ И ЗАЩИТА МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ	177
О.Б. ШАНДИБА. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЕЙЛЕРА ТА ЛАГРАНЖА В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ГІДРОДИНАМІКИ	181

ПРЕЦИЗИЙНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

С.В. СТАЙКУЦА, В.Й. КІЛЬДІШЕВ. ІДЕНТИЧНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ЯК ЕЛЕМЕНТ МОДЕЛІ КІБЕРБЕЗПЕКИ	185
V.F. ТІМКОВ, S.V. ТІМКОВ, V.A. ЗНУКОВ. FRACTAL STRUCTURE OF THE UNIVERSE	190
V.F. ТІМКОВ, S.V. ТІМКОВ, V.A. ЗНУКОВ. THE GRAVITATIONAL-ELECTROMAGNETIC RESONANCE OF THE SUN IN THE LOW-FREQUENCY OF RADIO SPECTRUM OF THE JUPITER	198
В.М. КИЧАК, В.Д. ТРОМСЮК. ОЦІНЮВАННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА ПОЗИЦІЙНОГО МЕТОДІВ	204
В.А. ВЫШИНСКИЙ. МОДЕЛЬ ПОЯВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА В ПРИРОДЕ	210
Д.В. МИХАЛЕВСЬКИЙ, Л.А. РОГОЗИНА, А.В. КРУТІНЬ. ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ СТАНДАРТУ 802.11n ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ 5 ГГц	214
АШРАФ И.М. АЛЬКЕЙСИ. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ВНЕШНЕДОММНОЙ И ВНЕСЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИЙ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА λ-MPLS	219
В.В. ГРАБКО, С.М. ЛЕВИЦЬКИЙ, В.С. БОМБИК. КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ БАГАТОРІВНЕВИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ	230

УДК 389:681.2

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова, г. Киев

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
УРАВНЕНИЙ ИЗБЫТОЧНЫХ И СВЕРХИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
СООБЩЕНИЕ 2**

В Сообщении 2 дальнейшее развитие получила теория и методы структурного анализа уравнений избыточных и сверхизбыточных измерений, направленные на повышение качества (точности, достоверности, оперативности, сопоставимости и стабильности) вычислительной обработки данных.

Рассмотрены пути осуществления структурного анализа и виды структур уравнений сверхизбыточных измерений. Впервые разработаны и приведены абсолютные, относительные и специальные показатели модифицированных и конституированных структур уравнений сверхизбыточных измерений, а также их условные обозначения.

Приведены общие основания для проведения декомпозиции уравнений сверхизбыточных измерений. Сформулированы этапы проведения общей процедуры структурного анализа.

Разработано ряд методов декомпозиции структуры уравнений сверхизбыточных измерений, описана их сущность и т.д.

Работа представляет интерес для ученых-метрологов, специалистов, магистров и аспирантов, изучающих методы избыточных и сверхизбыточных измерений физических величин, пути и методы повышения точности машинной обработки данных.

Ключевые слова: объединения данных, декомпозиция, структурный анализ, уравнения (сверх)избыточных измерений.

V. T. KONDRATOV

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

**FUNDAMENTAL METROLOGY:
THE THEORY OF THE STRUCTURAL ANALYSIS OF THE EQUATIONS
OF REDUNDANT AND SUPER-REDUNDANT MEASUREMENTS
The message 2**

Abstract — In the message 2 further development was received by the theory and methods of the structural analysis of the equations of the redundant and super-redundant measurements, directed on improvement of quality (accuracy, reliability, efficiency, comparability and stability) computing data processing.

Ways of realization of the structural analysis and kinds of structures of the equations of super-redundant measurements are considered.

For the first time absolute, relative and special indicators modified and legally constituted structures of the equations of super-redundant measurements, and also their symbols are developed and resulted.

The general bases for carrying out of decomposition of the equations of super-redundant measurements are resulted. Stages of carrying out of the general procedure of the structural analysis are formulated.

It is developed a number of methods of decomposition of structure of the equations of super-redundant measurements, their essence is described.

Work is of interest for scientists-metrologists, experts, masters and the post-graduate students studying methods of redundant and super-redundant measurements of physical quantities, ways and methods of increase of accuracy by data processing car.

Keywords: associations of data, decomposition, the structural analysis, the equations of redundant measurements.

Введение

В сообщении [1] описаны философские аспекты теории структурного анализа уравнений (сверх)избыточных измерений: законы, научные принципы и категории. Показано, что структура уравнений сверхизбыточных измерений (УСИИ) должна рассматриваться как состоящая из функционально независимых друг от друга, но закономерно связанных между собой объединений преобразованных и нормированных по значению физических величин, констант и коэффициентов пропорциональности, входящих в состав модифицированного УСИИ или уравнения числовых значений (УЧЗ).

В настоящем сообщении рассматриваются виды и типы структур, элементы и показатели структур УСИИ, в том числе и показатели модифицированных и конституированных структур УСИИ, процедура структурного анализа, его особенности, вопросы декомпозиции структур УСИИ, а также методы декомпозиции, направленные на повышения точности и оперативности машинной обработки данных.

Объектом исследований является процесс изучения статических характеристик исходной и модифицированной структуры УСИИ, направленный на получение системы знаний об уравнении (сверх)избыточных измерений, об оптимальном алгоритме обработки данных во времени и в пространстве, а также о результатах оценки метрологических характеристик полученной структуры УСИИ или УЧЗ.

Предметом исследований являются: пути и методы осуществления структурного анализа УСИИ, показатели модифицированных и конституированных структур, процессы и методология декомпозиции УСИИ, процедура структурного анализа, объединения и модификации, направленные на всестороннюю оценку возможностей теории и методов структурного анализа УСИИ по повышению качества вычислительной обработки результатов измерительного преобразования рядов физических величин.

Целью работы является создание основ теории и методов структурного анализа уравнений избыточных и сверхизбыточных измерений.

Результаты исследований

1. Структурный анализ уравнений (сверх)избыточных измерений

Решаемые задачи

Структурный анализ уравнений избыточных измерений имеет свои особенности и включает решение следующих задач:

- определение типа структуры уравнения (сверх)избыточных измерений (линейная, функциональная, линейно-функциональная и др.);
- оценка и определение рационального числа уровней декомпозиции;
- распараллеливание структуры УСИИ с целью повышения оперативности обработки данных и определения оптимального числа микропроцессорных ядер в микроконтроллере;
- управление процессом обработки данных объединений и модифицированной структуры УСИИ в целом;
- оценка и порядок проведения вычислительных операций для обеспечения требуемой точности, достоверности и оперативности обработки;
- анализ и тестирование алгоритмов машинной обработки данных и др.

Типы структур

По степени упорядоченности различают следующие типы структур:

неупорядоченная или частично упорядоченная структура — структура с ограниченным количеством выделенных элементов, используемых для формирования объединений физических величин и коэффициентов и обработки их значений, представленных в виде приближенных чисел.

упорядоченная структура — иерархическая* структура, обеспечивающая выделение и формирование объединений, декомпозицию структуры и обработку приближенных чисел по частям, без распараллеливания структуры, но согласно порядку действий над числами и с учетом правил округления результатов сложения, вычитания, умножения и деления и т.д.;

модифицированная структура — оптимальная структура** уравнения (сверх)избыточных измерений, созданная в результате декомпозиции и распараллеливания исходной структуры, и выраженная через показатели объединений с неизменными базовыми связями между ними;

конституированная структура — модифицированная структура с видоизмененными локальными связями между структурными элементами внутри объединений и с сохраненными базовыми связями между объединениями, предназначенная для высокоточной математической обработки приближенных чисел с использованием операций распараллеливания и для создания алгоритма микропроцессорной обработки исходных и промежуточных данных.

Виды иерархических структур и их характеристика

В структурном анализе УСИИ различают четыре вида иерархических структур: линейная, функциональная, линейно-функциональная и составная структура неявного (неопределенного) вида.

Линейная структура модифицированного УСИИ характеризуется, как правило, одним-двумя показателями — вариантом метода и константой метода. Может быть представлена в виде двух параллельных ветвей (формализованных записей или «каналов») с ограниченным числом линейно соединенных структурных элементов, открытым или скрытым для глубинного анализа алгоритмом машинной обработки данных (с выполнением простых математических операций вычитания, умножения, сложения и деления).

Функциональная структура характеризуется тремя и более показателями, — основными и дополнительными вариантами метода, константами метода и переменными константами метода. Она может быть представлена двумя и более параллельными ветвями с распределенными во времени двумя, тремя и более шагами (операциями) обработки показателей согласно последовательности математических операций, открытым или скрытым для глубинного анализа алгоритмом машинной обработки данных (с выполнением математических операций возведения в квадрат, извлечения квадратного корня, логарифмирования, потенцирования вычитания, умножения, сложения и деления).

Структура смешанного типа (линейно-функциональная) является комбинированной (линейной и нелинейной) структурой и характеризуется всевозможными показателями модифицированных структур УСИИ и их связями между собой и с другими данными. Такая структура может быть представлена двумя и более параллельными ветвями, каждая из которой описывается распределенной во времени цепочкой математических операций одновременной обработкой данных, открытым или скрытым для глубинного анализа алгоритмом машинной обработки исходных и промежуточных данных и показателей.

Структуры неявного вида — структуры уравнений (сверх)избыточных измерений, представленные в неявном виде (независимые переменные $x_i, x_0, x_i + x_0, \dots$ и функции y_1, y_2, y_3, \dots связаны уравнением вида $F(x_i, x_0, x_i + x_0, \dots, y_1, y_2, y_3, \dots) = 0$, которое не разрешено относительно x_i , предполагающие распараллеливание вычислительных операций и использование для сравнения машинных операций поразрядного уравнивания.

Данная структура может быть представлена тремя-четырьмя и более параллельными ветвями, представляющими собой распределенные во времени цепочки математических операций одновременной

* Термин *иерархия* означает соподчиненность элементов структуры

** по числу элементов и вычислительных операций

обработкой данных, открытый или скрытый для глубинного анализа алгоритм машинной обработки исходных данных, промежуточных, а также показателей модифицированной структуры УСИИ.

Элементы и показатели структуры уравнений (сверх)избыточных измерений

При структурном анализе используются следующие элементы и показатели структуры УСИИ.

Элементы структуры, выражаемые посредством принятых обозначений и символов:

1. Преобразованные (не нормированные по значению) физические величины, их характеристики и связи (математические операции);

2. Физические величины, нормированных по значению, их характеристики и связи;

3. Преобразованные физические величины, нормированные по значению, их характеристики и связи;

4. Размерные универсальные физические константы.

Обобщенные показатели и коэффициенты:

1. Основная константа метода;

2. Дополнительная константа метода;

3. Основная переменная константа метода;

4. Дополнительная переменная константа метода;

5. Основная варианта метода;

6. Дополнительная варианта метода;

7. Коэффициенты пропорциональности;

8. Коэффициенты деления;

9. Коэффициенты масштабирования;

10. Коэффициент связи номинальных по значению показателей объединений;

11. Коэффициенты в виде аликвотных (египетских) дробей ($1/n$, где n — натуральное число, или числовые значения);

12. Коэффициенты трансформации и т.д. и т.п.;

13. Универсальные физические константы (безразмерные);

14. Закономерные связи (зависимости) между нормированными по значению физическими величинами, входящими в объединение, с априори известными характеристиками;

15. Закономерные связи между преобразованными физическими величинами, входящими в состав объединений;

16. Закономерные связи между априорно и апостериорно полученными физическими величинами;

17. Закономерные связи между физическими величинами и коэффициентами и т.д.;

Общие свойства вариант, констант и переменных констант

Разнообразие показателей модифицированной структуры УСИИ приведено в табл. 1.

Приведенные показатели представляют качественные и количественные характеристики объединений физических величин и коэффициентов, входящих в уравнения (сверх)избыточных измерений и обладают следующими общими свойствами:

1. Одноименные качественные характеристики представляют идентичные структуры объединений преобразованных физических величин установленных и неизвестных размеров (значений) и нормированных по значению физических величин и (см. табл. 1, 1-й, 2-й и 3-й столбцы соответственно);

2. Все показатели представляют собой безразмерные коэффициенты относительной изменчивости физических величин, входящих в объединение;

3. Числовые значения показателей изменяются линейно при малых линейных изменениях значений погрешностей измерительного преобразования или воспроизведения любой из физических величин, входящих в состав аналитического выражение, описывающего данное объединение (см. графические построения, приведенные на рисунке);

4. Числовые значения показателей увеличиваются линейно при одновременных малых линейных изменениях значений погрешностей измерительного преобразования или воспроизведения физических величин, входящих в состав числителя аналитического выражение, описывающего данное объединение (см. рисунок, прямые O_1A_1 , O_3A_3 , O_4A_4).

Отметим, что при графических построениях использовалось уравнение числовых значений $k_x = [(10 + \{\Delta_{x1}\}) - (2 + \{\Delta_{x2}\})] / [(8 + \{\Delta_{x3}\}) - (2 + \{\Delta_{x4}\})] = (8 + \{\Delta_{x12}\}) / (6 + \{\Delta_{x34}\})$ и его составные части — числитель и знаменатель. Изменение значения погрешности от нуля до единицы принято условно, с целью получения видимых изменений значений показателя k_x . Здесь $\{\Delta_{x1}\} \dots \{\Delta_{x34}\}$ — значения единиц младшего разряда.

5. Числовые значения показателей уменьшаются линейно при увеличении (одновременных малых линейных изменениях) значений погрешностей измерительного преобразования или воспроизведения физических величин, входящих в состав знаменателя аналитического выражения (см. рисунок, прямые O_1B_1 , O_3B_3 , O_4B_4);

6. Числовые значения показателей изменяются линейно при одновременных малых линейных изменениях значений погрешностей измерительного преобразования или воспроизведения физических величин, входящих в состав числителя и знаменателя аналитического выражение, описывающего данное объединение (см. рисунок, прямые O_1C_1 , O_2C_2 , O_3C_3 , O_4C_4). Причем, если значение числителя превышает значение знаменателя, то значение погрешности линейно увеличивается (см., например, изменения значений k_x в точках D_2 и E_2 относительно точек G_1 и G_2 , а также в точках D_4 и E_4 относительно точек H_4 и G_4). В противном случае ее значение уменьшается (см. значения, отмеченные точками H_3 и M_3), H_4 и M_4).

Показатели модифицированной структуры уравнений (сверх)избыточных измерений			
№ п/п	Варианты метода	Вариабельные константы метода	Константы метода
1	$k_{x1} = \frac{S'_l(x_i + x_0) - S'_l x_0}{S'_l(x_i + x_0) - S'_l x_i} = \frac{x_i}{x_0}$	$k_{v1} = \frac{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}}{S'_l x_{02} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{01}}{x_{02}}$	$k_{o1} = \frac{x_{01}}{x_{02}}$
2	$k_{x2} = \frac{S'_l x_i - S'_l x_{00}}{S'_l x_0 - S'_l x_{00}} = \frac{x_i}{x_0}$	$k_{v2} = \frac{S'_l x_{02} - S'_l x_{00}}{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{02}}{x_{01}}$	$k_{o2} = \frac{x_{02}}{x_{01}}$
3	$k_{x3} = \frac{S'_l(x_i + x_0) - S'_l x_0}{S'_l x_0 - S'_l x_{00}} = \frac{x_i}{x_0}$	$k_{v3} = \frac{S'_l(x_{02} + x_{01}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{02}}{x_{01}}$	$k_{o3} = \frac{x_{02}}{x_{01}}$
4	$k_{x4} = \frac{S'_l(x_i + x_{01}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}} = \frac{x_i}{x_{02} - x_{01}}$	$k_{v4} = \frac{S'_l x_{03} - S'_l x_{00}}{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}} = \frac{x_{03}}{x_{02} - x_{01}}$	$k_{o4} = \frac{x_{03}}{x_{02} - x_{01}}$
5	$k_{x5} = \frac{S'_l(x_i + x_{01}) - S'_l x_{01}}{S'_l(x_{02} + x_{01}) - S'_l x_{00}} = \frac{x_i}{x_{02} + x_{01}}$	$k_{v5} = \frac{S'_l x_{03} - S'_l x_{00}}{S'_l(x_{02} + x_{01}) - S'_l x_{00}} = \frac{x_{03}}{x_{02} + x_{01}}$	$k_{o5} = \frac{x_{03}}{x_{02} + x_{01}}$
6	$k_{x6} = \frac{S'_l(x_i + x_{02}) - S'_l(x_{02} + x_{01})}{S'_l x_{03} - S'_l x_{00}} = \frac{x_i - x_{01}}{x_{03}}$	$k_{v6} = \frac{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}}{S'_l x_{03} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{02} - x_{01}}{x_{03}}$	$k_{o6} = \frac{x_{02} - x_{01}}{x_{03}}$
7	$k_{x7} = \frac{S'_l x_i - S'_l x_{01}}{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}} = \frac{x_i - x_{01}}{x_{01}}$	$k_{v7} = \frac{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}}{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{02} - x_{01}}{x_{01}}$	$k_{o7} = \frac{x_{02} - x_{01}}{x_{01}}$
8	$k_{x8} = \frac{S'_l(x_i + x_{02}) - S'_l x_{00}}{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}} = \frac{x_i + x_{02}}{x_{01}}$	$k_{v8} = \frac{S'_l(x_{01} + x_{02}) - S'_l x_{00}}{S'_l x_{01} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{01} + x_{02}}{x_{01}}$	$k_{o8} = \frac{x_{01} + x_{02}}{x_{01}}$
9	$k_{x9} = \frac{S'_l x_i - S'_l x_{01}}{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}} = \frac{x_i - x_{01}}{x_{02} - x_{01}}$	$k_{v9} = \frac{S'_l x_{03} - S'_l x_{01}}{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}} = \frac{x_{03} - x_{01}}{x_{02} - x_{01}}$	$k_{o9} = \frac{x_{03} - x_{01}}{x_{02} - x_{01}}$
10	$k_{x10} = \frac{S'_l x_i - S'_l x_{01}}{S'_l(x_i + x_{02}) - S'_l x_{00}} = \frac{x_i - x_{01}}{x_i + x_{02}}$	$k_{v10} = \frac{S'_l x_{03} - S'_l x_{01}}{S'_l(x_{02} + x_{01}) - S'_l x_{00}} = \frac{x_{03} - x_{01}}{x_{01} + x_{02}}$	$k_{o10} = \frac{x_{03} - x_{01}}{x_{01} + x_{02}}$
11	$k_{x11} = \frac{S'_l(x_i + x_0) - S'_l x_{00}}{S'_l x_i - S'_l x_0} = \frac{x_i + x_0}{x_i - x_0}$	$k_{v11} = \frac{S'_l(x_{02} + x_{01}) - S'_l x_{00}}{S'_l x_{02} - S'_l x_{01}} = \frac{x_{02} + x_{01}}{x_{02} - x_{01}}$	$k_{o11} = \frac{x_{02} + x_{01}}{x_{02} - x_{01}}$
12	$k_{x12} = \frac{S'_l(x_i + x_{02}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_i - S'_l x_{00}} = \frac{(x_i + x_{02}) - x_{01}}{x_i}$	$k_{v12} = \frac{S'_l(x_{03} + x_{02}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_{03} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{03} + (x_{02} - x_{01})}{x_{03}}$	$k_{o12} = \frac{x_{03} + (x_{02} - x_{01})}{x_{03}}$
13	$k_{x13} = \frac{S'_l(x_i - x_{01}) - S'_l x_{02}}{S'_l x_i - S'_l x_{00}} = \frac{x_i - (x_{01} + x_{02})}{x_i}$	$k_{v13} = \frac{S'_l(x_{03} - x_{02}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_{03} - S'_l x_{00}} = \frac{x_{03} - (x_{02} + x_{01})}{x_{03}}$	$k_{o13} = \frac{x_{03} - (x_{02} + x_{01})}{x_{03}}$
14	$k_{x14} = \frac{S'_l x_i - S'_l x_{01}}{S'_l(x_i + x_{02}) - S'_l x_{01}} = \frac{x_i - x_{01}}{x_i + (x_{02} - x_{01})}$	$k_{v14} = \frac{S'_l x_{03} - S'_l x_{01}}{S'_l(x_{03} + x_{02}) - S'_l x_{01}} = \frac{x_{03} - x_{01}}{(x_{03} - x_{01}) + x_{02}}$	$k_{o14} = \frac{x_{03} - x_{01}}{(x_{03} - x_{01}) + x_{02}}$
15	$k_{x15} = \frac{S'_l(x_i + x_{02}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_i - S'_l x_{01}} = \frac{(x_i - x_{01}) + x_{02}}{x_i - x_{01}}$ и др.	$k_{v15} = \frac{S'_l(x_{03} + x_{02}) - S'_l x_{01}}{S'_l x_{03} - S'_l x_{01}} = \frac{(x_{03} - x_{01}) + x_{02}}{x_{03} - x_{01}}$ и др.	$k_{o15} = \frac{(x_{03} - x_{01}) + x_{02}}{x_{03} - x_{01}}$ и др.

Указанные изменения незначительны по сравнению с изменениями погрешностей в числителе или в знаменателе (см. прямые $O_2 C_2$, изменение положения точки M_2 относительно точки G_2).

Между показателями объединений физических величин и коэффициентов существуют следующие отличия:

1. Отличия в значениях показателей объединений, обусловленные разными видами связей (математических операций) между физическими величинами и коэффициентами, а следовательно, и в алгоритмах определения числовых значений показателей этих объединений.

2. Отличия в способах определения значений вариант метода и их погрешностей, переменных констант метода и их погрешностей по отношению к способам определения значений констант метода и их погрешностей. Благодаря «ручному» способу вычисления значений констант метода, погрешности вычисления минимальны и зависят от установленных значений погрешностей воспроизведения нормированных по значению одноименных физических величин, входящих в состав объединения.

3. Отличия в погрешностях определения значений показателей.

Наименьшие значения погрешности получают при определении значений констант метода. Погрешности воспроизведения установленных значений физических величин в 3 – 5 (10) раз меньше погрешностей определения значений искомой физической величины и поэтому результирующая погрешность определения значения константы метода минимальна. Значения погрешностей определения значений переменных констант метода больше значений погрешностей определения констант метода, но меньше погрешностей определения вариант метода. Это объясняется наличием не только погрешностей воспроизведения, но и погрешностей измерительного преобразования нормированных по значению физических величин.

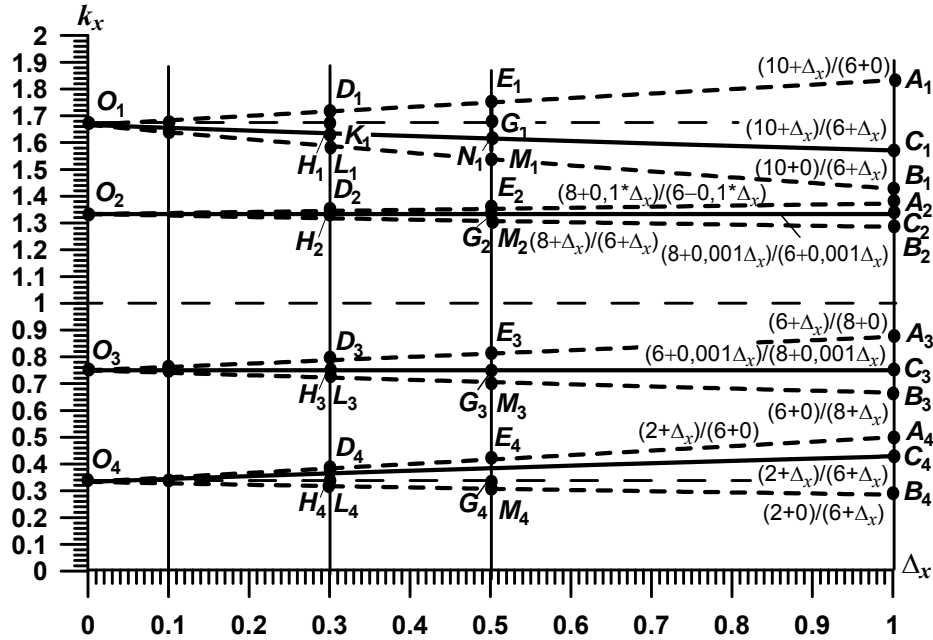


Рисунок. Графики зависимости значений варианты метода при линейном увеличении значений погрешности в небольших пределах

Наибольшие погрешности присущи результатам измерительного преобразования физических величин неизвестного размера, поскольку к ним добавляются и погрешности округления данных.

4. Отличия в структуре базовых связей между объединениями модифицированных структур УСИИ, при идентичных индивидуальных особенностях объединений.

5. Погрешности определения значений варианты метода и переменной константы метода, как частных от деления разностей двух величин, меньше составляющих погрешностей определения числовых значений числителя и знаменателя.

6. Отличия в индивидуальных особенностях структуры связей между физическими величинами каждого объединения, приводящих к различиям между модифицированными структурами УСИИ даже при одних тех же базовых связях и показателях объединений физических величин и коэффициентов.

Другими словами, модифицированные структуры, идентичные по базовым связям между объединениями, могут отличаться между собой тонкими структурами (конфигурациями) самих объединений.

7. Отличия в последовательности выполнения математических операций.

8. Отличия в использовании или не использовании уравнений замены величин с другим набором математических операций. Например, операция перемножения значений двух физических величин может быть представлена как $k_0 k_x$ или $[(k_0 + k_x) / k_2]^2 - [(k_0 - k_x) / k_2]^2$ (где $k_2 = 2$), операция $e^{k_x \ln k_0}$ — как $k_0^{k_x}$.

Если варианта метода $k_x = \frac{\{U'_5\} - \{U'_2\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}}$, то ее можно определить, например, как $\lg k_x = \lg(\{U'_5\} - \{U'_2\}) - \lg(\{U'_2\} - \{U'_1\}) = n$ с последующим использованием табличных данных логарифма и потенцирования: $k_x = 10^n$, т.е. нахождение числового значения по известному значению его логарифма.

Основные показатели структур УСИИ

К основным показателям структур УСИИ относятся [2]:

1. Ограниченное множество выделенных объединений;
2. Характеристики структурных элементов и связей внутри объединений;
3. Обобщенные показатели структур УСИИ, характеризующие их влияние на общность и различия, а также на структурные характеристики (варианты метода, константы метода, переменные константы метода, погрешности констант и коэффициентов, результирующую погрешность обработки данных по объединениям и данные модифицированной структуры в целом и др.).

4. Эффективность обработки данных:

по затратам времени $E_{t_3} = \Delta t_o / \Delta t_M$, где Δt_o и Δt_M — затраты времени на обработку данных до и после модификации УСИИ (индексы «о» и «м» — первые буквы слов «общие» и «модификация»);

по точности $E_{\Delta_b} = \Delta_o / \Delta_M$, где Δ_o и Δ_M — абсолютные погрешности вычисления данных до (индекс «о») и после (индекс «м») модификации УСИИ;

по количеству используемых машинных тактов $E_n = n_o / n_M$, где n_o и n_M — число машинных тактов до (индекс «о») и после (индекс «м») модификации УСИИ;

по числу математических операций $E_{m_o} = m_o / m_M$, где m_o и m_M — число математических операций до (индекс «о») и после (индекс «м») модификации УСИИ и др.;

5. Экономические затраты на получение и поддержание обобщенных показателей структур УСИИ — $E_{m_o} = s_o / s_M$, где s_o и s_M — затраты на поддержание показателей структуры УСИИ до (индекс «о») и после (индекс «м») модификации УСИИ и др.

Показатели модифицированных и конституированных структур уравнений (сверх)избыточных измерений

Различают абсолютные, относительные и специальные показатели модифицированных и конституированных структур уравнений избыточных измерений.

Абсолютные показатели:

физические величины (основные и производные, неизвестного и установленного размеров) $x_j, x_{o1}, x_{o2}, \dots, U_{x1}, \dots, U_{xn}, U_{o1}, U_{o2}, \dots$;

погрешности округления физических величин;

погрешности воспроизведения физических величин;

размерные фундаментальные физические константы: c , м/с — скорость света; e , Кл — элементарный заряд; k , Дж·К⁻¹ — постоянная Больцмана; ε_0 , Ф·м⁻¹ — электрическая постоянная; μ_0 , Гн·м⁻¹ — магнитная постоянная; Z_0 , Ω — волновое сопротивление; k , Ф·м — постоянная Кулона; эВ, Дж — электрон-вольт; $F = N_A e$ — постоянная Фарадея; σ , Вт·м⁻²·К⁻⁴ — постоянная Стефана – Больцмана; b , м·К — постоянная Вина и др.;

Относительные показатели:

безразмерные фундаментальные константы: число пи (π), число золотого сечения «Ф» или «Φ»), постоянная тонкой структуры « α », причем $\alpha^{20} = \sqrt[13]{\pi \Phi^{14}} \cdot 10^{-34}$, откуда $\alpha = 1/137,036009823754683675307501201348\dots$ и др.;

коэффициенты (постоянные, пропорциональности, деления, трансформации, связи, результирующие и т.д., обозначаемые посредством латинской буквы k с соответствующими индексами, например, $k_1, k_2, k_3, \dots, k_{п1}, k_{п2}, k_{п3}, \dots, k_{r1}, k_{r2}, k_{r3}$ и др.) и показатели « n », « m », « a » (степени, корня, основания и др.) с разными индексами.

Специальные показатели и их условные обозначения:

основные варианты метода, — $k_{x1}, k_{x2}, k_{x3}, \dots$, например, $k_{x1} = \frac{U'_5 - U'_1}{U'_2 - U'_1}$, $k_{x2} = \frac{U'_3 - U'_2}{U'_2 - U'_1}$ и т.п.;

дополнительные варианты метода, — $k_{хд1}, k_{хд2}, k_{хд3}, \dots$, например, $k_{хд1} = \frac{(U'_5 - U'_1) + (U'_3 - U'_2)}{U'_2 - U'_1}$,

$k_{хд2} = \frac{U'_3 - U'_2}{(U'_2 - U'_1) + (U'_5 - U'_3)}$, $k_{хд4} = \frac{(U'_3 - U'_2) + (U'_5 - U'_4)}{(U'_2 - U'_1) + (U'_5 - U'_3)}$ и т.п., где U'_5 — преобразованная переменная величина;

мультипликаторные варианты метода — $k_{mx1} = gk_x$, $k_{mx2} = F / k_x$, $k_{mx3} = k_x / k_2$, где $\{g\} = 9,806 65 \text{ м·с}^{-2}$, $\{F\} = 96 485,332 89(59) \text{ Кл·моль}^{-1}$, $k_2 = 2$, и т.п.;

основные константы метода, — например, $k_o = \frac{x_{o2} - x_{o1}}{x_{o3} - x_{o1}}$, $k_o = \frac{x_{o3} - x_{o2}}{x_{o3} - x_{o1}}$, представляющие собой отношения разностей других нормированных по значению одноименных физических величин x ;

дополнительные константы метода, — $k_{од1}, k_{од2}, k_{од3}, \dots$, например, $k_{од1} = \frac{x_{o2} - x_{o1}}{x_{o1} + x_{o2}}$, $k_{од2} = \frac{x_{o2} + x_{o1}}{x_{o1} - x_{o2}}$,

$k_{од3} = \frac{x_{o1} + x_{o3}}{x_{o1} + x_{o2}}$, $k_{од4} = \frac{x_{o2} - x_{o1}}{x_{o1}}$, $k_{од5} = \frac{x_{o2} + x_{o1}}{x_{o1}}$, $k_{од6} = \frac{x_{o1}}{x_{o1} + x_{o2}}$, $k_{од7} = \frac{x_{o1}}{x_{o1} - x_{o2}}$, $k_{од8} = \frac{x_{o1}}{x_{o2}}$ и др.;

мультипликаторные константы метода — $k_{mo1} = gk_o$, $k_{mo2} = F / k_o$, $k_{mo3} = k_o / k_2$, где $k_2 = 2$, и т.п.;

основные переменные константы метода, — $k_{v1}, k_{v2}, k_{v3}, \dots$, например, $k_{v1} = \frac{U'_3 - U'_1}{U'_3 - U'_2}$, $k_{v2} = \frac{U'_3 - U'_2}{U'_2 - U'_1}$,

т.е. отношения разностей преобразованных величин и др.

дополнительные переменные константы метода, — $k_{вд1}$, $k_{вд2}$, $k_{вд3}$, ..., например,

$$k_{вд1} = \frac{(U'_3 - U'_2) + (U'_3 - U'_1)}{U'_2 - U'_1}, k_{вд2} = \frac{U'_3 - U'_2}{(U'_2 - U'_1) + (U'_3 - U'_1)}, k_{вд3} = \frac{(U'_3 - U'_2) + (U'_3 - U'_1)}{(U'_2 - U'_1) + (U'_3 - U'_1)}$$
 и т.п.;

мультипликаторные переменные константы метода — $k_{mv1} = gk_v$, $k_{mv2} = F / k_v$, $k_{mv3} = k_v / k_2$ и т.п.;
 погрешности вычисления (показателей объединений, результирующего и других коэффициентов);
 погрешности воспроизведения числовых значений коэффициентов, в том числе и безразмерных
 фундаментальных физических констант, представленных приближенными числами.

Составляющие процесса структурного анализа

Структурный анализ осуществляется путем:
 изучения, оценивания и упорядочения структуры УСИИ;
 выделения объединений физических величин, констант и коэффициентов пропорциональности,
 ограниченных конечной совокупностью отношений и связей;
 решения существующих задач декомпозиции структуры;
 синтеза модифицированной структуры на базе объединений;
 замены; по возможности, сложных и неточных алгоритмов обработки данных более простыми и точными;
 обработки исходных данных по тому или иному объединению без их предварительного округления,
 но с округлением полученных значений показателей объединений;
 минимизации погрешностей микропроцессорной обработки (вычисления) каждого в отдельности и
 всех показателей модифицированной структуры УСИИ в совокупности.

Этапы структурного анализа ограниченного множества (ансамбля) УСИИ

- Общая процедура структурного анализа включает следующие основные этапы:
1. Анализ ограниченного множества структур УСИИ с разной степенью их организации (упорядочения);
 2. Пространственно-временное упорядочение элементов и связей в анализируемой структуре УСИИ;
 3. Формулирование критериев и оценка эффективности структур по оперативности, точности и достоверности обработки данных;
 4. Выделение, при необходимости, из множества УСИИ ансамблей структур по априори заданным признакам;
 5. Представление групп (подмножеств) структур УСИИ в виде объединений преобразованных и нормированных по значению физических величин, физических констант и коэффициентов с установленными связями между ними и с ограниченным числом арифметических операций;
 6. Определение качественных и количественных характеристик (показателей) выделенных объединений элементов и связей (оценивание каждой структур);
 7. Определение типа, качественных и количественных характеристик (показателей) модифицированных структур и их описание, т.е. оценивание объединений структур;
 8. Декомпозиция структуры УСИИ и ее представление через конечное число преобразованных и нормированных по значению физических величин, физических констант и коэффициентов;
 9. Формирование модифицированной структуры путем выделения функционально обособленных объединений с установленными связями:
 - а) между физическими величинами с априори известными характеристиками (значениями и погрешностями воспроизведения их номинальных значений);
 - б) между преобразованными физическими величинами, полученными в результате измерительного преобразования рядов входных величин;
 - в) между физическими величинами и коэффициентами;
 - г) между физическими величинами и константами.
 10. Структурный и метрологический анализ погрешностей до и после использования существующих правил округления числовых значений физических величин и констант, а также коэффициентов, используемых в объединениях;
 11. Качественная оценка погрешностей, вносимых выделенными объединениями в конечный результат избыточных измерений физических величин;
 12. Формирование критериев и оценка эффективности машинной обработки данных выделенных структур;
 13. Рекомендации по параллельной и последовательной во времени обработке данных объединений в структуре УСИИ;
 14. Рекомендации по формированию для статистической обработки подмножеств данных, полученных с помощью уравнений избыточных измерений или уравнений числовых значений, имеющих идентичные или подобные структуры.
 15. Принятие решения о необходимости совершенствования структурных характеристик УСИИ посредством совершенствования метода избыточных измерений и его математической модели.
 16. Выдача рекомендаций по обеспечению требуемого качества (точности, оперативности достоверности и т.д.) обработки данных по результатам структурного анализа.

В результате структурного анализа может быть достигнуто повышение точности избыточных измерений за счет модификации структуры УСИИ, выбора подходов и правил округления показателей объединений и оптимизации их погрешностей, установления новой последовательности операций машинной обработки показателей объединений модифицированной структуры с учетом предложенных подходов к усреднению данных.

2. Декомпозиция структур УСИИ: общие понятия и определения

Декомпозиция — это процесс упрощения чего-либо без потери целостности [5]. Такое определение не является корректным, поскольку характеризует целевую функцию как «процесс упрощения».

Структуру УСИИ всегда можно рассматривать как состоящую из функционально независимых друг от друга, но закономерно связанных между собой, объединений одноименных преобразованных и нормированных по значению физических величин, фундаментальных физических констант и коэффициентов.

Декомпозиция не меняет сути декомпозируемой структуры УСИИ. Она не только упрощает, но и помогает снять неопределенность или локализовать ее.

Декомпозиция структуры УСИИ — это процесс представления данной структуры через показатели функционально обособленных объединений* одноименных физических величин (преобразованных и не преобразованных, нормированных и неизвестного значения) и коэффициентов с модифицированными или неизменными связями между ними, а также с неизменными базовыми связями между показателями объединений, направленный на сохранение целевой функции УСИИ и достижение целевой функции структурного анализа — получение модифицированной и конституированной структур УСИИ, обеспечивающих повышение оперативности и уменьшения степени неопределенности конечного результата математической и машинной обработки данных.

Основания для декомпозиции

Согласно [7], можно выделить следующие основания для декомпозиции структуры УСИИ:

декомпозиция целей, — достижение поставленной цели или системы целей;

функциональная декомпозиция — декомпозиция с целью расширения функциональных возможностей УСИИ в части обработки и анализа данных с управлением и без управления процессами машинной обработки их во времени и в пространстве и т.п.;

структурная декомпозиция (декомпозиция по подсистемам) — декомпозиция параллельных подструктур УСИИ;

декомпозиция по структуре проблемы — декомпозиция с целью повышения точности обработки данных, оперативности вычислительной и машинной обработке данных;

декомпозиция по типам ресурсов системы (по входам) — декомпозиция по числу преобразуемых рядов физических величин, изменяющих структуру УСИИ, и декомпозиция при многократных измерительных преобразованиях физических величин со статистической обработкой данных и др.;

декомпозиция по получаемым результатам (выходам) — декомпозиция с целью получения достоверных результатов усреднения при определении вначале параметров функции преобразования измерительного канала (ФП ИК), затем значения искомой ФВ, погрешности, времени наработки на метрологический отказ и т.д.);

декомпозиция по тактам изменения во времени состояний измерительной системы — декомпозиция и распараллеливание структур УСИИ физических величин (ФВ), УСИИ параметров функции преобразования (ФП) ИК, УСИИ функционально преобразованных ФВ и т.д. в определенные дискретные моменты времени;

декомпозиция структуры УСИИ с учетом вида деятельности — по результатам тестирования, метрологической самопроверки и т.п.;

декомпозиция по этапам полного измерительного цикла — вначале декомпозиция структуры УСИИ, параметров ФП ИК, затем УСИИ искомой ФВ, потом УСИИ погрешности и т.д.);

Декомпозиция как процесс

Декомпозицию (структуризацию) можно представить как пятиступенчатый процесс, который включает в себя:

1) анализ, тестирование и упорядочение исходного уровня конфигурации структуры УСИИ (уровень упорядочения);

2) выделение объединений преобразованных и нормированных по значению физических величин, фундаментальных физических констант и коэффициентов с их взаимными внутренними и внешними связями и отношениями, получение модифицированной конфигурации структуры с неизменными базовыми связями, оценку погрешностей математической обработки данных (уровень декомпозиции);

3) модификацию и распараллеливание структуры УСИИ путем анализа и изменения связей и отношений между числовыми данными внутри объединений структуры с целью повышения оперативности и точности вычислительной (математической) обработки этих данных при неизменных закономерных связях между самими объединениями (первый уровень модификации без коррекции погрешностей);

4) видоизменение связей и отношений между числовыми данными внутри объединений модифицированной структуры, дополненной новыми структурными элементами и алгоритмами управления качеством вычислений с целью повышения точности и оперативности выполнения операций математической и машинной обработки данных, а в некоторых случаях, и между самими объединениями на новом уровне модификации.

Этот процесс направлен на создание не одной, а нескольких модифицированных структур с разными свойствами, но улучшенными метрологическими характеристиками (погрешностями вычисления и округления) и соответствует второму уровню модификации с коррекцией погрешностей. Последняя может осуществляться, например, путем установления и введения поправок в показатели объединений, изменения числовых значений преобразованных и нормированных по значению физических величин за счет изменения младших разрядов кодов этих величин и т.п.;

5) анализ свойств модифицированных структур, тестирование, выбор и узаконивание оптимальной

* характеризующих части целого

модифікованої структури УСІИ, забезпечуючої досягнення совокупності цілей і формування алгоритма машинної (мікропроцесорної) обробки даних во времени и в просторанстве (уровень конституирования).

Требования к структуре УСІИ, получаемой в результате декомпозиции [6]:

- целостность представления анализируемой структуры УСІИ на всех уровнях анализа и декомпозиции;
- иерархичность структуры;
- возможность использования количественных показателей по каждому фрагменту декомпозиции;
- возможность информационного и метрологического обеспечения на каждом уровне;
- возможность составления алгоритмов вычислительной и машинной обробки даних во времени (в виде определенной последовательности этапов (шагов)) и в просторанстве (для каждого ядра микропроцессора).

3. Методы декомпозиции структуры УСІИ

Декомпозиция, как процесс расчленения, позволяет рассматривать любую исследуемую систему как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части [7].

Одной из задач (целей) структурного анализа УСІИ является декомпозиция, — научный метод, использующий структуру уравнения (сверх)избыточных измерений и позволяющий ее расчленить и изменить путем формирования объединений преобразованных и нормированных по значению физических величин, физических констант и коэффициентов, находящихся в сложных связях и отношениях между собой и с другими объединениями и элементами структуры, а также формировать модифицированные структуры УСІИ, включающие в себя только нормированную по значению физическую величину и неизвестные и известные по значению безразмерные коэффициенты пропорциональности.

Следуя [8], выделим и рассмотрим возможные методы декомпозиции структуры уравнения (сверх)избыточных измерений.

3.1. Метод декомпозиции, направленный на повышения оперативности обработки данных

Оперативность — характеристика затрат времени необходимого для проведения какой-либо операции. В рассматриваемом случае речь идет о затратах времени на обробку даних согласно УСІИ с момента времени начала процесса измерения (измерительного преобразования входных физических величин) до получения конечного результата машинной обробки даних.

Показателями оперативности, согласно ГОСТ Р 51170-98, являются [9]:

1. Функция своевременности — вероятность своевременной обробки даних, рассматриваемая как функция заданного времени;
2. Вероятность своевременной обробки даних — вероятность того, что время обробки даних не превысит заданное (значение функции своевременности);
3. Среднее время обробки даних — математическое ожидание времени выполнения *технологического* процесса обробки даних.

Суцність метода декомпозиції структури, забезпечуючого підвищення оперативності обробки даних, состоит в:

- анализе структури УСІИ во временных рамках получения числовых значений элементов структуры;
- учете затрат времени на подключение измеряемой физической величины ко входу измерительного канала и постоянной времени затухания переходных процессов, особенно в узкополосных каналах;
- учете затрат времени на получение результатов измерительного преобразования рядов физических величин при установленной или измененной последовательности выполнения математических операций;
- учете затрат общего времени измерительного преобразования рядов физических величин;
- в целенаправленной декомпозиции структуры УСІИ и ее модификации;
- представлении модифицированной структуры в виде алгоритма параллельной и последовательной обробки даних (с разделением выполняемых операций во времени и в просторанстве);
- определении резервов времени для обробки даних в режиме текущего времени по мере их поступления;
- разработке одного или нескольких алгоритмов обробки даних, учитывающих разные методы выполнения математических и машинных операций, и в выборе оптимального по оперативности метода;
- принятии окончательного решения и выбор алгоритма пространственно-временной обробке даних: а) в режиме текущего времени, — одновременно и параллельно с процессами измерительного преобразования физических величин и с использованием резервов времени между тактами; б) по окончании всех тактов измерительного преобразования рядов физических величин; в) комбинированная пространственно-временная обробка даних;
- сравнительной оценке значений показателей оперативности обробки даних, полученных для разных методов декомпозиции структури УСІИ.

В качестве показателей оперативности обробки даних может использоваться реальное время или число машинных тактов выполнения операций.

Системы обробки даних, в том числе и микропроцессорные, различаются по двум основным критериям: оперативность обробки даних и степень централизации обробки даних [10].

В зависимости от оперативности обробки даних используют два подхода:

- 1) обробка даних в реальном масштабе времени;
- 2) обробка даних в режиме разделения времени.

В первом случае данные обрабатываются параллельно с протекающим процессом (сверх)избыточных измерений. Это позволяет быстро и правильно использовать результаты промежуточной обработки получаемых данных для вмешательства в данный процесс и оперативно управлять им. В случае обработки данных в режиме разделения времени, данные обрабатываются после завершения всех тактов (цикла) измерений. Это не позволяет повлиять на его окончательные результаты, а лишь дает возможность их констатировать и использовать в дальнейшем в качестве исходных данных для последующих циклов измерений.

Особенности микропроцессорной обработки данных

Метрологам и программистам для решения задач обеспечения высокого качества машинной обработки данных необходимо знать и учитывать особенности микропроцессорной обработки данных, пути и методы повышения точности и/или скорости (оперативности) выполнения, прежде всего, простых арифметических операций. Приведем эти аспекты по данным работы [12].

Сложение чисел

При машинной обработке данных, алгоритм выполнения операции сложения для чисел с плавающей запятой отличается от алгоритма сложения для чисел с фиксированной запятой тем, что перед непосредственным суммированием выполняется сравнение и выравнивание порядков чисел. Результату суммирования присваивается порядок большего числа, а мантисса приводится к нормализованному виду [12].

Скорость выполнения операции суммирования определяется быстродействием сумматоров. Для повышения скорости выполнения операций сложения и вычитания применяются: а) схемы сквозных или одновременных групповых переносов; б) сумматоры с «условными суммами»; в) параллельно-параллельные сумматоры; г) асинхронные методы определения завершения переносов.

Умножение чисел

Различают четыре способа выполнения операции умножения: а) умножение на множитель со стороны младших разрядов со сдвигом частичных произведений вправо (множимое неподвижно); б) умножение на множитель со стороны младших разрядов со сдвигом множимого влево (частичные произведения неподвижны); в) умножение на множитель со стороны старших разрядов со сдвигом частичных произведений влево (множимое неподвижно); г) умножение на множитель со стороны старших разрядов со сдвигом множимого вправо (частичные произведения неподвижны).

При умножении чисел, представленных с плавающей запятой, порядок произведения равен сумме порядков сомножителей, а мантисса произведения — произведению мантисс сомножителей (результат приводится к нормализованному виду с одновременной корректировкой порядка).

Умножение отрицательных чисел, представленных обратным или дополнительным кодом, производится путем простого умножения этих кодов и *введения поправок* в предварительный результат, что осуществляется либо в процессе умножения, либо после него. Так, например, при отрицательном множителе, представленном дополнительным кодом, и положительным множимым, для получения правильного произведения требуется вычесть удвоенное множимое из произведения, полученного простым умножением. При представлении сомножителей обратным кодом обычно осуществляется перевод их в прямой код и умножение выполняется в прямых кодах с последующим преобразованием произведения в обратный код.

Методы ускорения выполнения математических операций с помощью микропроцессора

Способы ускорения операции умножения

Известны *четыре способа ускорения операции умножения* [12]:

- а) ускорение собственно операции сложения (вычитания);
- б) уменьшение общего количества сложений (вычитаний);
- в) замена одноразрядных сдвигов многоразрядными;
- г) совмещение во времени операций сложения и сдвига.

Перечисленные способы могут применяться самостоятельно и в любой комбинации, чем и обуславливается многообразие методов.

Методы ускорения умножения

Известные методы ускорения умножения можно разделить на логические и аппаратные в зависимости от дополнительных затрат оборудования.

Логические методы ускорения

К *логическим методам* относятся:

- а) метод пропуска тактов суммирования, если очередная цифра множителя нуль;
- б) метод группировки разрядов множителя и использование отрицательных весов разрядов для его представления;
- в) метод последовательного преобразования цифр множителя;
- г) метод совмещения сложения и сдвига.

При логических методах количества числовых регистров арифметического устройства сохраняется без изменения, а ускорение достигается за счет усложнения устройства управления. Для этих методов количество дополнительного оборудования N не зависит от числа разрядов сомножителей m .

Аппаратные методы ускорения

Аппаратные методы ускорения умножения основаны на введении:

- а) дополнительных цепей сдвига в регистрах для сокращения количества сдвигов;
- б) дополнительных суммирующих схем для ускорения сложений.

Необходимо отметить, что аппаратные методы ускорения требуют введения дополнительного оборудования в регистровую часть арифметического устройства. Его количество зависит от количества разрядов сомножителей m .

Различают аппаратные методы ускорения первого порядка, для которых характерна линейная зависимость N от m , и аппаратные методы второго порядка, для которых количество дополнительного оборудования пропорционально m^2 .

К аппаратным методам 1-го порядка относятся:

а) прием, заключающийся во введении многоразрядных сдвигов, и дополнительного многоразрядного сумматора со сдвигающими регистрами чисел;

б) метод одновременного умножения на старшую и младшую половины множителя; в) метод неполного суммирования.

К аппаратным методам 2-го порядка относится использование дополнительных суммирующих схем и инверторов, с помощью которых производится умножение на все разряды множителя параллельно.

Деление и извлечение квадратного корня

Операции деления и извлечения квадратного корня обычно выполняют по подпрограммам с помощью итерационного процесса, включающего операции сложения, вычитания, умножения. Выполнение этих операций по микропрограммам в арифметическом устройстве приводит к сокращению времени их выполнения по сравнению с подпрограммой, при незначительном увеличении количества оборудования в общем объеме микропроцессора [12].

В микропроцессорах применяется, как правило, метод деления без восстановления остатка. Его сущность состоит в том, что цифре частного присваивают значение «0», если очередной остаток получился отрицательный, и производят удвоение этого остатка с последующим прибавлением делителя. Знак частного определяется, как и при умножении.

При делении чисел, представленных с плавающей запятой, порядок результата соответствует разности порядков делителя и делимого с поправкой на нормализацию мантиссы результата. Деление чисел, представленных в обратном или дополнительном коде, не требует коррекций, как при умножении, а прибавление или вычитание делителя из очередного остатка устанавливают, сравнивая знаки остатка и делителя: если они не совпадают, то осуществляется прибавление делителя, если совпадают — вычитание (сложение и вычитание выполняется с учетом алгебр, знаков).

Методы ускорения операции деления

Как и при умножении, ускорение операции деления осуществляется на основе:

а) сокращения количества сложений (вычитаний);

б) ускорения собственно операции сложения (вычитания);

в) введения многоразрядных сдвигов и т.д.

К логическим методам ускорения операции деления относятся:

а) метод пропуска тактов вычитаний при нормализованном делителе путем анализа старших цифр остатка;

б) метод замены тактов вычитания делителя из остатка тактами сдвига, если в старших разрядах остатка нули (соответствующие цифры частного равны нулям).

Аппаратные методы ускорения операции деления практически не отличаются от аппаратных методов умножения, так как используют то же оборудование и методы, например, метод неполного суммирования, использование дополнительных сумматоров и др.

Выполнение операции извлечения квадратного корня

Алгоритм выполнения операции *извлечения квадратного корня*, как самостоятельной операции, заключается в определении цифр корня, как и при делении, по знаку остатка, полученного в результате вычитания из очередной грани подкоренного выражения, начиная со старшей, удвоенного частичного корня (вычитание выполняется в дополнительном коде) [12]. Порядок результата, представленного плавающей запятой, равен порядку подкоренного выражения, деленному на два.

Рассмотрим несколько практических примеров по осуществлению структурного анализа УСИИ и декомпозиции структур, направленной на повышение оперативности обработки данных.

3.2. Методы повышения оперативности обработки данных на основе параллельных вычислений и распараллеливания программ

Идея распараллеливания вычислений, проводимых согласно структуры УСИИ или с использованием структуры УЧЗ известна. Она основана на том, что большинство задач обработки данных может быть разделено на набор меньших задач, которые могут быть решены одновременно.

Параллельные вычисления существуют в нескольких формах: параллелизм на уровне битов, параллелизм на уровне инструкций, параллелизм данных, параллелизм задач [13].

В метрологии наибольший интерес представляют методы повышения оперативности обработки данных на основе использования двух форм параллелизма: параллелизм данных и параллелизм программ. Сущность методов, основанных на параллелизме данных, заключается в том, что одна операция выполняется сразу над всеми элементами массива данных. Распараллеливание в этом случае чаще всего выполняется уже на этапе компиляции — перевода исходного текста программы в машинные команды. Роль программиста в этом случае обычно сводится к заданию настроек параллельной оптимизации компилятору, директив параллельной компиляции, использованию специализированных языков для параллельных вычислений.

Методы, основанные на параллелизме задач, подразумевают разбиение вычислительной задачи на несколько относительно самостоятельных подзадач, каждую из которых выполняет соответствующий процессор.

Следуя [14], можно утверждать, что методы, использующие параллельные вычисления, направлены на организацию компьютерных вычислений таким образом, при котором прикладные программы разрабатываются как набор взаимодействующих вычислительных процессов, работающих параллельно (одновременно).

Методы, использующие распараллеливание программ, направлены на осуществление процесса адаптации алгоритмов обработки данных, записанных в виде прикладных программ, с целью их эффективного исполнения на используемом процессоре.

Основная сложность при реализации методов распараллеливания программ состоит в обеспечении правильной последовательности взаимодействий между различными вычислительными процессами, а также в координации ресурсов, распределяемых между процессами.

Все эти методы повышения оперативности обработки данных во многом определяются структурой УСИИ.

3.3. Структурный анализ с использованием методов повышения оперативности обработки данных

Вначале осуществляется анализ структуры УСИИ в части ее упорядоченности. Затем структура УСИИ приводится к виду, удобному для выделения объединений и анализа погрешностей. После этого проводится декомпозиция структуры и представление ее через показатели модифицированных структур — константы, варианты и переменные константы и др. Далее осуществляется конституйрование модифицированной структуры и получение структуры УСИИ со скрытым алгоритмом обработки данных. Этот алгоритм получают в виде, пригодном для распараллеливания. Для машинной обработки используется алгоритм параллельной обработки данных.

В табл.2 – табл. 3 приведены разные формы представления структур УСИИ входного сопротивления измерительного канала и результаты их упорядочения, модификации и конституйрования.

Для получения правильного результата обработки данных должен установлен определённый порядок действий над числовыми значениями или над числами. Для указания порядка выполнения действий, пользуются скобками. Если скобки отсутствуют, то действия выполняются в следующем порядке [4]:

- 1) возведение в степень и извлечение корня (в порядке их следования);
- 2) умножение и деление (в порядке их следования);
- 3) сложение и вычитание (в порядке их следования).

В заключение отметим, что вопросы конституйрования в рамках данного сообщения не рассматриваются, но будут рассмотрены в последующих сообщениях.

Таблица 2

Пример 1. Структура уравнений избыточных измерений входного сопротивления измерительного канала

№ п/п	Формы представления
1	Не полностью (частично) упорядоченная структура уравнения (сверх)избыточных измерений
	$R_{\text{вх}} = R_{01} \left(\frac{U'_5 - U'_2}{U'_2 - U'_1} \right) / \left(k_1 - \left(\frac{R_{01}}{R_{02}} + k_1 \right) \frac{U'_5 - U'_1}{U'_2 - U'_1} \right)$
2	Вариант 1. Структура уравнения (сверх)избыточных измерений после упорядочения, удобная для выделения объединений и анализа погрешностей
	$R_{\text{вх}} = R_{01} \left(\frac{U'_5 - U'_1}{U'_2 - U'_1} \cdot k_1 \right) / \left(k_1 - \left(\frac{R_{01}}{R_{02}} + k_1 \right) \frac{U'_5 - U'_1}{U'_2 - U'_1} \right)$
3	Структура, полученная в результате декомпозиции исходной структуры, удобная для анализа погрешностей констант
	$R_{\text{вх}} = R_{01} \frac{k_{x1} - k_1}{k_1 - (k_{o1} + k_1)k_{x1}} \text{ — УСИИ, а } \{R_{\text{вх}}\} = \{R_{01}\} \frac{k_{x1} - 1}{1 - (k_{o1} + 1)k_{x1}} \text{ — УЧЗ, где } k_{x1} = \frac{\{U'_5\} - \{U'_1\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}}$ числовое значение варианты метода; $k_{o1} = \frac{\{R_{01}\}}{\{R_{02}\}}$ — числовое значение константы метода.
4	Структура, полученная в результате конституйрования, полностью формализованная, но не позволяющая осуществлять анализ погрешностей констант (структура со скрытым алгоритмом обработки)
	$R_{\text{вх}} = R_{01} \frac{k_{\text{хд}}}{k_{\text{оx1}}} = R_{01} k_{\text{п}} \text{ или } N_{\text{вх}} = \{R_{01}\} \frac{k_{\text{хд}}}{k_{\text{оx1}}} = N_{01} k_r, \text{ где коэффициенты } k_{\text{хд}} = k_{x1} - k_1, k_{\text{оx1}} = k_1 - (k_{o1} + k_1)k_{x1}, k_r = k_{\text{хд}}/k_{\text{оx1}}. \text{ Результат получен с погрешностью со знаком плюс.}$
5	Алгоритм (процедура) параллельной обработки данных по модифицированному уравнению (сверх)избыточных измерений
	$(k_{x1} - k_1) \Rightarrow k_{\text{хд}} \rightarrow : \Rightarrow k_r \times \{R_{01}\} \Rightarrow \{R_{\text{вх}}\}$ $(k_{o1} + k_1) \Rightarrow k_{\text{оx}} \Rightarrow \times k_{x1} \Rightarrow k_{\text{оx3}} \Rightarrow (k_1 - k_{\text{оx3}}) \Rightarrow k_{\text{оx1}} \nearrow$

6	Вариант 2. Структура уравнения (сверх)избыточных измерений после упорядочения, удобная для выделения объединений и анализа погрешностей
	$R_{\text{вх}} = R_{01} \left(\frac{U'_5 - U'_2}{U'_2 - U'_1} \right) \left/ \left(k_1 - \left(\frac{R_{01}}{R_{02}} + k_1 \right) \frac{U'_5 - U'_1}{U'_2 - U'_1} \right) \right.$
7	Структура, полученная в результате декомпозиции исходной структуры, удобная для анализа погрешностей констант
	$R_{\text{вх}} = R_{01} \frac{k_{x2}}{k_1 - k_{02}k_{x1}} \text{ — УСИИ, а } \{R_{\text{вх}}\} = \{R_{01}\} \frac{k_{x2}}{1 - k_{02}k_{x1}} \text{ — УЧЗ,}$ <p>где $k_{x1} = \frac{\{U'_5\} - \{U'_1\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}}$ и $k_{x2} = \frac{\{U'_5\} - \{U'_2\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}}$ — значения первой и второй варианты метода; $k_{02} = \frac{\{R_{01}\}}{\{R_{02}\}} + 1$ — значение константы метода. Результат получают с меньшим числом операций машинной обработки данных; погрешность получают со знаком минус, т.к. $k_{x2} > k_{x1}$.</p>
8	Конституированная структура УЧЗ, представленная через показатели объединений, но не пригодная для анализа погрешностей констант (структура со скрытым алгоритмом обработки)
	$\{R_{\text{вх}}\} = \{R_{01}\} \left(\frac{\{U'_5\} - \{U'_2\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}} - 3 \text{ дес.ед.мл.р.} \right) \left/ \left(1 - \left(\frac{\{R_{01}\}}{\{R_{02}\}} + 1 \right) \frac{\{U'_5\} - \{U'_1\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}} \right) \right., \text{ откуда}$ $R_{\text{вх}} = R_{01} \frac{k_{x2} - k_3}{k_{\text{оx}}} = R_{01} k_{\text{п}} \text{ или } N_{\text{вх}} = \{R_{01}\} \frac{k_{x2} - k_3}{k_{\text{оx}}} = \{R_{01}\} \frac{k_{\text{хд}}}{k_{\text{оx}}} = N_{01} k_r,$ <p>где $k_3 = 0,03$ (или 3 дес.ед.мл.р.), коэффициенты $k_{\text{оx}} = k_1 - k_{02}k_{x1}$, $k_r = k_{\text{хд}}/k_{\text{оx}}$.</p>
9	Алгоритм (процедура) параллельной обработки данных по модифицированному уравнению (сверх)избыточных измерений
	$k_{x2} - 3 \text{ дес.ед.мл.р.} \rightarrow : \Rightarrow k_r \times \{R_{01}\} \Rightarrow \{R_{\text{вх}}\}$ $k_{02} \times k_{x1} \Rightarrow k_{\text{оx}} \Rightarrow (k_1 - k_{\text{оx}}) \Rightarrow k_{\text{оx}2} \nearrow$

Таблица 3

Пример 2. Структура уравнений избыточных измерений входного сопротивления измерительного канала

№ п/п	Формы представления
1	Не полностью (частично) упорядоченная структуры
	$R_{\text{вх}} = \left(R_{01}^2 \frac{U'_4 - U'_2}{U'_3 - U'_2} + R_{02}^2 \frac{U'_4 - U'_3}{U'_3 - U'_2} \right) \left/ \left(R_{01} \frac{U'_4 - U'_2}{U'_3 - U'_2} - R_{02} \frac{U'_4 - U'_3}{U'_3 - U'_2} \right) \right.$
2	Симметричная упорядоченная структура, удобная для выделения объединений и анализа погрешностей
	$R_{\text{вх}} = R_{02} \left(\frac{R_{01}^2 \frac{U'_4 - U'_2}{U'_3 - U'_2} + k_1}{R_{02}^2 \frac{U'_4 - U'_3}{U'_3 - U'_2}} \right) \left/ \left(\frac{R_{01} \frac{U'_4 - U'_2}{U'_3 - U'_2} - k_1}{R_{02} \frac{U'_4 - U'_3}{U'_3 - U'_2}} \right) \right.$
3	Модифицированная структура, полученная в результате декомпозиции, удобная для анализа погрешностей основных констант
	$R_{\text{вх}} = R_{02} \frac{k_{02}k_x + k_1}{k_{01}k_x - k_1} \text{ — УСИИ, } \{R_{\text{вх}}\} = \{R_{02}\} \frac{k_{02}k_x + 1}{k_{01}k_x - 1} \text{ — УЧЗ,}$ <p>где $k_{01} = \frac{\{R_{01}\}}{\{R_{02}\}}$, $k_{02} = \left(\frac{\{R_{01}\}}{\{R_{02}\}} \right)^2$, $k_x = \frac{\{U'_4\} - \{U'_2\}}{\{U'_4\} - \{U'_3\}}$, $k_1 = 1$</p>

4	Алгоритм (процедура) параллельной обработки данных по модифицированному уравнению (сверх)избыточных измерений
	$k_{o2} \times k_x \Rightarrow k_{o2x} + k_1 \Rightarrow k_{r1} \rightarrow \cdot \Rightarrow k_r \Rightarrow \times \{R_{02}\} \Rightarrow \{R_{вх}\}$ $k_{o1} \times k_x \Rightarrow k_{o1x} - k_1 \Rightarrow k_{r2} \nearrow$

Таблица 4

Пример 3. Структура уравнений избыточных измерений сопротивления резистора или резистивного сенсора

№ п/п	Формы представления
1	Не полностью (частично) упорядоченная структура уравнения (сверх)избыточных измерений
	$R_x = (R_{02} - R_{01}) / \left(\frac{U'_7 - U'_2}{U'_7 - U'_3} \cdot \frac{U'_3 - U'_1}{U'_2 - U'_1} \cdot \frac{R_{02}}{R_{01}} - k_1 \right)$
2	Структура уравнения (сверх)избыточных измерений после упорядочения, удобная для выделения объединений и анализа погрешностей
	$R_x = R_{01} \left(k_1 - \frac{R_{01}}{R_{02}} \right) / \left(\frac{U'_3 - U'_1}{U'_2 - U'_1} \cdot \frac{U'_7 - U'_2}{U'_7 - U'_3} - \frac{R_{01}}{R_{02}} \right)$
3	Структура, полученная в результате декомпозиции, удобная для анализа погрешностей констант и вариант метода
	$R_x = R_{01} \frac{k_1 - k_{o1}}{k_v k_x - k_{o1}} \text{ (1) или } R_x = R_{01} \frac{k_1 - k_1/k_{o1}}{k_1 - k_x k_v/k_{o1}} \text{ (2), } R_x = R_{01} \frac{k_1 - k_{o2}}{k_1 - k_x k_v/k_{o1}} \text{ (3), } R_x = R_{01} k_r \text{ (4)}$ <p>где $k_v = \frac{\{U'_3\} - \{U'_1\}}{\{U'_3\} - \{U'_2\}}$ — переменная константа метода; $k_x = \frac{\{U'_7\} - \{U'_3\}}{\{U'_7\} - \{U'_2\}}$ — вариант метода;</p> <p>$k_{o1} = \frac{\{R_{01}\}}{\{R_{02}\}}$ и $k_{o2} = \frac{\{R_{02}\}}{\{R_{01}\}}$ — константы метода; $k_1 = 1$; k_r — результирующий коэффициент пропорциональности.</p>
4	Структура, полученная в результате конституирования, полностью формализованная, но не позволяющая осуществлять анализ погрешностей констант (структура со скрытым алгоритмом обработки)
	$R_x = R_{01} \frac{k_{r1}}{k_{r2}} = k_r R_{01} \text{ или } N_{R_x} = \{R_{01}\} \frac{k_{r1}}{k_{r2}} = N_{R_{01}} k_r, \text{ где } k_{r1} = k_1 - k_1/k_{o1}, \text{ а } k_{r2} = k_1 - k_x k_v/k_{o1}.$
5	Алгоритм (процедура) параллельной обработки данных по модифицированному УСИИ
	$k_1 : k_{o1} \Rightarrow k_{п1} \Rightarrow (k_1 - k_{п1}) \Rightarrow k_{r1} \rightarrow \cdot \Rightarrow k_r \times \{R_{01}\} \Rightarrow \{R_{вх}\}$ $k_v \times k_x \Rightarrow k_{п2} \Rightarrow (k_1 - k_{п2}) \Rightarrow k_{r2} \nearrow$

Таблица 5

Пример 4. Структура уравнений избыточных измерений сопротивления резистора или резистивного сенсора

№ п/п	Формы представления
1	Не полностью (частично) упорядоченная структура уравнения (сверх)избыточных измерений
	$R_x = R_0 \sqrt{\frac{U'_6 - U'_1}{U'_7 - U'_6}} \cdot \sqrt{\frac{U'_7 - U'_2}{U'_2 - U'_1}}$
2	Структура уравнения (сверх)избыточных измерений после упорядочения, удобная для выделения объединений и анализа погрешностей
	$R_x = R_0 \sqrt{\frac{U'_6 - U'_1}{U'_2 - U'_1}} \cdot \sqrt{\frac{U'_7 - U'_2}{U'_7 - U'_6}}$
3	Структура, полученная в результате декомпозиции и конституирования структуры, удобная для анализа погрешностей констант и вариант метода

	$R_x = R_0 \sqrt{k_{x1} k_{x2}} ,$ <p>где $k_{x1} = \frac{\{U'_6\} - \{U'_1\}}{\{U'_2\} - \{U'_1\}}$ и $k_{x2} = \frac{\{U'_7\} - \{U'_2\}}{\{U'_7\} - \{U'_6\}}$ — первая и вторая варианты метода.</p>
4	<p>Структура, полученная в результате конституирования, полностью формализованная, но не пригодная для анализа погрешностей констант (структура со скрытым алгоритмом обработки)</p> $R_{вх} = R_0 k_r \text{ или } N_{R_x} = \{R_0\} k_r = N_{R_0} k_r ,$ <p>где $\{R_0\}$ или N_{R_0} — числовое значение сопротивления образцового резистора; k_r — результирующий коэффициент пропорциональности.</p>
5	<p>Алгоритм (процедура) параллельной обработки данных по модифицированному уравнению избыточных измерений</p>

Таким образом, декомпозиция производится исходя из определенных представлений о структуре УСИИ и о ее составных элементах, исходя из конкретной технической задачи, и направлена на достижение трех системных целей: повышение оперативности и точности математической и машинной обработки данных.

В целом изучение и решение проблемы повышение оперативности и точности обработки данных должно проводиться с позиции системного подхода, — с использованием конечного множества различных типовых структур уравнений избыточных измерений одной и той же физической величины; с выбором и использованием ансамбля структур УСИИ, оптимальных по сложности, оперативности и точности обработки данных и с учетом возможностей используемого математического аппарата.

Вопросы повышения точности математической и машинной обработки данных, конституирования структуры УСИИ и практического применения методов структурного анализа будут изложены в сообщении 3.

Выводы

В работе дальнейшее развитие получила теория и методы структурного анализа уравнений избыточных и сверхизбыточных измерений, направленные на повышение качества (точности, достоверности, оперативности, сопоставимости и стабильности) вычислительной обработки данных и, как следствие, на обеспечение высокого качества (сверх)избыточных измерений.

Рассмотрены пути осуществления структурного анализа и виды структур уравнений (сверх)избыточных измерений.

Установлено и выделено 17 разновидностей элементов структуры уравнений (сверх)избыточных измерений, приведены основные показатели структуры и решаемые задачи структурного анализа.

Показано, что эффективность обработки данных оценивается по затратам времени, по точности, по количеству используемых машинных тактов и по числу математических операций.

Впервые разработаны и описаны абсолютные, относительные и специальные показатели модифицированных и конституированных структур уравнений (сверх)избыточных измерений, а также их условные обозначения и отличия. Сформулировано 16 этапов проведения общей процедуры структурного анализа.

Приведены общие понятия и определения декомпозиции структур уравнений (сверх)избыточных измерений.

Показано, что декомпозиция структуры — это процесс представления данной структуры через показатели функционально обособленных объединений одноименных физических величин (преобразованных и не преобразованных, нормированных и неизвестного значения) и коэффициентов с модифицированными или неизменными связями между ними, а также с неизменными базовыми связями между показателями объединений, направленный на сохранение целевой функции уравнения (сверх)избыточных измерений и достижение целевой функции структурного анализа — получение модифицированной и конституированной структур, обеспечивающих повышение оперативности и уменьшения степени неопределенности конечного результата математической и машинной (микропроцессорной) параллельной обработки данных.

Приведены общие основания для проведения декомпозиции уравнений (сверх)избыточных измерений.

Впервые описано ряд методов декомпозиции структуры уравнений (сверх)избыточных измерений, направленные на повышение оперативности обработки данных. Отдельное внимание уделено распараллеливанию вычислений и программ. Декомпозиция производится исходя из определенных представлений о структуре УСИИ и ее составных элементах, из конкретной технической задачи. Она направлена на достижение системных целей: повышение оперативности и точности математической и машинной обработки данных.

Рассмотрены особенности микропроцессорной обработки данных, пути и методы ускорения выполнения арифметических операций. Показано, например, что методы ускорения умножения и деления подразделяются на логические и аппаратные. Причем аппаратные методы ускорения операции деления практически не отличаются от аппаратных методов умножения, так как используют то же оборудование и подходы.

Приведены примеры разных форм представления структур УСИИ входного сопротивления измерительного канала, а также результаты их упорядочения, реструктуризации, модификации и конституирования.

Полученные результаты обогатили теорию структурного анализа вообще и уравнений (сверх)избыточных измерений в частности.

Литература

1. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология: теория структурного анализа уравнений избыточных и сверхизбыточных измерений. Сообщение 2 //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. № 2, pp. 11-16, 2016.
2. Структурный анализ и его особенности. Режим доступа: <http://www.portal-u.ru/issledovanie-sistem-upravleniya/strukturnyj-analiz-i-ego-osobennosti>
3. Компьютерная катастрофа приближается. Режим доступа: file:///C:/Documents%20and%20Settings/Vlad/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/1%20%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/DOCL_2008/%D0%A2%D1%80%D0%B5%D1%82%D1%8C%D1%8F%20%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%20%D0%A0%D0%95%D0%92%D0%9E%D0%9B%D0%AE%D0%A6%D0%98%D0%AF.%20%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%20%D0%AE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%86%D0%BA%D0%B8%D0%B9.htm.
4. Порядок действий. Скобки. Режим доступа: <http://www.bymath.net/studyguide/ari/ari3.html>].
5. Что такое декомпозиция? Режим доступа: <http://www.uml2.ru/forum/index.php?topic=47.0>
6. Вопрос 4.8. Декомпозиционные методы системного анализа. Принципы и основания декомпозиции. Режим доступа: http://www.life-prog.ru/1_3832_vopros--dekompozitsionnye-metodi-sistemnogo-analiza-printsipi-i-osnovaniya-dekompozitsii.html.
7. Декомпозиция в тестировании и при анализе приложения. Режим доступа: <http://www.software-testing.by/blog/dekompozicia/>.
8. Теория управления. Принципы системного анализа. Режим доступа: <http://www.refbzd.ru/viewreferat-2577-6.html>.
9. ГОСТ Р 51170-98 Качество служебной информации. Термины и определения. Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/GOSTR5117098Kachestvosluz.html>.
10. Лекция 5. Технология обработки данных. Режим доступа: <http://studopedia.org/5-18431.html>.
11. Введение в вычислительную математику. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/1012/168/lecture/4590>.
12. Операции над числами. Режим доступа: http://edu.sernam.ru/book_kiber2.php?id=160
13. [Параллельные вычислительные системы. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B>].
14. Параллельные вычисления. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F>.

References

1. V. T. Kondratov. Fundamentalnaja metrologija: teorija struktornogo analiza uravnenij izbytochnykh i sverkhizbytochnykh izmerenij. Soobshhenije 2 //Vymiryuvalna ta obchislyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh, № 2, pp. 11-16, 2016.
2. Strukturnyj analiz i ego osobennosti. Rezhim dostupa: <http://www.portal-u.ru/issledovanie-sistem-upravleniya/strukturnyj-analiz-i-ego-osobennosti>
3. Kompyuternaja katastrofa priblizhaetsya. Rezhim dostupa: file:///C:/Documents%20and%20Settings/Vlad/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/1%20%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/DOCL_2008/%D0%A2%D1%80%D0%B5%D1%82%D1%8C%D1%8F%20%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%20%D0%A0%D0%95%D0%92%D0%9E%D0%9B%D0%AE%D0%A6%D0%98%D0%AF.%20%D0%92%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%80%20%D0%AE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%86%D0%BA%D0%B8%D0%B9.htm.
4. Poryadok dejstvij. Skobki. Rezhim dostupa: <http://www.bymath.net/studyguide/ari/ari3.html>].
5. Chto takoe dekompozicija? Rezhim dostupa: <http://www.uml2.ru/forum/index.php?topic=47.0>.
6. Vopros 4.8. Dekompozitsionnye metody sistemnogo ayaliza. Principy i osnovanija dekompozitcii. Rezym dostupa: http://www.life-prog.ru/1_3832_vopros--dekompozitsionnye-metodi-sistemnogo-analiza-printsipi-i-osnovaniya-dekompozitsii.html
7. Dekompozitcija v testirovanii i pri analize prilozhenija. Rezhim dostupa: <http://www.software-testing.by/blog/dekompozicia/>.
8. Teoriya upravlenija. Principy sistemnogo analiza. Rezhim dostupa: <http://www.refbzd.ru/viewreferat-2577-6.html>.
9. GOST P 51170-98 Kachestvo sluzhebnog Kachestvo служебной информации. Термины и определения. Rezhim dostupa: <http://www.gosthelp.ru/text/GOSTR5117098Kachestvosluz.html>.
10. Leksija 5. Tekhnologija obrabotki dannykh. Rezhim dostupa: <http://studopedia.org/5-18431.html>.
11. Vvedenie v vychislitelnuju matematiku. Rezhim dostupa: <http://www.intuit.ru/studies/courses/1012/168/lecture/4590>.
12. Operacii nad chislami. Rezhim dostupa: http://edu.sernam.ru/book_kiber2.php?id=160.
13. Parallelnyje vychislitelnye sistemy. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B>]. \
14. Parallelnyje vychislenija. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F>.

АНАЛІЗ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Розроблена і представлена загальна класифікація сучасних типів ультразвукових витратомірів (далі – УЗВ). На основі запропонованої класифікації проведена оцінка метрологічних характеристик ультразвукових витратомірів, широко використовуваних на території України, а також детально оглянуті класифікації по методам вимірювання витрати, кількості вимірювальних каналів, напрямлення випромінювання та виду акустичних каналів. Описані як переваги, так і недоліки таких витратомірів.

Ключові слова: ультразвуковий витратомір, класифікація витратомірів, аналіз витратомірів, метрологічні характеристики.

Y. Y. BILYNSKY

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

M. V. GLADYSHEVSKYI

Metrological Center of NJSC “Naftogaz of Ukraine”, Boyarka, Ukraine

ULTRASONIC FLOW METERS ANALYSIS FOR FLOWING MEDIUM

Abstract – This work presents classification of different modern types of ultrasonic flow meters and based on this classification, evaluation of its metrological characteristics was conducted.

For this research those Ultrasonic flow meters were picked which are commonly used for fiscal metering under the scope of PJSC “Ukrtransgaz”. This is was done in order to see what flow meter has better performance and why since the majority of manufacturers for this flow meters use the same ultrasonic measuring principle. Despite this, all of them have used different approaches to reach better metrological characteristics at the end. Such approaches as piezoelectric transducers location, number of measuring paths and its direction and much more are described in this work with the summery in what particular way these parameters affect overall flow meter performance.

Thus, knowing all the drawbacks of existing ultrasonic flow metering approaches, a new ultrasonic method for flowing medium metering which was proposed in previous articles [1] can be compared with existing ones what would be in a scope of future work.

Keywords: ultrasonic meter, flow meter classification, flow meter analysis, metrological characteristics.

Вступ

Протягом останніх років значно виросло використання ультразвукових витратомірів для комерційного обліку природного газу. На сьогодні майже на кожному об'єкті газотранспортної мережі та на багатьох об'єктах газорозподільчих мереж використовується технологія ультразвукового вимірювання для комерційних та технічних потреб. Таке високе зростання застосування УЗВ спонукала велика кількість переваг такої технології, до яких відноситься:

- Похибка при калібруванні може складати до 0,1%;
- здатність працювати в широкому діапазоні швидкостей потоку;
- за своєю природою двонаправлений: вимірює швидкість плинного середовища в двох напрямках;
- стійкість до «вологого» газу, що є важливо для видобувних компаній;
- відсутність механічних частин;
- відсутність падіння тиску;
- не потребують частого обслуговування;
- самодіагностика: дані для визначення стану лічильника легко доступні.

Значення витрат можуть лежати в широкому діапазоні: від частин кубометрів до декількох тисяч кубічних метрів. При цьому плинні середовища за своїми фізико-хімічними властивостями можуть сильно відрізнятися. Все це в поєднанні з умовами застосування та вимогами до точностей вартості визначає значне число типів і конструкцій засобів вимірювання витрат.

Метою роботи – виконати порівняльний аналіз сучасних ультразвукових методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ, оцінити переваги та недоліки та обґрунтувати вибір найбільш перспективного засобу.

Принцип роботи ультразвукових витратомірів

Акустичні витратоміри засновані на використанні того чи іншого акустичного ефекту, що залежить від витрати, при проходженні акустичних коливань через потік плинного середовища. Практично усі акустичні витратоміри працюють в діапазоні ультразвукових коливань, тому називаються ультразвуковими та в, основному, призначені для вимірювання об'ємної витрати. Однак шляхом додавання акустичного перетворювача, що реагує на зміну густини вимірюваного плинного середовища, можна здійснювати і вимірювання масової витрати;

В роботі [2] запропоновано класифікацію методів та засобів вимірювання витрат, на основі якої

можна стверджувати, що за методом вимірювання ультразвукові витратоміри поділяються на частотні, часово-імпульсні, фазові, кореляційні, доплерівські. За кількістю використаних каналів УЗВ можуть бути: одноканальними (з двома п'єзоелементами); двоканальними (наявні чотири п'єзоелементи); багатоканальними [3]. Розрізняють також перетворювачі без заломлення і з заломленням ультразвукової хвилі. До перших належать перетворювачі, у яких п'єзоелементи безпосередньо контактують з плинним середовищем або через захисні мембрани, площини яких паралельні площинам п'єзоелементів, У цьому випадку кут між променем і випромінюючою чи приймальною площиною становить 90°, і цей промінь не змінює свого напрямку при вході в газ. В інших випадках п'єзоелемент випромінює і приймає коливання через звукопровід, вихідна площина якого не паралельна площині п'єзоелемента. Якщо звукопровід безпосередньо передає коливання газу, то на межі звукопровід-газ має місце заломлення променя.

На рис. 1 показано деякі схемні рішення конструкцій ультразвукових вимірювальних перетворювачів швидкості плинних середовищ перетворювачів Часово-імпульсний метод, який набув найбільш використання, оснований на вимірюванні часу проходження променя від передавача до приймача. [4] При цьому час проходження ультразвукового імпульсного сигналу через потік може бути виміряний як в прямому напрямку, так і та зворотному. Конструкція вимірювального перетворювача лічильника, основаного на часово-імпульсному методі, показана на рис. 1.

Попри те, що кожен з виробників має використовує деякі відмінні конструктивні рішення у вимірювальному перетворювачі, принцип роботи залишається незмінним.

Часово-імпульсний метод, який набув найбільш використання, оснований на вимірюванні часу проходження променя від передавача до приймача [5] При цьому час проходження ультразвукового імпульсного сигналу через потік може бути виміряний як в прямому напрямку, так і та зворотному. При цьому можуть бути використані або два незалежних канали, що вимірюють швидкість за та проти потоку, або один суміщений, який працює за та проти потоку по чергово.

Попри те, що кожен з виробників має використовує деякі відмінні конструктивні рішення у вимірювальному перетворювачі, принцип роботи залишається незмінним. Швидкість потоку плинного середовища визначається як

$$V = \frac{L^2}{2 \times X} \left(\frac{T_{21} - T_{12}}{T_{21} \times T_{12}} \right), \quad (1)$$

де L – відстані між двома перетворювачами;

X – відстань між двома перетворювачами вздовж осі труби;

c – швидкість звуку(SOS);

T_{12} та T_{21} – час проходження імпульсного сигналу в кожному з напрямків.

Таким чином, маючи розміри L та X , та час проходження T_{12} та T_{21} можна виміряти швидкість потоку та швидкість звуку(SOS) для кожного шляху [6].

Нажаль, визначення точної витрати є завданням не із легких, оскільки швидкість, необхідна для визначення об'ємної витрати, є середньою швидкістю по всьому перерізу лічильника. В трубопроводі швидкісний профіль потоку не завжди рівномірний та часто має завихрення та асиметричний профіль потоку через лічильник. Тому виробники лічильників мають різні методології для знаходження середньої швидкості потоку. В загальному випадку робоча витрата визначається як:

$$Q = \bar{V} \times A, \quad (5)$$

де A – це площа перерізу лічильника;

\bar{V} – середня швидкість.

Частотні ультразвукові витратоміри працюють на основі вимірювання частоти імпульсного рециркуляційного сигналу. Такі засоби за своїми характеристика є близькими до часово-імпульсних витратомірів.

Доплерівські витратоміри основані на ефекті Доплера, а саме на зсуві доплерівської частоти, який виникає при відбитті звуку від рухомих частинок (рис.2.в). В таких витратомірах хвиля повинна відбиватися від якої-небудь частинки, яка рухається з потоком. Якщо ж відбиття йде від стінки трубопроводу, то хвиля

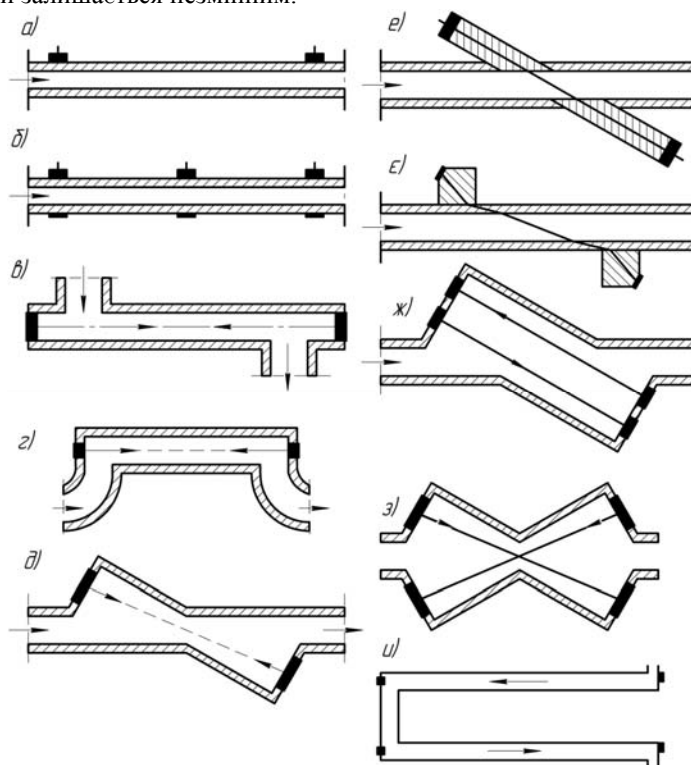


Рис. 1.Схемні рішення конструкцій ультразвукових вимірювальних перетворювачів швидкості плинних середовищ а) одноканальна схема, б) двоканальна з трьома п'єзоелементами, в),г),к) випромінювачі направляються вздовж осі труби, д),з),и) трубопроводи обладнуються особливими впадинами, в яких розміщуються п'єзоелементи, е)вільний простір кишень заповнений звукопроводом із металу чи органічного скла, ж)ззовні трубопроводу розміщені звукопроводи, на яких розміщені п'єзоелементи

зберігатиме свою довжину та частоту. Але, якщо відбувається відбиття від рухомої частинки, фронт хвилі буде влучати в рухомий об'єкт з часовим інтервалом відмінним від свого періоду в стаціонарному середовищі. Як результат, відображена хвиля матиме новий період, частоту та довжину хвилі[4]. В загальному випадку доплерівська частота знаходиться як

$$\Delta f = 2 \times f_i \frac{V}{c} \cos \theta, \quad (1)$$

де Δf – різниця частот між вхідним та вихідним значеннями частоти звуку;
 f_i – частота передавання;
 V – швидкість потоку;
 c – швидкість звуку;
 θ – кут між напрямком потоку та променем.

Виходячи з вище сказаного, можна зробити висновок що найбільш широке застосування мають ультразвукові витратоміри на основі часово-імпульсного методу. Фазові та кореляційні витратоміри на сьогодні не набули широкого застосування за рахунок високої чутливості до завад, які мають місце.

Аналіз використовуваних УЗВ

Найбільш широке застосування на об'єктах ПАТ «Укртрансгаз» отримали ультразвукові витратоміри: ECOSONICX12 компанії RMA, USZ компанії RMG, QSonic компанії ElsterInstromet та FlowSic 600 компанії SICKMAIHAK, а також вітчизняні УЗВ ГУВР-011 та КУРС-01 компаній Енергооблік та КУРС відповідно.

Як вже було зазначено раніше, всі ці витратоміри об'єднує єдиний підхід у використанні ультразвукової технології вимірювання витрати плинних середовищ шляхом визначення часу проходження променя за та проти потоку. Незважаючи на однаковий принцип вимірювання, використовувани витратоміри можна класифікувати за такими ознаками: за видом акустичного шляху; за кількістю акустичних каналів; за типом розміщення

За видом акустичного шляху ультразвукові витратоміри виробництва різних компаній можна розділити залежно від напрямку ультразвукового променя, а саме – без відбиття та з відбиттям. Це означає, що ультразвукові перетворювачі без відображення працюють у двох напрямках, тобто як приймають, так і передають імпульсний сигнал. Принцип розміщення перетворювачів без відбиття реалізований компаніями RMA, RMG, Sick та КУРС в ультразвукових витратомірах ECOSONICX12, USZ-08 та USM GT400, FlowSic 500, 600, 600 QUATRO, 600 PLEX та КУРС-01 виконання А відповідно.

Перевагою конструкції з акустичними шляхами без відбиття є простота визначення довжини акустичного шляху, що дає змогу застосувати більш простий алгоритм визначення швидкості плинного середовища та меншої чутливості до сторонніх шумів.

ECOSONIC X12 використовує на сьогодні шість незалежних вимірювальних каналів (рис.2). Вони розміщені на трьох рівнях. На кожному рівні є дві симетричні вимірювальні канали, які перетинаються. Це розміщення допомагає визначити такі характеристики потоку як завихрення та асиметрію. Записаної інформації про профіль потоку достатньо: навіть, якщо один канал вийде із ладу [7].

Ультразвуковий лічильник USZ-08 (рис.3) складається також з шести вимірювальних каналів. Розташування каналів таким чином, забезпечує значну незалежність від профілю потоку. Завдяки цьому, навіть при перешкодах, які викликають завихрення, асиметрію або поперечний потік, досягається висока точність вимірювання без вирівнювання потоку.

Вихід із ладу двох будь-яких вимірювальних каналів не приведе у 6-канальних витратомірів до втрати необхідної вимірювальної інформації. Канали, які вийшли з ладу, імітуються за допомогою наявних у витратомірі функцій на основі застосуванням результатів вимірювання всіх каналів. Таким чином, чим більше вимірювальних каналів тим більш точніші результати. Такі результати були отримані в ході випробувань в Сполучених Штатах Америки.

УЗВ USMGT400 принципово не відрізняється від USZ-08. Лічильник GT400 було конструктивно гармонізовано під Американський ринок та стандарти [8].

Витратоміри FLOWSIC600 можуть мати 1, 2 або 4 ультразвукові вимірювальні канали і обладнані одним комплектом електроніки. Один або два канали витратоміра зазвичай використовуються для технологічних потреб (рис.4а). Лічильники з 4 каналами можуть використовуватися для комерційного обліку газу в будь-якому сегменті ринку природного газу, включаючи добування, транспортування, розподілення та зберігання[9].

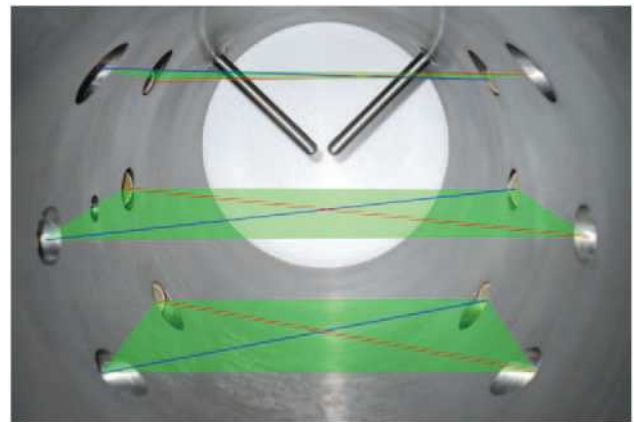


Рисунок 2. Розміщення вимірювальних ниток в ECOSONIC X12 (на задньому плані два температурних кармана)

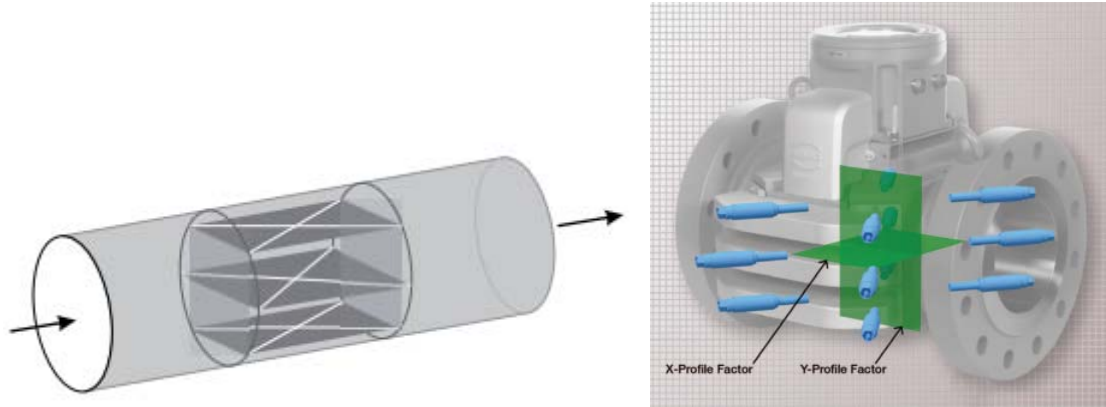


Рис.3. Розміщення вимірювальних ниток в USZ-08 та USMGT400

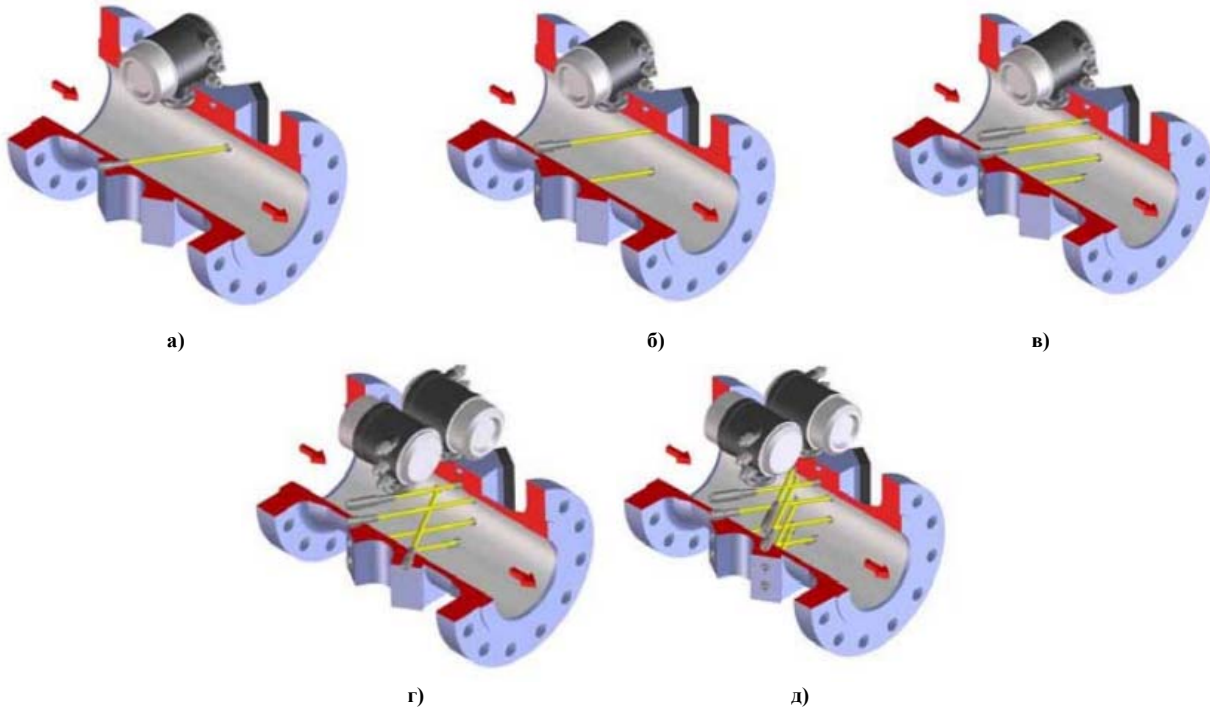


Рис.4. Схема розташування променів FLOWSIC600: а) 1-променевої; б) 2-променевої; в) 4-променевої г) 2plex; д) Quatro
 Витратомір FLOWSIC6002plex (рис.4г) є комбінацією комерційного та діагностичного витратомірів: контрольний лічильник з однією парою перетворювачів та комерційний з чотирма парами перетворювачів. Обидва витратоміра інтегровані в один корпус, але є незалежними. Через різне розташування каналів, як результат, отримуємо різну чутливість, таким чином можна ідентифікувати збурення потоку (викликані частками, пульсаціями чи шумом) на ранній стадії та попередити заздалегідь про можливість впливу на комерційний облік [10].

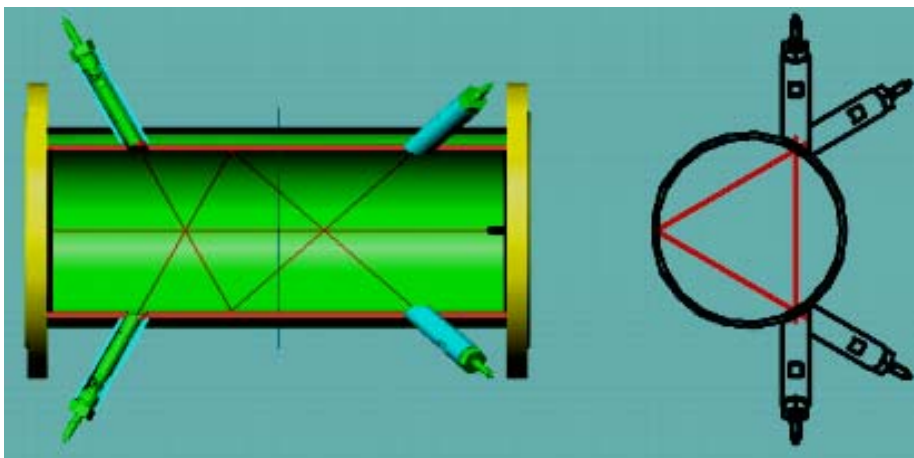


Рис.5. Схема розташування променів в ГУВР-011

УЗВ FLOWSIC600Quatro складається з двох 4х променевої комерційних лічильників, кожен із яких визначає витрату незалежно. Головною перевагою такої конструкції є те, що дві різні компанії можуть використовувати один лічильник, але, при цьому, мати незалежні електрично-ізовані вимірювальні

системи. На додаток, при виході з ладу одного з перетворювачів першої системи, друга продовжить надавати точні вимірювані дані. УЗВ FLOWSIC600Quatroтакож може працювати, як 8-ми каналний витратомір в калібрувальних центрах[11].

Невелика кількість виробників реалізували схему з багаторазовим відбиттям променя, серед яких вітчизняний виробник з ультразвуковим витратоміром ГУВП-011 (рис.5) та витратомірами Q.Sonic фірми Elster-Instromet(рис.6, 7).

Зондування в кожному із каналів УЗВ ГУВП-011 відбувається по Δ -га схемі. Таким чином, збільшується шлях проходження ультразвукової хвилі, а отже і час проходження. Це дає змогу підвищити чутливість вимірювання витрат в цілому. Промені в просторі розташовані таким чином, що кожені два однойменні промені лежать в одній площині, а їх напрямки протилежні [12].

На рис 6 показані схеми розташування вимірвальних каналів витратомірів Q.Sonic компанії Elster-Instromet. УЗВ Q.Sonic залежно від виконання може задовольняти різні потреби. Так 3х променевий витратомір є стандартом для комерційного обліку, простий, надійний і менш затратний. В 4х променевій версії на додачу до двох променів подвійного відбиття, реалізованих в Q.Sonic-3 додається два промені одинарного відбиття, які перетинають один одного під кутом 90° . Це робить лічильник менш чутливим до асиметрії потоку і призводить до зменшення довжини вхідної прямої ділянки трубопроводу, яка повинна складати довжину в десять діаметрів труби. Q.Sonic-5 має найвищу чутливість і точність та впродовж довгого часу вважався найбільш точним та гнучким ультразвуковим витратоміром через унікальну схему розташування каналів.

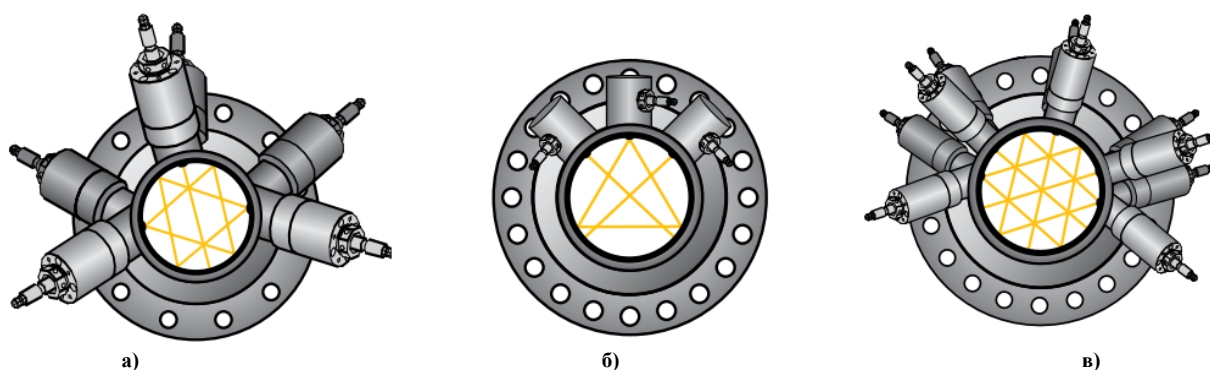


Рис.6. Схема розташування вимірвальних каналів в Q.Sonic:
а) Q.Sonic-3 б) Q.Sonic-4 в) Q.Sonic-5

УЗВ Q.SonicPLUS використовуються дві пари перетворювачів з подвійним відбиттям променя та дві пари з однократним відбиттям. Розрахувавши середнє значення часу проходження ультразвукової хвилі по обох парах, можна знайти симетричне середньозважене значення, що дає змогу підвищити точність вимірювання. Крім цього використання так званих спарених каналів забезпечує визначення асиметрії потоку вздовж площини і є додатковою діагностичною функцією[13].

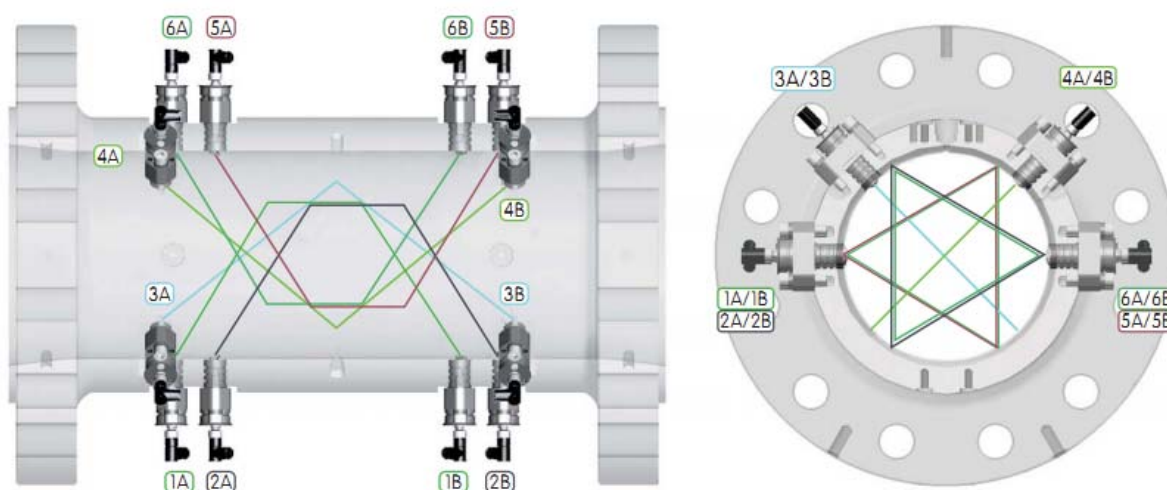


Рис.7. Схема розташування променів в Q.SonicPLUS

Витратомір Q.SonicPLUS використовується також на трубопроводах з малим діаметром, оскільки має меншу чутливість до пульсацій потоку через збільшення часу проходження променя та використання багаторазового відбиття.

З вище сказаного випливає, що для досягнення кращих результатів вимірювання, ультразвукові витратоміри як правило виготовляються в багатоканальному виконанні. Серед згаданих вище витратомірів,

тільки витратомір компанії КУРС реалізований в одноканальному виконанні [14].

Кількість вимірювальних променів на пряму впливають на точність вимірювання, але, відповідно, при збільшенні їх кількості збільшується вартість таких витратомірів. Таким чином ті ультразвукові витратоміри, які є одноканальними переважно використовуються лише для технологічного обліку, тобто не є комерційними і, звичайно, мають меншу вартість. Двоканальні та багатоканальні витратоміри переважно використовуються для комерційного обліку природного газу на газовимірювальних станціях та в якості еталонів в калібрувальних центрах.

Аналіз метрологічних характеристик УЗВ

В цілому, як вже було зазначено раніше, всі відомі виробники ультразвукових витратомірів використовують однаковий підхід в ультразвуковому вимірюванні витрати природного газу. І саме з цієї причини, всі вони декларують приблизно однакові метрологічні характеристики. В першу чергу, всі зазначені витратоміри відповідають законодавчим вимогам аби мати право використання для комерційного обліку, тобто відповідають межах допустимої відносної похибки в $\pm 1,0\%$ при діапазоні витрат від $Q_{\max} \geq Q \geq Q_{\min}$ та $\pm 2,0\%$ в діапазоні витрат $Q_{\max} > Q > Q_{\min}$.

Як зазначає виробник, лічильники ECOSONIC X12 характеризуються високою точністю вимірювання, що становить $\pm 0,2\%$ від виміряної величини та відтворюваністю менше $0,1\%$ від виміряної величини. Ці характеристики забезпечуються за рахунок шести незалежних каналів в трьох площинах та циклічності до десяти 10 незалежних вимірювань в секунду на кожний канал. При цьому мають клас точності 1 відповідно до OIMLR137-1:2006 (Міжнародна організація законодавчої метрології. Міжнародні рекомендації. Лічильники газу). Розраховані такі витратоміри для роботи під тиском до 100 бар [15].

Ультразвукові витратоміри USZ-08 мають похибку вимірювання в $\pm 0,25\%$ від виміряної величини в діапазоні витрат від 10% до 100% від Q_{\max} та при умові калібрування на високому тиску похибка зменшується до $\pm 0,15\%$ при відтворюваності менше $0,1\%$. Використовуються ультразвукові перетворювачі двох типів з номінальною частотою випромінювання 120 кГц або 200 кГц. Вимірювання виконуються з інтервалом в 1 оновлення за секунду. Зберігає свої метрологічні характеристики в діапазоні швидкостей потоку від 0,3 до 40 м/с для кожного напрямку [16].

Ультразвуковим витратомірам компанії Elster-Instromet характерна невизначеність вимірювання $\pm 0,5\%$ від виміряної величини в діапазоні витрат від 5% до 100% від Q_{\max} з відтворюваністю менше $0,05\%$. При калібруванні на високому тиску невизначеність вимірювання становить $\pm 0,3\%$. Як і для витратомірів компанії RMG, витратоміри Q.Sonic працюють на частотах як в 120 кГц так і на 200 кГц. Інтервал оновлення значень витрат складає 1 секунда і здатний працювати зі швидкостями потоку до 30 м/с [17].

Виробник ультразвукових витратомірів FlowSic зазначає, що при калібруванні на високому тиску досягається вимірювання з похибкою $0,1\%$ при відтворюваності менше $0,1\%$. Також характерні 10 вимірювань на секунду для кожної пари перетворювачів. Характерна можливість роботи під тиском до 450 бар. Вище зазначені витратоміри відповідають вимогам OIMLR 137-1:2006 для першого класу точності [18].

Поміж інших виробників слід виділити УЗВ моделі FlowSic 500 компанії SICK, який є має особливі конструктивні властивості та переваги. Наявність імітаційного методу перевірки в сукупності з картриджною концепцією вимірювальної частини, дозволяє оперативно проводити перевірку приладу безпосередньо на місці експлуатації. І що не менш важливе, такий витратомір не потребує вхідні і вихідні прямолінійні ділянки, що робить його унікальним. При цьому FlowSic 500 характеризується високими метрологічними характеристиками. Максимально допустиме значення відносної похибки вимірювання об'ємної витрати та об'єму природного газу в діапазоні $0,1Q_{\max} \dots Q_{\max}$ становить $\pm 0,8\%$. Після калібрування проливним методом в діапазоні $0,1Q_{\max} \dots Q_{\max}$ можна знизити похибку до $\pm 0,2\%$ при повторюваності менше $0,1\%$ [19].

Також непогано себе зарекомендували і вітчизняні лічильники ГУВР-011 та КУРС-01, які також відповідають класу точності одиниця та в першу чергу перевершують своїх зарубіжних конкурентів цінними показниками.

Висновки

Проаналізовані найбільш широко використовувані ультразвукові витратоміри на об'єктах ПАТ «Укртрансгаз». Встановлено, що в цілому всі виробники УЗВ використовують однаковий метод вимірювання витрати газу і мають тільки відмінності в конструктивних рішеннях таких витратомірів та кінцевому результату обробки отриманих даних. Крім цього, реалізовані різні підходи самодіагностики та виявлення і своєчасне попередження про можливі впливові фактори на комерційний облік газу. Така одноманітність спонукає до більш глибокого вивчення ультразвукових методів та впровадження нових методів ультразвукових вимірювань.

Література

1. Білинський Й.Й., Новий ультразвуковий метод вимірювання витрат плинних середовищ / Й.Й. Білинський, М.В.Гладишевський // Нафтогазова галузь України – 2016, №2.
2. Білинський Й.Й., Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація / Й.Й. Білинський, М.О. Стасюк, М.В.Гладишевський // Наукові праці ВНТУ – 2015, №1. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view> – Назва з екрану.
3. Взлет.ру. [Електронний ресурс]: От однолучевых ультразвуковых расходомеров к

- многолучевым: критерий выбора. – Режим доступу: <http://www.vzljot.ru/files/publications/odnoluch-ultrasonic.pdf><http://ru-auto.info/post/101488904990008/>. – Назва з екрану.
4. Baker, R.C. (2000) Flow measurement handbook: industrial designs, operating principles, performance and applications. Cambridge university press, New York.
5. Андріішин М. П. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. / М. П. Андріішин. – Івано-Франківськ: ПП “Сімик”, 2004. – 160 с.
6. Lansing J. (2003) Principles of operation for ultrasonic gas flow meters. American school of gas measurement technology.
7. M. Rychagov, S. Tereshchenko, B. Dean, L. Lynnworth (1999) Multipath Flowrate Measurements of Symmetric and Asymmetric Flows. 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester.
8. Honeywell Process Solutions. (2014) Ultrasonic Flowmeter USM-GT-400 leaflet.
9. Асу-нг.ру. [Електронний ресурс]: Рекомендации по подбору и применению ультразвукового счетчика газа Flowsic 600. – Режим доступу: http://www.asu-ng.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=75%3A-flowsic-600&catid=43%3Aflowsic-600&Itemid=108. – Назва з екрану.
10. Sick.in.ua. [Електронний ресурс]: FLOWSIC600 2PLEX. - Режим доступу: <http://sick.in.ua/produksiya/rashodomery-gaza-dlya-promyshlennyh-izmerenij/dlya-transportirovki-gaza-i-promyshlennyh-izmerenij-s-povyshennoj-tochnostyu/flowsic600-2plex-2/#2>. – Назва з екрану.
11. Sick.in.ua. [Електронний ресурс]: FLOWSIC600 QUATRO. - Режим доступу: <http://sick.in.ua/flowsic600-quatro>. – Назва з екрану.
12. energo.kh.ua. [Електронний ресурс]: Ультразвуковые счетчики газа ГУВР-011. - Режим доступу: <http://energo.kh.ua/rusvs/Produkcija/GUVR-011>. – Назва з екрану.
13. Statusgas.com. [Електронний ресурс]: Q.Sonic@plus. - Режим доступу: http://www.statusgas.com/DS_QSonicplus_EN.pdf. – Назва з екрану.
14. Sovlad.com.ua. [Електронний ресурс]: Счётчик газа ультразвуковой «Курс-01». Руководство по эксплуатации. - Режим доступу: http://sovlad.com.ua/files/curs-01_manual_2009.pdf. – Назва з екрану.
15. RMA Mess-und Regeltechnik GmbH & Co. KG. (2012) Ultrasonic gas meter ECOSONICX12.
16. Honeywell Process Solutions. (2010) Ultrasonic flowmeter USZ-08.
17. Elster Instromet. (2009) Q.Sonic Ultrasonic gas flow meters.
18. SICK MAIHAK GmbH. (2008) FLOWSIC Volume Flow and Gas Flow Measuring Devices.
19. Sick.in.ua. [Електронний ресурс]: FLOWSIC500 CIS Ультразвуковой счетчик газа. - Режим доступу: <http://sick.in.ua/wp-content/uploads/2015/07/FLOWSIC500-CSI.pdf>. – Назва з екрану.

References

1. Bilynskiy Y.Y., Novyi ultrazvukovy metod vymiryuvannavyatratplynnykhseredovysch / Y.Y. Bilynskiy, M.V.Hladysheskiy // NaftohazovahaluzUkrainy – 2016, #2.
2. Bilynskiy Y.Y., Analizmetodivizasobivkontroliuvyatradykhkhazopodibnykhseredovysch ta yikhiaklasyfikatsiia / Y.Y. Bilynskiy, M.O. Stasiuk, M.V.Hladysheskiy // Naukovopratsi VNTU – 2015, #1. [Elektronnyiresurs] Rezhymdostupu: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view> – Nazva z ekranu.
3. Vzlet.ru. [Elektronnyiresurs]: Otdnoluchevykhultrazvukovykhkrashodomerov k mnoholuchevym: kryteryivybora. – Rezhymdostupu: <http://www.vzljot.ru/files/publications/odnoluch-ultrasonic.pdf><http://ru-auto.info/post/101488904990008/>. – Nazva z ekranu.
4. Baker, R.C. (2000) Flow measurement handbook: industrial designs, operating principles, performance and applications. Cambridge university press, New York.
5. Andriishyn M. P. Vymiryuvannavyatraty ta kilkostihazu: Dovidnyk. / M. P. Andriishyn. – Ivano-Frankivsk: PP “Simyk”, 2004. – 160 s.
6. Lansing J. (2003) Principles of operation for ultrasonic gas flow meters. American school of gas measurement technology.
7. M. Rychagov, S. Tereshchenko, B. Dean, L. Lynnworth (1999) Multipath Flowrate Measurements of Symmetric and Asymmetric Flows. 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester.
8. Honeywell Process Solutions. (2014) Ultrasonic Flowmeter USM-GT-400 leaflet.
9. Asu-nh.ru. [Elektronnyiresurs]: Rekomendatsyypodboru y pryimeneniyiultrazvukovohoschetkykhaza Flowsic 600. – Rezhymdostupu: http://www.asu-ng.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=75%3A-flowsic-600&catid=43%3Aflowsic-600&Itemid=108. – Nazva z ekranu.
10. Sick.in.ua. [Elektronnyiresurs]: FLOWSIC600 2PLEX. - Rezhymdostupu: <http://sick.in.ua/produksiya/rashodomery-gaza-dlya-promyshlennyh-izmerenij/dlya-transportirovki-gaza-i-promyshlennyh-izmerenij-s-povyshennoj-tochnostyu/flowsic600-2plex-2/#2>. – Nazva z ekranu.
11. Sick.in.ua. [Elektronnyiresurs]: FLOWSIC600 QUATRO. - Rezhymdostupu: <http://sick.in.ua/flowsic600-quatro>. – Nazva z ekranu.
12. energo.kh.ua. [Elektronnyiresurs]: Ультразвуковые счетчики газа ГУВР-011. - Rezhymdostupu: <http://energo.kh.ua/rusvs/Produkcija/GUVR-011>. – Nazva z ekranu.
13. Statusgas.com. [Elektronnyiresurs]: Q.Sonic@plus. - Rezhymdostupu: http://www.statusgas.com/DS_QSonicplus_EN.pdf. – Nazva z ekranu.
14. Sovlad.com.ua. [Elektronnyiresurs]: Schetchykhazaultrazvukovoi «Kurs-01». Rukovodstvopooksplyuatatsyy. - Rezhymdostupu: http://sovlad.com.ua/files/curs-01_manual_2009.pdf. – Nazva z ekranu.
15. RMA Mess-und Regeltechnik GmbH & Co. KG. (2012) Ultrasonic gas meter ECOSONICX12.
16. Honeywell Process Solutions. (2010) Ultrasonic flowmeter USZ-08.
17. Elster Instromet. (2009) Q.Sonic Ultrasonic gas flow meters.
18. SICK MAIHAK GmbH. (2008) FLOWSIC Volume Flow and Gas Flow Measuring Devices.
19. Sick.in.ua. [Elektronnyiresurs]: FLOWSIC500 CIS Ultrazvukovoi schetchykhaza. - Rezhym dostupu: <http://sick.in.ua/wp-content/uploads/2015/07/FLOWSIC500-CSI.pdf>. – Nazva z ekranu.

Рецензія/Peer review : 14.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 27.6.2016 р.

Рецензент: професор, Осадчук Олександр Володимирович

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ (НКТД)

В работе представлены результаты измерений смещений в нанодиапазоне с использованием 2-х частотного гетеродинного интерферометра, а также измерения амплитудно-частотных характеристик преобразователей акустической эмиссии.

Ключевые слова: двухчастотный лазерный гетеродинный интерферометр, фазовый сдвиг, наносмещение, преобразователь акустической эмиссии, амплитудно-частотная характеристика.

S.A. DARZNEK, ZH.E. ZHELKOBAYEV

Joint Stock Company «Center for Surface and Vacuum Research» (JSC «CSVR») zhelkobaev@mail.ru

METROLOGICAL PROVISION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING SYSTEMS AND TECHNICAL DIAGNOSTICS

The report presents the results of measurements of displacements in the nanometer range using 2-frequency heterodyne interferometer and measurement of amplitude-frequency characteristics of acoustic emission transducers.

Keywords: 2-frequency heterodyne interferometer, phase shift, nanodisplacement, acoustic emission transducers, amplitude-frequency characteristics.

Развитие наукоемких технологий немислимо без создания высокочувствительных методов и высокоточных средств измерений сверхмалых линейных размеров и контроля прецизионных перемещений объектов в нанодиапазоне. При этом должны быть достигнуты предельно возможные степени точности и обеспечен соответствующий метрологический уровень.

Прецизионное измерение сверхмалых перемещений необходимо для проведения фундаментальных работ, связанных с созданием нового поколения взаимосвязанных эталонов в области механических и акустических величин, при исследовании квантово-размерных эффектов, высокостабильных источников когерентного излучения, калибровки актюаторов микро- и нанодиапазона и контроля техногенно-опасных объектов с целью обеспечения экологического баланса окружающей среды.

Оптимальным решением этих проблем может стать внедрение в практику линейных измерений методов и средств оптической (лазерной) интерферометрии-фазометрии (нанометрии), опирающихся на фундаментальные константы и эталоны физических величин [1,2,3]. В этом смысле интересно использование достижений лазерной интерферометрии-фазометрии для обеспечения высокого метрологического уровня при использовании методов неразрушающего контроля и технической диагностики для контроля состояния техногенноопасных объектов. Например, для поверки/калибровки преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), а в дальнейшем и очень высокую степень локализации зарождающегося дефекта (дефектов) в исследуемом объекте.

1. Преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ)

Среди широкого спектра методов и средств неразрушающего контроля значительное место занимают акустические методы [1-8], к которым относятся ультразвуковая дефектоскопия и метод акустической эмиссии (АЭ)[8-9]. В акустических методах в качестве первичных преобразователей в большинстве случаев используются акустоэлектрические преобразователи, принцип действия которых основан на преобразовании механического (акустического) смещения поверхности в электрический сигнал. Это так называемые преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ).

2. Неразрушающая диагностика промышленного оборудования

На современном этапе развития промышленности вопросы обеспечения надежной работы комплектующих изделий, оборудования и энергоснабжения приобретают первостепенное значение. Особое внимание к проблеме обеспечения промышленной безопасности объясняется тем, что современные производственные объекты работают в условиях повышенной нагрузки; возрастают параметры рабочих сред (давление, температура, химическая и радиационная активность), повышаются мощность и производительность отдельных блоков. Отказы в работе изделий, оборудования, коммуникаций, трубопроводов ведут к значительным экономическим потерям, в том числе обусловленными и нарушениями экологического баланса. Все это определяет необходимость системного подхода к оценке надежности работы производственных объектов, когда на первое место выдвигаются методы технической диагностики и неразрушающего контроля.

2.1 Физические основы метода неразрушающего контроля

Пластическая деформация твердых сред, развитие дефектов, трения, прохождение жидких и газообразных сред через узкие отверстия, неизбежно порождают волны, регистрируя которые, можно судить о протекании процессов и их параметрах.

2.2 Виды акустической эмиссии

1. Акустическая эмиссия материала – акустическая эмиссия, вызванная локальной динамической перестройкой структуры материала;
2. Акустическая эмиссия утечки – акустическая эмиссия, вызванная гидродинамическими и/или аэродинамическими явлениями при протекании жидкости (газа) через сквозную несплошность объекта испытаний;
3. Акустическая эмиссия трения – акустическая эмиссия, вызванная трением поверхностей твердых тел;
4. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях – акустическая эмиссия, связанная с фазовыми превращениями в веществах и материалах;
5. Магнитная акустическая эмиссия – акустическая эмиссия, связанная с излучением звуковых волн при перемагничивании материалов;
6. Акустическая эмиссия радиационного взаимодействия – акустическая эмиссия, возникающая в результате нелинейного взаимодействия излучения с веществами и материалами;
7. Акустическая эмиссия при химических и электрохимических реакциях – акустическая эмиссия, возникающая в результате протекания химических и электрохимических реакций, включая разнообразные коррозионные процессы [1-4, 8-9].

ПРИМЕЧАНИЕ: Из перечисленных видов АЭ наибольшее применение для контроля промышленных объектов нашли первые три [9].

2.3 Акустоэмиссионный метод неразрушающего контроля

Среди широкого спектра методов и средств неразрушающего контроля (НК) значительное место занимают акустические методы, к которым относятся ультразвуковая дефектоскопия и метод акустической эмиссии (АЭ).

Метод АЭ достаточно успешно применяется для диагностирования промышленных объектов: больших емкостей, металлических строительных конструкций, трубопроводов, мостов, различных узлов и устройств железнодорожного транспорта и т.д. Простейшим бытовым примером АЭ является треск, слышимый ухом при разрушении любого твердого объекта, например, слом ветки дерева или элементов строительных конструкций. Основным макроисточником такой эмиссии в твердом теле выступают фазовые превращения, образование и рост дефектов. Микромеханизмом АЭ является динамический разрыв атомных связей.

Метод АЭ – один из наиболее мощных средств обеспечения безаварийной эксплуатации оборудования опасных производственных объектов. Основное достоинство метода – возможность с его помощью выявлять и классифицировать развивающиеся дефекты не по размерам, а по степени их опасности для контролируемого объекта. Возможность работы в реальном времени делает метод АЭ незаменимым при исследовании механизмов перестройки структуры твердого тела и контроле промышленных объектов. Кроме того, метод АЭ обладает рекордно высокой чувствительностью по сравнению с другими методами неразрушающего контроля. При акустической эмиссии амплитуда колебаний поверхности твердого тела, как правило, не превышает нескольких нанометров, поэтому использование лазерного интерферометра для калибровки (поверки) ПАЭ не вызывает сомнений, а абсолютная привязка к Государственному эталону единицы длины – метру, обеспечивает высокую достоверность полученных результатов.

Метод АЭ [2,4;7,9], как неотъемлемая часть информационной технологии, позволяет наблюдать и исследовать динамику процесса деформации, разрушения, перестройки структуры вещества, химических реакций, взаимодействия излучения с веществом и т.п.

При детектировании АЭ эмиссии используется явление пьезоэффекта (прямой - обратный). Для этих целей используются приемники акустической эмиссии (ПАЭ). В России выпускают приемники акустической эмиссии самых различных модификаций в промышленных масштабах, например, фирма «ГлобалТест». Обработку измерительных данных обеспечивает оборудование фирмы «Интерюнис». Качество этих средств находится на хорошем современном уровне, и оборудование имеет возможность обновления.

Объектами тотального контроля являются магистральные нефте- и газопроводы, химические или атомные реакторы, мосты, особо нагруженные элементы железнодорожных систем, оборудование ЖКХ и т.п. ПАЭ выпускают в виде различных модификаций и назначения, с встроенным усилителем или без него. В промышленности наибольшее распространение получили ПАЭ типа GT200, рис. 1.

Есть и другие модификации ПАЭ, работающие в диапазоне частот 0-50 кГц предназначенные для контроля вибропроцессов или контроля процессов, протекающие в диапазоне частот 100-1000 кГц. Поверка ПАЭ проводится с использованием лазерного измерителя наноперемещений и калибратора акустического тракта[6].

2.4 Фазовый метод измерения линейных перемещений в нанометровом диапазоне

Фазовые методы измерения, в частности, оптическая интерферометрия-фазометрия, широко внедряются в практику прецизионных измерений, обеспечивая погрешность измерений в долях нанометра. Методы лазерной интерферометрии, обеспечивают высокую чувствительность $\sim 10^{-12}$ м к смещению объекта,



Рис. 1. Преобразователь акустической эмиссии типа GT200, рабочий диапазон частот (50-250) кГц.

высокую локальность, абсолютный характер калибровки измерений в долях длины волны лазерного излучения и возможность автоматизации и обработки измерительной информации с помощью персонального компьютера [1, 2, 4].

К этому классу измерительных систем относится созданная в АО «НИЦПВ», лазерная измерительная система, двухчастотный лазерный интерферометр-фазометр ЛИС-01М. Измерительная система зарегистрирована в Государственном реестре средств измерений России под №42622-09.

Таблица 1

Основные технические характеристики ЛИС-01М

Диапазон линейных перемещений, м	$5 \cdot 10^{-10} \div 10^{-3}$
Дискретность отсчета, нм	0.1
Основная абсолютная погрешность измерений перемещений не более, нм, в зависимости от диапазона	$0.3 \div 3$
Диапазон допустимых скоростей перемещений объекта, м/с	$0 \div 3 \cdot 10^{-3}$
Время преобразования, мкс	10.0

Известно, что при распространении ультразвуковых волн в конденсированных средах образуется высокочастотная пространственная фазовая решетка; при попадании на эту решетку свет испытывает дифракцию. При некоторых условиях (называемых условиями Брэгга) от падающего света выделяется единственный дифрагированный пучок излучения. Величина углового отклонения пучка определяется из

соотношения: $\sin \theta_B = \frac{\lambda}{2\Lambda}$, где

λ — длина волны падающего излучения, Λ — длина акустической волны, θ_B — угол Брэгга.

На рисунке 2 Ω_1 и \mathbf{K}_1 — частота и волновой вектор ультразвуковой волны, проходящей через первый АОМ, а Ω_2 и \mathbf{K}_2 - частота и волновой вектор ультразвуковой волны, проходящей через второй АОМ. Векторы \mathbf{k}_{+1} и \mathbf{k}_{-1} — волновые векторы волн, испытавших брэгговскую дифракцию на двух АОМ. Функциональная схема ЛИС-01М представлена на рисунке 3.

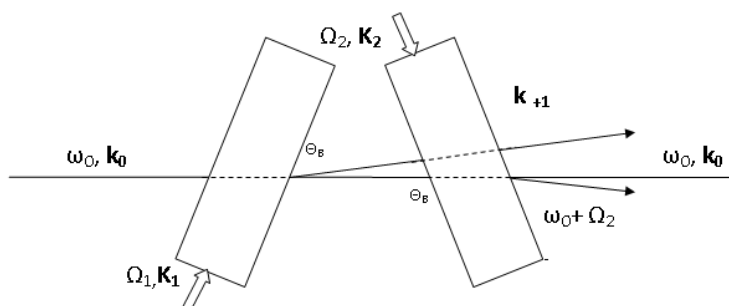


Рис. 2. Брэгговская дифракция при распространении лазерного излучения (с частотой ω_0 волновым вектором k_0) через два акустооптических модулятора (АОМ)

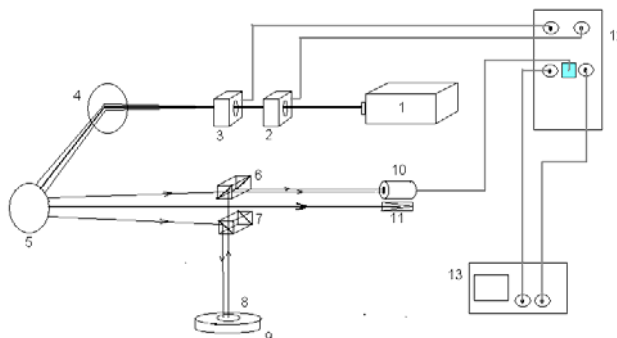


Рис. 3. Структурная схема интерферометра-фазометра ЛИС-01М
Где: 1-лазер ЛГН-302; 2и3-АОМ-ы; 4,5- зеркала; 6,7- смесительные элементы; 8- фазовый объект (ФО) с отражающим зеркалом; 9-юстировочный столик; 10- фотоприёмное устройств (ФПУ); 11- поглотитель пучка нулевого порядка дифракции; 12- электронно-фазометрическая система (ЭФС); 13- цифровой осциллограф. На рисунках 4(а, б) и 5(а, б) представлены результаты исследований фазосдвигающих устройств (ФСУ), изготовленных из пьезокерамических структур.

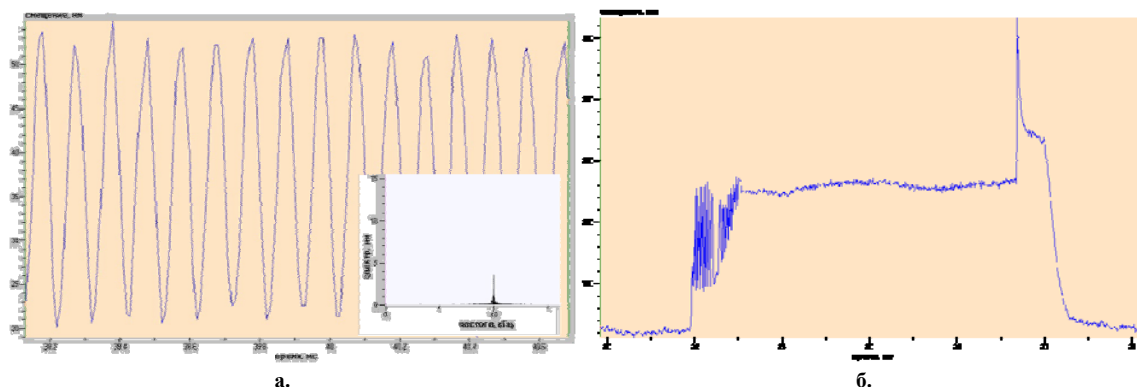


Рис. 4. Отклик ФСУ-1: а. на сигнал с $f = 10$ кГц и спектр отклика; б. на импульсное напряжение в 20 В

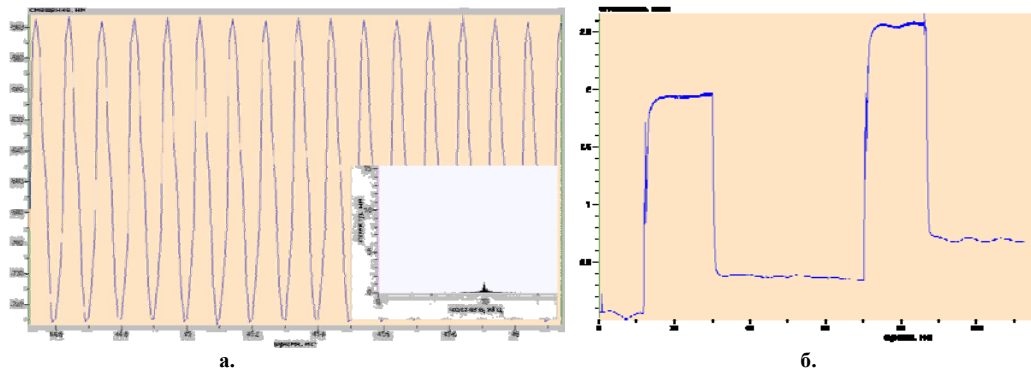


Рис. 5. Отклик ФСУ-2: а. на сигнал с $f=10$ кГц и спектр отклика; б. на импульсное напряжение в 50 В. Погрешность измерений лежит в диапазоне (6-8)%

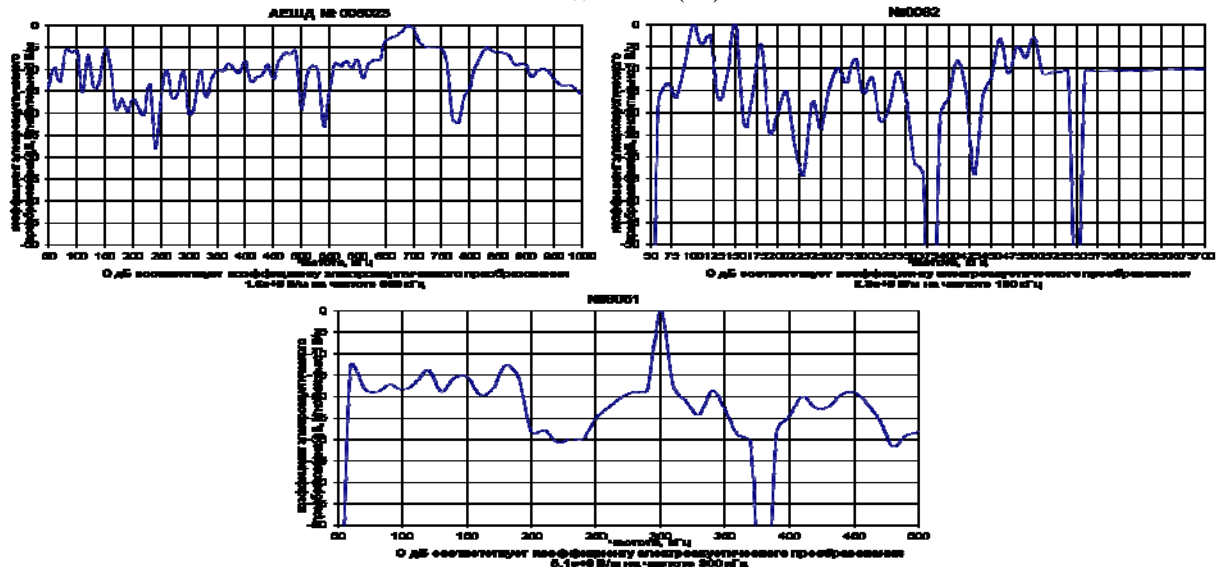


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики ПАЭ, измеренные с использованием лазерного интерферометра



Рис. 7. География предприятий-заказчиков для поверки/калибровки, систем неразрушающего контроля на территории России и ближнего зарубежья

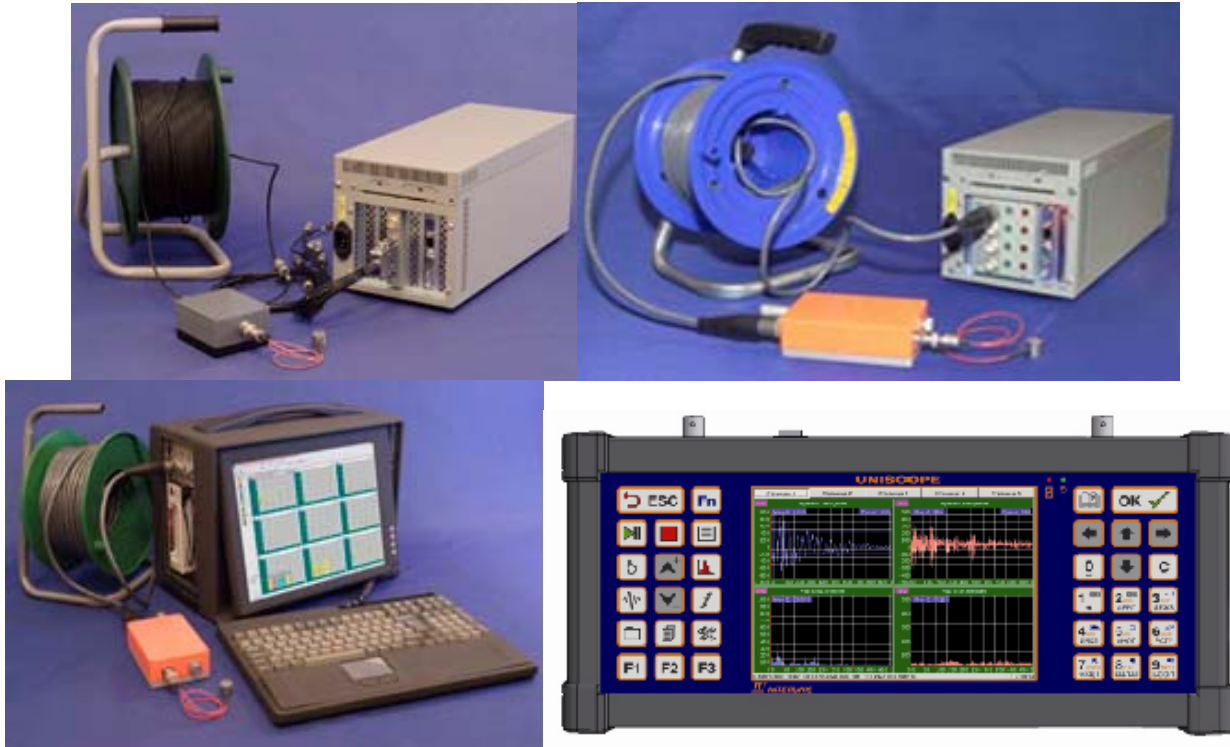


Рис. 8. Комплекс контрольно-измерительной аппаратуры (фирма Интерьюнис, РФ), используемый для получения, обработки и хранения данных при работе с использованием методов НК и ТД

Литература

1. Валиев К.А. Исследования в области квантовых технологий в информатике и метрологии. // Вестник РАН //, 2003, т.73, № 5, с. 400–405.
2. Лякишев Н.П. Нанокристаллические структуры новое направление развития конструкционных материалов. //Вестник РАН//, 2003, т. 73, № 5, с. 422–425.
3. Иванов В.И., Власов И.Э. Метод акустической эмиссии. В кн.: Неразрушающий контроль. Справочник. / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005, кн. 1.
4. С.А. Дарзбек, Ж.Желкобаев, В.В.Календин, Ю.А.Новиков Лазерный интерферометрический измеритель наносмещений / Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН Том 62 сс 14- 35
5. Григорьев В.А., Желкобаев Ж., Календин В.В., Кухтевич В.И., Супьян В.Я., Фролов Г.Ф., Троцишин И.В. Фазометр оптического диапазона. // Авторское свидетельство № 1411572, 1988 г.
6. Владимиров Б.Г., Желкобаев Ж., Календин В.В., Несмеянов С.С., Тодуа П.А. Способ калибровки преобразователей акустической эмиссии и устройство для его реализации. // Патент № 2321849. 2008 г.
7. РД 03-300-99 “Требования к преобразователям акустической эмиссии, используемым для контроля опасных производственных объектов”, 1999.
8. Ж. Желкобаев, В. Иванов, Ю. Новиков, П.Тодуа. Нанометрология на службе промышленной и экологической безопасности /Наноиндустрия 6/2009 сс. 34-38.
9. Неразрушающий контроль и диагностика. / Справочник. Под редакцией В.В. Клюева, Издание третье, переработанное и дополненное. М. «Машиностроение» 2005.

Рецензія/Peer review : 12.5.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 681.586.722

Є.О. ЗАЙЦЕВ, А.С. ЛЕВИЦЬКИЙ, Б.А. КРОМПЛЯС

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ ДЛЯ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ МЕТОДАМИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

У даній статті наведено результати експериментальних досліджень ємнісного сенсора з компланарними паралельними електродами, призначеного для вимірювання повітряного зазору між статором та ротором в капсульному гідрогенераторі типу СГК538/160-70М. Розроблено методику експериментального дослідження дослідного зразка сенсора. В результаті теоретичних досліджень на основі методів регресійного аналізу отримана функціональна залежність ємності сенсора від експериментально заданого значення зазору, який моделює зміну відстані між полюсом ротора та розточенням осердя статора в гідрогенераторі СГК538/160-70М. Проведена оцінка похибок апроксимуючих функціональних залежностей. Показано, що найменшу похибку забезпечує використання поліномів 3-4-го порядку.

Ключові слова: гідрогенератор, повітряний зазор, ємнісний сенсор, функція перетворення, регресійний аналіз.

I.O. ZAITSEV, A.S. LEVYTSKYI, B.A. KROMPLYAS

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH OF CAPACITIVE SENSOR FOR MEASUREMENT AIR GAP HYDRO-GENERATORS BASED ON REGRESSION ANALYSIS

This paper is present the result of experimental research of capacitive sensor with coplanar parallel electrodes. The sensor is designed for use to measure the air gap between the stator and rotor in capsular hydro-generators type SGK 538/160-70M. Developed technique for experimental study capacitive sensor shown in paper. Result of experimental studies was a calculated functional relationship for capacitive sensor. These relationships show a change in the sensor capacitance by change of the air gap in the hydro-generator. Value gap was simulates as the change of the distance between the rotor pole and the reboring of the stator core at hydro-generators type SGK 538/160-70M. The relationships are calculated with application of regression analysis methods. It estimates the error caused by using the calculated relationships. Shown that the ensures the the lowest error using 3-4-th order polynomials model.

Keywords: hydro generators, air gap, capacitive sensor, transfer function, regression analysis.

Вступ

Одним із найбільш екологічно чистим джерелом електричної енергії сучасного електроенергетичного комплексу України є потужні гідрогенератори. Забезпечення безперебійного функціонування гідрогенераторів неможливе без постійного або епізодичного контролю їх технічного стану. Проведення контролю вузлів гідрогенераторів дозволяє здійснювати його безпечною роботою протягом всього нормованого терміну експлуатації та при технічній можливості продовжити цей термін [1].

Однією з умов безперебійної та надійної роботи гідрогенераторів є використання сучасних засобів інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) для гідрогенераторів. При цьому контролюються характеристики повітряного зазору між статором й ротором, а також форма зазору.

Забезпечити стабільну та рівномірну величину повітряного зазору при експлуатації складно, особливо за умови невеликої величини повітряного зазору в порівнянні з діаметром розточення статора. Під час роботи гідрогенератора відхилення зазору від номінальних значень виникає внаслідок спотворення форми ротора та осердя статора. Відповідно до інструкції по експлуатації та ремонту гідрогенераторів асиметрія повітряного зазору визначається відхиленням зазорів у діаметрально протилежних точках, як напівсума цих зазорів [2]. Як зазначено в [2], повітряні зазори між ротором та статором генератора в діаметрально протилежних точках повинні відрізнятись один від одного для турбогенераторів з безпосереднім охолодженням провідників потужністю 150 МВт і більше не більше, ніж на 5% від їх середнього значення; 10% – у інших турбогенераторів; 20% – у гідрогенераторів (якщо заводськими інструкціями не передбачені більш жорсткі норми). Все це викликає необхідність автоматичного вимірювання зазору як в процесі експлуатації, так і під час планових оглядів та і ремонтів.

Найпоширенішим методом вимірювання зазору в потужних гідрогенераторах на даний час є ємнісний [3–7]. При використанні зазначеного метода ємнісні сенсори встановлюються на розточенні осердя статора, як зображено на рис.1.а, на якому введено наступні позначення: 1 – ємнісний сенсор; 2 – зубець осердя статора; 3 – полюс ротора). Електрична ємність встановленого сенсору (рис.1.а) залежить від величини повітряного зазору, тобто між відстані між обвідною полюсів ротора та поверхнею розточення осердя статора гідрогенератора (рис.1.б). На рис.1. наведено загальний вигляд капсульного гідрогенератора типу СГК538/160-70М, у якого для достовірного контролю зазору встановлено чотири сенсори ємнісного типу (по два з кожної сторони осердя). Наявність встановлених сенсорів дозволяє проводити контроль значенню величини повітряного зазору в гідрогенераторі. В умовах сьогодення є актуальним розробка спеціалізованих ємнісних сенсорів повітряного зазору для гідрогенераторів, адже для здійснення контролю

повітряного зазору в потужних генераторах необхідні високоєфективні прилади, розроблені з урахуванням конструктивних особливостей машини. Для забезпечення такої розробки необхідною умовою є визначення функціональних залежностей ємнісних сенсорів.

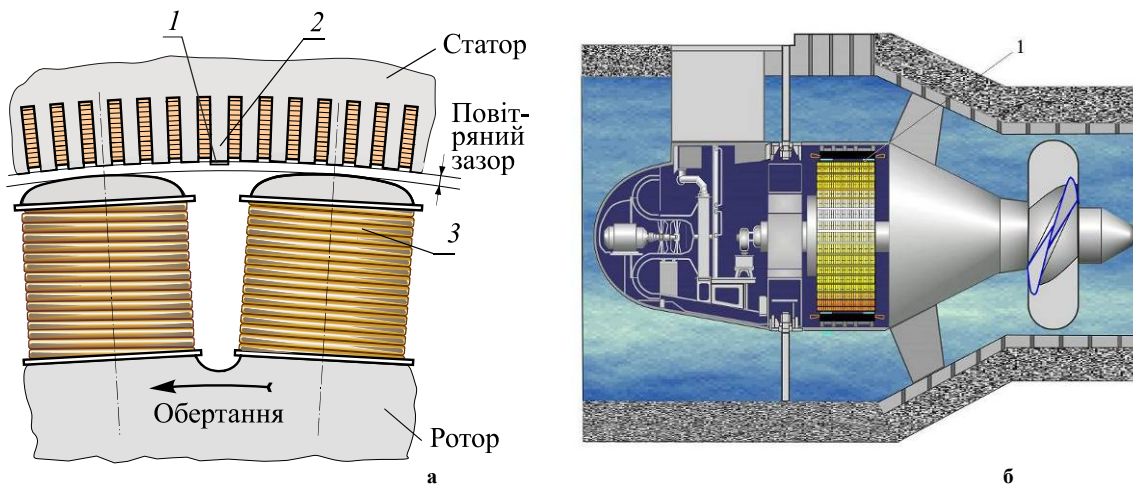


Рис. 1. Конструктивно-технологічні елементи гідрогенератору типу SGK538/160–70М

Мета статті

Метою даної роботи є теоретичне визначення методами регресійного аналізу функціональної залежності експериментально отриманих значень ємності компланарного ємнісного сенсора від дослідно заданого значення повітряного зазору між площиною електродів сенсора та площиною, що імітує заземлену поверхню полюса ротора капсульного гідрогенератора типу SGK538/160–70М.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розгляду питань вимірювання повітряного зазору в потужних генераторах присвячені публікації закордонних та вітчизняних дослідників. Так в роботах [8-13] розглядаються окремі аспекти аналітичних розрахунків, розробки та реалізації спеціалізованих сенсорів для вимірювання повітряного зазору в потужних гідрогенераторах. Так в роботі [8] автори приводять відомий механічний спосіб вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах. Описаний авторами спосіб вимірювання проводиться клиновим розсувним вимірювачем. Недоліком цього способу є його велика трудомісткість. До того ж, слід зазначити, що механічний спосіб вимірювання повітряного зазору розсувним вимірювачем не може забезпечити високу точність вимірювання, оскільки активне залізо статора і полюс ротора мають криволінійну форму з різними радіусами кривизни. Робота [9] присвячена розгляду побудови волоконно-оптичної системи вимірювання зазору з використанням волоконно-оптичного сенсора з пасивним відбивачем. Розглянута система призначена для точних вимірювань та аналізу динамічних змін повітряного зазору у великих гідрогенераторах. У системі використовується пасивний волоконно-оптичний сенсор принцип дії, якого базується на використанні пучка світлових променів волокон, який перебивається спеціальною непрозорою пластинкою в залежності від значення повітряного зазору. Зміна загальної інтенсивності світла слугує інформацією про зміну величини зазору. До недоліків варто віднести складність монтажу системи на роторі та складність виведення сигналу від рухомого ротора. Окрім того при роботі системи неприпустимою є наявність пилу та абразивних часток зношення в головці сенсора, що викликає необхідність її періодичного очищення.

У роботах [10,11] запропоновано ультразвуковий метод вимірювання повітряного зазору. Методу полягає в тому, що з встановленого на роторі (або на статорі) випромінювача в напрямку статора (або ротора) випромінюється ультразвуковий сигнал, який відбивається від статора (або ротора) і фіксується приймачем, розміщеним в одному блоці з випромінювальним пристроєм. Значення повітряного зазору між ротором та статором в цьому випадку вимірюється як сумарний час проходження "туди-назад" зонду чого звукового сигналу з урахуванням швидкості звуку та швидкості обертання ротора. Недоліками методу – є низька точність вимірювання (2–3%) через спотворення звукового сигналу в працюючій машині, а також складність реалізації системи передачі інформаційного сигналу з ротора, що обертається.

В [12] розглянуто реалізацію ємнісного способу вимірювання повітряного зазору, в якому вимірювання інформативної ємності здійснюється між високопотенціальним електродом ємнісного сенсора, який розміщений на розточенні осердя статора, і поверхню полюса ротора генератора. При цьому, для отримання рівномірного електричного поля в зазорі сенсора навколо працюючого високопотенціального електрода розміщується охоронний електрод з потенціалом рівним потенціалу працюючого електрода, але при цьому електроди гальванічно не з'єднані. Недоліком способу є складність схеми вимірювального вторинного перетворювача, до складу якого входить спеціальний трансформатор з обмоткою, виконаною екранованим радіочастотним кабелем, і спеціальний триаксальний кабель. В роботі [13] розглянуто ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору між двома металевими об'єктами (наприклад,

поверхнею розточення осердя статора і полюсом ротора в генераторі), що містить передавальний (високопотенціальний), приймальний (низькопотенціальний) та додатковий металеві електроди, які розташовані в одній площині і закріплені через діелектричну прокладку на розточенні осердя статора. Додатковий електрод розташований навколо високопотенціального та низькопотенціального електродів. Потенціал додаткового електрода рівний потенціалу низькопотенціального електрода (тобто нулю) для зниження впливу крайових ефектів. Недоліком запропонованого сенсору є звужений діапазон вимірювання через малу відстань між високопотенціальним та низькопотенціальним електродами.

Тобто більшість відомих сьогодні методів, що описані в розглянутих вище роботах [1, 8-13], мають істотні недоліки при їх практичному застосуванні для моніторингу стану повітряного зазору між ротором та статором капсульного гідрогенератора типу СГК538/160–70М. Тому для здійснення контролю повітряного зазору авторами в роботі [14] для вимірювання повітряного зазору запропоновано ємнісний сенсор з двома робочими компланарними паралельними електродами з розширеним робочим діапазон вимірювання повітряного зазору.

Вирішення проблеми

Одним із перспективних напрямків вдосконалення роботи моніторингових систем повітряного зазору в капсульних гідрогенераторах типу СГК538/160–70М є використання сенсорів, що адаптовані до умов експлуатації та конструктивних особливостей генератора. Використання таких сенсорів, як джерел первинної інформації дозволяє підвищити якість роботи ІВС та систем автоматичного керування роботою такого складного електротехнічного електрообладнання, як гідрогенератори. Загальний вигляд ІВС з використанням запропонованого в [14] авторами компланарного ємнісного сенсору повітряного зазору зображена на рис.2

На блок-схемі(рис.2) прийняті наступні позначення: $C_1...C_n$ – ємнісні сенсори повітряного зазору між статором та ротором; ПСК – перетворювач ємнісний код; БПСК - блок ПСК; ППЗД - пристрій перетворення та збору даних; БКІВЗ - блок керування та інформаційно-вимірювального забезпечення; ПМЗ - програмно-математичні засоби.

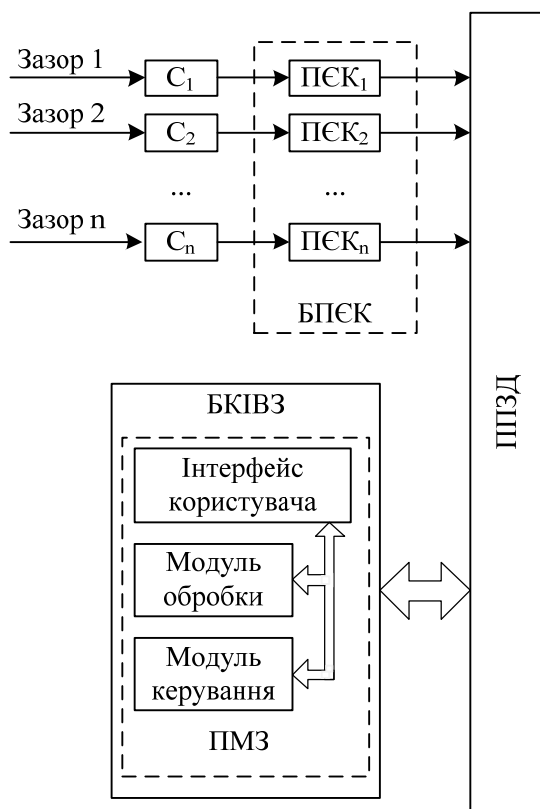


Рис. 2. Блок-схема ІВС повітряного зазору гідрогенератора

На блок-схемі(рис.2) прийняті наступні позначення: $C_1...C_n$ – ємнісні сенсори повітряного зазору між статором та ротором; ПСК – перетворювач ємнісний код; БПСК - блок ПСК; ППЗД - пристрій перетворення та збору даних; БКІВЗ - блок керування та інформаційно-вимірювального забезпечення; ПМЗ - програмно-математичні засоби.

В якості сенсору повітряного зазору в ІВС використовується ємнісний сенсор з двома робочими компланарними паралельними електродами. Конструктивна схема ємнісного сенсору, що була раніше запропонована авторами в роботі [14] зображена на рис.3., на якому введено наступні позначення: 1, 2 – паралельні електроди; 3 – охоронний електрод. Принцип дії ємнісного сенсору полягає в зміні електричної ємності між електродами 1 і 2 від зміни величини повітряного зазору між поверхнями ротора та статора в гідрогенераторі. Для визначення функціональних залежності зміни ємності сенсору від значення повітряного зазору між ротором та статором в гідрогенераторі була використана схема приведена на рис.4, на якій: 1 – заземлена пластина, що імітує полюс ротора гідрогенератора, 2 – пластина, на якій сформовані електроди сенсора, 3 – міст змінного струму P5083.

В процесі випробування мостом змінного струму типу P5083 вимірювалась електрична ємність C_{12} між електродами 1 і 2 (рис. 3) під час зміни зазору d за допомогою мікрометричної головки в діапазоні від 2 до 10 мм. В результаті проведеного експериментального дослідження було отримано 20 базових точок для розрахунку експериментальної

функціональної залежності значення ємності від значення повітряного зазору.

Для вирішення задачі визначення функціональної залежності ємнісного сенсора повітряного зазору скористаємося методами, заснованими на регресійному аналізі експериментально отриманих даних $x[n]$. При цьому завданням є отримання функціональної залежності $C_{12}[n]$, яка апроксимує експериментально отриману залежність $x[n]$ і мінімізує функціонал виду:

$$Q = \sum_{i=1}^n (C_{12}[n] - x[n])^2 \rightarrow \min \tag{1}$$

У цьому випадку функція $C_{12}[n]$ описує криву, яка повторює графік отриманої експериментальної

поліноміальної моделі при $m=4 - Q^2 \approx 1$.

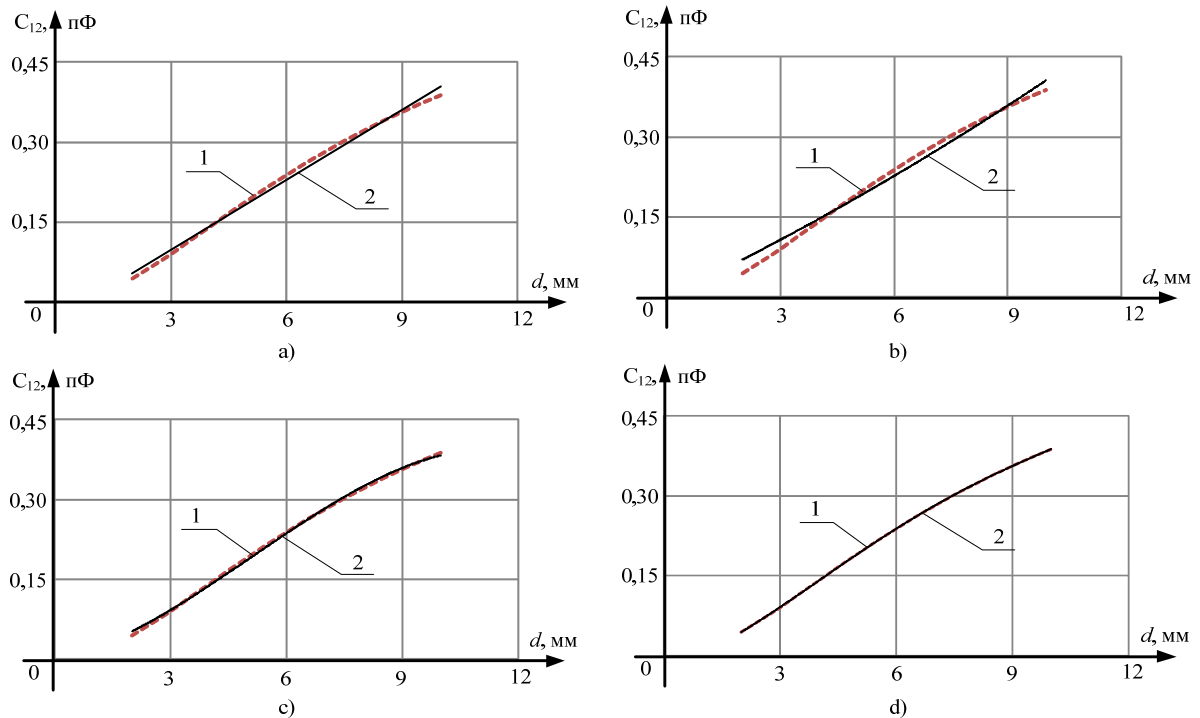


Рис. 5. Функціональні залежності

Відповідно до проведеного аналізу найбільше значення відхилення від одиниці має місце при використанні поліноміальної моделі другого порядку в якості функціональної залежності, а найменше значення забезпечує використання поліномів 3-4-го порядку зі значенням близьким до одиниці. Тобто найбільша похибка апроксимації серед розглянутих моделей має місце при використанні поліноміальної моделі другого порядку, а найменша похибка – при використанні поліноміальної моделі четвертого порядку. Використання поліномів більш високих порядків не є доцільним, так як вони не зменшують значення похибки апроксимації, але й в деяких випадках при використанні поліноміальних моделей високих порядків можуть дати в проміжних точках апроксимації аномально великі значення похибок.

Процедури розрахунків регресійних коефіцієнтів та побудови функціональних залежностей для області визначення залежності зміни ємності від значення експериментально заданого повітряного зазору проводилася при використанні засобів MS Excel та NI LabVIEW.

Висновки

При проведенні експериментальних дослідів запропонованою методикою було визначено залежність ємності сенсору від значення повітряного зазору між площиною електродів сенсору та площиною, що імітує заземлену поверхню полюса ротора капсульного гідрогенератора типу СГК538/160–70М. На основі теоретичних досліджень методами регресійного аналізу були отримані функціональні залежності значення ємності та проведено оцінку похибок отриманих функціональних залежностей та встановлено, що найменшу похибку забезпечує використання поліномів 3-4-го порядку.

Проведені експериментально-теоретичні дослідження розробленого компланарного ємнісного сенсору дозволили отримати функціональні залежності, які можливо використовувати при проектуванні ІВС контролю повітряного зазору в капсульному гідрогенераторі типу СГК538/160–70М.

Література

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. - 6-е изд., с изм. и доп. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. Режим доступу: http://www.znaytovar.ru/gost/2/RD_34455130097_Obem_i_normy_is.html
2. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – Офіц. вид. – К.: ОЕП. ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2007. – 262 с.
3. Левицький А.С, Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів. – Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011. – 242 с.
4. VMTM Air Gap. Capacitive Measuring Chains. Режим доступу: <http://vibrosystem.com/wp-content/uploads/9628-25D1A-103.pdf>

5. Volkovas Vitalijus, Mikalauskas Robertas, Eidukeviciute Marija. Air gap measuring system for purpose of diagnostics and condition monitoring.
6. Griščenko Marina. Air gap monitoring unit generator to advance vibration diagnostic procedure : Summary of the Doctoral Thesis : Summary of the Doctoral Thesis. R. : RTU, 2015. – 20 p.
7. Air Gap Monitoring System. Режим доступу: <http://www.mc-monitoring.com/sensors/airgap-sensors.html>.
8. Федоренко Г.М. Вплив параметрів повітряного зазору на характеристики гідрогенераторів / Г.М. Федоренко, В.О. Саратов, В. В. Черниш // Гідроенергетика України. – 2005. – № 4. – С. 26–33.
9. Talas P. Dynamic measurement and analysis of air gap variations in large hy-droelectric generators / P. Talas, P. Toom // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. – 1983. – Vol. PAS-102, No. 9, September 1983. – P. 3098 – 3106.
10. Pat. 4821561 United States, МКИ G01M 15/00. Method of metering an air-gap in an electric rotating machine / Keiji Takahashi (Японія), Mamoru Zennoji (Японія); заявник і патентовласник Mitsuba Electric Mfg. Co., Ltd. (Японія). – № US 07/120618; заявл. 13.11.87; опубл. 18.04.89.
11. Pat. 4704906 United States, МКИ G01S 15/88, G01S 15/14, G01S 15/00, G01N 029/00. Dynamic air gap measuring device for use with rotating electrical machinery / Thomas Lynn Churchill (США), James M. Ross (США); заявник і патентовласник Electric Power Research Institute (США, Каліфорнія). – №US06/850234; заявл. 10.04.86; опубл. 10.11.87.
12. Пат. 86524 Україна, МПК G01B 7/14, G01R 27/26. Спосіб вимірювання повітряного зазору між статором і ротором в гідрогенераторі та пристрій для його реалізації / Поташник С.І., Вошинський К.В., Грубой О.П., Левицький А.С., Небо-любов Є.Ю., Новік А.І., Федоренко Г.М., Шофул А.К.; заявник і патентовласник ВАТ «Укргідроенерго» (Україна). – № а 2007 12431; заявл. 09.11.07; опубл. 27.04. 09, Бюл. № 8.
13. Патент РФ № 2318182, МПК G01B 7/14. Устройство измерения воздушного зазора / Скворцов О. Б. , Радчик И. И., Тараканов В. М., Трунин Е. С., Смирнов С. И. ; Заявитель и патентообладатель ООО "ДИАМЕХ-2000" (Россия). – 2006128904/28; заявл. 09.08.2006; опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6
14. Заявка на патент України, МКИ G01B7/14. Ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору в генераторах / Левицький А.С., Зайцев Є.О., Кромпляс Б.А. ; заявник Інститут електродинаміки НАН України. – № а 2016 03404; заявл. 01.04.2016.
15. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов // Монография: пер. с англ. под ред. Ю. К. Беляева – М.: Мир. – 1976. – 757 с.

References

1. Ob'em i normy ispytaniy e'lektrooborudovaniya / Pod obshh. red. B.A. Alekseeva, F.L. Kogana, L.G. Mamikonya-nca. - 6-e izd., s izm. i dop. - M.: Izd-vo NC E'NAS, 2004. Rezhim dostupu: http://www.znaytovar.ru/gost/2/RD_34455130097_Obem_i_normy_is.html
2. Normi viprobuvannya elektroobladnannya: SOU-N EE 20.302:2007. – Ofic. vid. – K.: OEP. GRIFRE: M-vo pali-va ta energetiki Ukraїni, 2007. – 262 s.
3. Levic'kij A.S, Fedorenko G.M., Gruboj O.P. Kontrol' stanu potuzhnix gidro- ta turbogeneratoriv za dopomo-goyu emnisnix vimiryuvachiv parametriv mexanichnix defektiv. – Kiiv: In-t elektrodinamiki NAN Ukraїni, 2011. – 242 s.
4. VMTM Air Gap. Capacitive Measuring Chains. Dostup: <http://vibrosystm.com/wp-content/uploads/9628-25D1A-103.pdf>
5. Volkovas Vitalijus, Mikalauskas Robertas, Eidukeviciute Marija. Air gap measuring system for purpose of diagnostics and condition monitoring. Rezhim dostupu: http://www_bg_utp_edu_plartdiagnostyka2004volkovas.pdf.
6. Griščenko Marina. Air gap monitoring unit generator to advance vibration diagnostic procedure : Summary of the Doctoral Thesis : Summary of the Doctoral Thesis. R. : RTU, 2015. – 20 p.
7. Air Gap Monitoring System. Rezhim dostupu: <http://www.mc-monitoring.com/sensors/airgap-sensors.html>.
8. Fedorenko G.M. Vpliv parametriv povitryanogo zazoru na xarakteristiki gidrogeneratoriv / G.M. Fedorenko, V.O. Saratov, V. V. Chernish // Gidroenergetika Ukraїni. – 2005. – № 4. – S. 26–33.
9. Talas P. Dynamic measurement and analysis of air gap variations in large hy-droelectric generators / P. Talas, P. Toom // IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems. – 1983. – Vol. PAS-102, No. 9, September 1983. – P. 3098 – 3106.
10. Pat. 4821561 United States, МКИ G01M 15/00. Method of metering an air-gap in an electric rotating machine / Keiji Takahashi (Японія), Mamoru Zennoji (Японія); заявник і патентовласник Mitsuba Electric Mfg. Co., Ltd. (Японія). – № US 07/120618; заявл. 13.11.87; опубл. 18.04.89.
11. Pat. 4704906 United States, МКИ G01S 15/88, G01S 15/14, G01S 15/00, G01N 029/00. Dynamic air gap measuring device for use with rotating electrical machinery / Thomas Lynn Churchill (SShA), James M. Ross (SShA); заявник і патентовласник Electric Power Research Institute (SShA, Kaliforniya). – №US06/850234; za-yavl. 10.04.86; opubl. 10.11.87.
12. Pat. 86524 Ukraїna, МПК G01B 7/14, G01R 27/26. Sposib vimiryuvannya povitryanogo zazoru mizh statorom i rotorom v gidrogeneratori ta pristrij dlya jogo realizacii / Potashnik S.I., Voshhins'kij K.V., Gruboj O.P., Levic'kij A.S., Nebo-lyubov Є.Yu., Novik A.I., Fedorenko G.M., Shoful A.K.; заявник і патентовласник ВАТ «Укргідроенерго» (Україна). – № а 2007 12431; заявл. 09.11.07; опубл. 27.04. 09, Byul. № 8.
13. Patent RF № 2318182, МПК G01B 7/14. Ustrojstvo izmereniya vozdušnogo zazora / Skvorcov O. B. , Radchik I. I., Tarakanov V. M., Trunin E. S., Smirnov S. I. ; Zayavitel' i patentoobladatel' ООО "DIAMEX-2000" (Rossiya). – 2006128904/28; заявл. 09.08.2006; опубл. 27.02.2008, Byul. № 6
14. Zayavka na patent Ukraїni, МКИ G01B7/14. Emnisnij sensor dlya vimiryuvannya povitryanogo zazoru v generato-rax / Levic'kij A.S., Zajcev Є.O., Kromplyas B.A. ; заявник Інститут електродинаміки NAN Ukraїni. – № а 2016 03404; заявл. 01.04.2016.
15. Anderson T. Statisticheskij analiz vremennyx ryadov // Monografiya: per. s angl.– M.: Mir. – 1976. – 757 s.

Рецензія/Peer review : 24.6.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ
ПЕРЕДАВАЧІВ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ**

Стабілізація зв'язку значною мірою визначається стабілізацією оптичних випромінювачів, лазерів. Розглядається особливість використання передавачів та методи їх стабілізації. Запропоновані ряд структурних схем, які можна використовувати в системі стабілізації режимів оптичних випромінювачів. Наведено приклади стабілізації

Ключові слова: стабілізація, потужність, температура, струм, лазер, передавач.

O.O. DRYUCHYN, V.I.OTT
Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, Ukraine

STABILIZATION RADIATION TRANSMITTER OPTICAL RANGE

Abstract. The stabilization due largely determined by stabilization optical emitters, lasers. We consider the use of transmitters feature and methods of stabilization. A number of block diagrams that can be used in the system stabilization mode optical emitters. examples of stabilization

Keywords: stabilization, power, temperature, current, laser transmitter.

Вступ

Оптичні системи зв'язку дозволяють значно збільшити швидкість передачі інформації, проте якість та надійність зв'язку залежить від стабільності роботи передавача ОПД. Тому задачам стабілізації пікової потужності та температури лазера надається постійна увага.

Оптичний передавач(ОП) - пристрій, що забезпечує перетворення електричного сигналу в оптичний. До складу ОПД входять виконані в єдиному конструктивному виконанні джерело оптичного випромінювання, електронні пристрої для перетворення вхідних електричних сигналів і стабілізації режимів роботи каскадів, а також оптичний з'єднувач, або облаштування введення випромінювання в ОВ. Він повинен задовольняти наступним основним вимогам:

- генерувати оптичне випромінювання на заданій довжині хвилі, яка має один з мінімумів згасання в ООВ;
- забезпечувати високий ККД введення оптичного випромінювання в ООВ;
- мати малі габарити, масу і споживану потужність;
- відрізнятися простотою, надійністю і довговічністю.

До основних характеристик цих ОП відносяться:

- швидкість передачі;
- модовий склад випромінювання;
- довжина хвилі оптичного випромінювання і характеристики його спектру;
- тип вживаного джерела випромінювання;
- номінальна вихідна потужність оптичного випромінювання;
- характеристики спотворень переданого сигналу, що вносяться ;
- характеристики надійності.

Цим вимогам як найповніше відповідають джерела оптичного випромінювання, побудовані на основі напівпровідникових структур. Тому в якості джерел у ВЦСП практично використовують два типи напівпровідникових випромінювачів : світловипромінюючі діоди і напівпровідникові лазери.

Розв'язання задачі

В сучасних передавачах ВОСП - джерелами оптичного випромінювання є напівпровідникові лазери. Лазер оснований на використанні так званого стимульованого випромінювання, яке виникає при виконанні особливих умов в квантових системах. Для ослаблення впливу хроматичної дисперсії вони повинні працювати в одномодовому двочастотному режимі, тому що в цьому випадку досягається мінімальна ширина спектра випромінювання. Найбільш широке застосування в апаратурі ВОСП - знаходять джерела випромінювання наступних типів:

В напівпровідникових лазерах розглядається як генератор когерентного випромінювання в ультрафіолетовій, видимій або інфрачервоній області на основі напівпровідникового кристала. В системах зв'язку використовують інжекційні лазери, лазери з оптичним накачуванням і лазери з накачуванням пучком швидких електронів. Інкєкційні лазери (ІЛ) складаються з активного середовища і резонатора. Інкєкційні лазери із зарощеною структурою дозволяють отримати оптичне випромінювання однієї моди, мають кращу тимчасову стабільність і підвищену лінійність потужності вихідного випромінювання. В свою чергу лазери розділяють на такі групи:

- лазери з розподіленим зворотним зв'язком (DFB) - лазер, резонатор якого складається з

активного середовища, що включає в себе дифракційну ґратку, яка являє собою розподілений відбивач в діапазоні довжин хвиль лазерної генерації і, зазвичай, виконується з рівномірним фазовим зсувом;

- лазери з розподіленими бреггівськими відбивачами (DBF) - лазер, де в якості дзеркал резонатора використовується як мінімум один розподілений бреггівський відбивач, що знаходиться поза активним шаром;

- лазери на вертикальних резонаторах (VCSEL) - різновид діодного напівпровідникового лазера, що випромінює світло в напрямку, перпендикулярному поверхні кристала, на відміну від звичайних лазерних діодів, випромінюючих в площині, паралельній поверхні.

Слід зазначити, що для стабільності випромінюваної потужності, лазерні ОП найчастіше оснащуються контуром зворотного зв'язку. Такі системи по струму або пікової потужності включають до свого складу фотодіод зворотного зв'язку, інтегруючий підсилювач і регулюючий елемент, що впливає на середнє значення струму накачування. Також в деяких схемах застосовується і стабілізація робочої температури лазерного кристала на значенні близько 20°C . Застосування усіх цих заходів забезпечує стабілізацію випромінюваної потужності ОП. Зміна пікової потужності найбільшою мірою проявляється при передачі імпульсних послідовностей, які в загальному випадку мають випадковий характер і ведуть до спотворень форми імпульсу та зміни їх часових параметрів. Використання стабілізації струму заміщення можна реалізувати відносно просто, але практично носить параметричний характер, по відношенню до випромінювача. Щоб подолати багатомодове випромінювання, яке веде до зменшення рівня точкового перепаду при передачі цифрової послідовності та появи фонових випромінювань, в таких схемах потрібно встановлювати рівень зміщення вище порогової.

Зміна пікової потужності найбільшою мірою проявляється при передачі імпульсних послідовностей, які в загальному випадку мають випадковий характер і ведуть до спотворень форми імпульсу та зміни їх часових параметрів. Використання стабілізації струму заміщення [1] можна реалізувати відносно просто, але практично носить параметричний характер, по відношенню до випромінювача. Такий характер стабілізації суттєво обмежує можливість стабілізації потужності випромінювання за рахунок неявного зв'язку між $I_{\text{ЗМ}}$ і генератором виправлення у динаміці

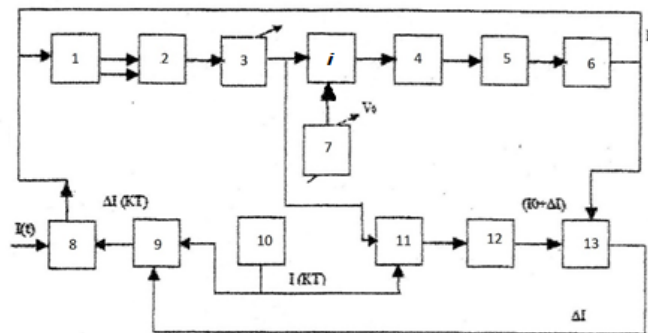


Рис. 1. Структурна схема стабілізації оптичної потужності

Запропонована структурна схема для реалізації такого способу наведена на рисунку 1. Система стабілізації зворотна. Середня потужність стабілізується струмом зміщення ДІ у верхньому контурі: 1- фотопередавач; 2 - фотоприймач; 3 - регульований підсилювач; 4 - інтегратор; 5- смуговий фільтр; 6- керування генератором струму; 7- джерело оптичної напруги для встановлення номінального значення V_0 , і –компаратор. В такій схемі використовується двоконтурна система стабілізації. Пікова потужність стабілізується у другому контурі за рахунок проведення НЧ модуляції вхідної послідовності $I(t)$. Частота модуляції задається тактовим генератором (10) який синхронізує роботу синхронного детектора (11) і синхронного ключа (9). Стабілізація здійснюється по середньому за період T значенню приросту потужності (струму ДІ (КТ)). До другого контуру також входить: 8-суматор; 12 - фільтр низьких частот; 13- компаратор; С- розділова ємність.

В реальних ОПЕРП також передбачаються схеми захисту від кидків струму при включенні-виключенні живлення, та від нестаціонарних струмів, які виникають внаслідок припинення потоку даних.

Спосіб стабілізації вихідної потужності лазера з використанням НЧ підмодуляції ґрунтується на тому, що вхідні відеоімпульси модулюються НЧ - допоміжним сигналом. Принципова схема ОПД, в якому для стабілізації вихідної потужності оптичного випромінювання використовується НЧ- підмодуляція, приведена на рис. 4.7. У цій схемі по НЧ - складовій ускладні сигналу оптичного випромінювання автоматично регулюються струм зміщення і вхідний струм модуляції лазера. Тому схема містить два контури стабілізації вихідної потужності оптичного випромінювання.

Перший контур стабілізує середню потужність оптичного випромінювання, регулюючи постійний струм зміщення лазера V_I . До складу контура входять такі пристрої: фото діод зворотного зв'язку V_2 , підсилювач A_1 , компаратор A_2 , інтегратор $I_{\text{нт}}$, регульоване джерело струму зміщення на транзисторі T_3 . Контур працює таким чином. Фотострум, пропорційний випромінюваній оптичній потужності, з фотодіода зворотного зв'язку U_2 поступає на вхід підсилювача A_1 , де перетворюється у відповідну напругу. Коефіцієнт

перетворення встановлюється резистором 1. Напряга з виходу підсилювача А1 в компараторі А2 порівнюється з опорною напругою I_0 . Різницевий сигнал з виходу компаратора через інтегратор $I_{нт}$ задає напругу, що управляє, на транзисторі Т3. Цією напругою регулюється постійний струм зміщення лазера VI і, отже, його середня потужність оптичного випромінювання.

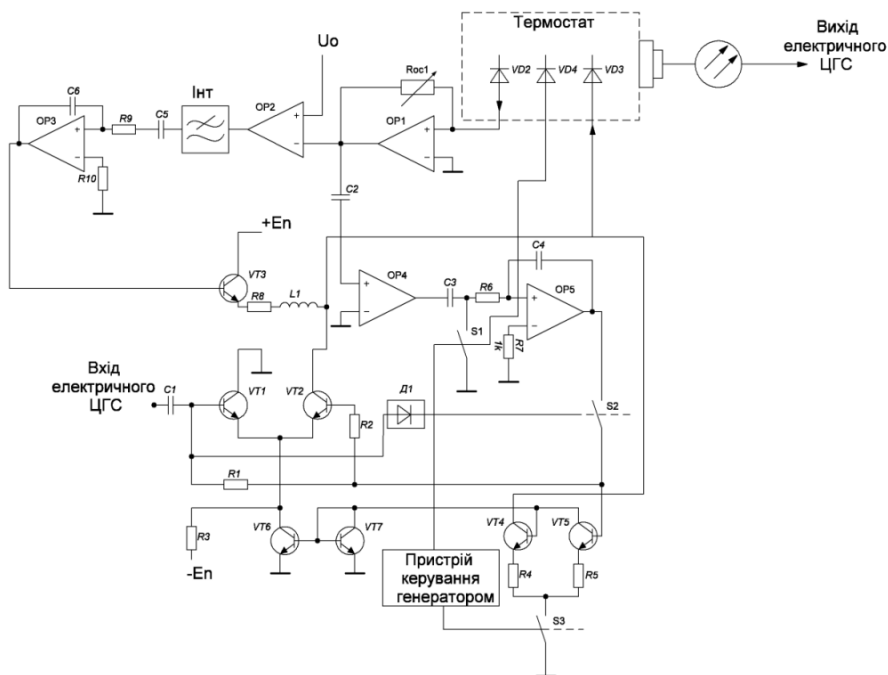


Рисунок 2 - Функціональна схема стабілізації вихідної потужності лазера з використанням НЧ підмодуляції

Другий контур регулює вхідний струм модуляції переданого сигналу так, щоб результуючий сигнал НЧ - складових у складі лазерного випромінювання дорівнював нулю. До складу другого контура входять: фотодіод зворотного зв'язку Y2, підсилювачі А1 і А3, інтегратор-компаратор R6, C4, A4 і регулятор вхідного струму на транзисторах Т1, Т2.

Допоміжними облаштуваннями даної схеми ОПД є генератор струму НЧ - підмодуляції Г з схемою управління і детектор вхідного сигналу Д. Генератор зібраний на транзисторах Т4 і Т5, він генерує прямокутні імпульси з частотою їх дотримання 10 кГц і управляє ключем К3. Амплітуда імпульсів струму НЧ - підмодуляції на виході генератора пропорційна напрузі на базах транзисторів Т4, Т5, що ділиться на опір резисторів R4 і R5. Співвідношення струмів модуляції I_m і зміщення $I_{зм}$ задається відношенням опорів резисторів, R4 і R5 при цьому глибина модуляції переданого сигналу сигналом НЧ - підмодуляції визначається відношенням опорів R4/R3

Другий контур працює таким чином. Результуючий сигнал НЧ - складових у складі лазерного випромінювання з фото діода зворотного зв'язку V2 поступає на вхід підсилювача А1. З виходу підсилювача цей сигнал через конденсатор C2, підсилювач А3 і конденсатор C3 подається на ключ К1, який управляє генератором Г. Ключ К1 і генератор Г утворюють синхронний детектор.

Якщо різницевий струм $I_m - I_{ам}$, що поступив на ключ К1, має позитивне значення, то сигнал на виході цього ключа негативний і інтегратор - компаратор К6, C4, A4 збільшує струм НЧ - підмодуляції, що поступає через ключ К2 на бази транзисторів Т1, Т2. Якщо різницевий сигнал $I_m - I_{ам}$ негативний, то інтегратор-компаратор зменшує струм НЧ - підмодуляції, що поступає на бази транзисторів Т1, Т2. Таким шляхом здійснюється зміна(підмодуляція) вхідного сигналу, що модулює випромінювання лазера V1.

Переданий ЦГС поступає на вхід 1 схеми і через конденсатор C1 впливає на бази транзисторів Т1, Т2, на яких зібрана схема регулятора вхідного струму. Одночасно диференціальний підсилювач на транзисторах Т1, Т2 являється формувач модулюючих імпульсів струму, які управляють випромінюванням лазера V1.

Таким чином, змінюючи напругу на входах 2 (регулювання струму підмодуляції) і 3 (регулювання струму зміщення), можна управляти струмами модуляції і зміщення лазера відповідно.

Розглянутий спосіб стабілізації вихідної потужності випромінювання лазера є прийнятнішим в порівнянні з приведеним вище параметричним способом, оскільки тут здійснюється автоматичне регулювання струму зміщення струму модуляції, які залежать від температури і старіння лазера.

У схемі передбачений детектор вхідного сигналу Д, який за відсутності переданих імпульсів на вході 1 схеми за допомогою ключа К2 відключає регулювання струму підмодуляції, тобто розриває ланцюг з виходу інтегратора - компаратора R6; C4, A4 на бази транзисторів Т1, Т2. Так знімається невизначеність в роботі другого контура. Інакше регулювання струму модуляції могло б розпочатися з його максимального значення.

Імпульсний спосіб стабілізації вихідної потужності випромінювання лазера ґрунтується на порівнянні параметрів імпульсів на виході фотодіода зворотного зв'язку з еталонними імпульсами. Для реалізації способу потрібні швидкодіючий фотодіод зворотного зв'язку, а також тракт виміру і посилення вихідних імпульсів. Це істотно ускладнює завдання побудови такої схеми ОПД.

Методи стабілізації, спрямовані на зменшення ширини лінії випромінювання лазера і зменшення спектрального дрейфу лінії випромінювання за тривалий час. У пасивних методах стабілізація здійснюється вибором для резонатора лазера матеріалів з низьким коефіцієнтом теплового розширення (інвар, ситал, кварц і так далі), віброізоляцією резонатора лазера за допомогою матеріалів, що гасять механічні і акустичні обурення (гума, пінопласт, і так далі). Ширина лінії випромінювання пасивно стабілізованих одно-частотних лазерів складає, як правило, одиниці МГц. У системах активної стабілізації частоти генерації лазера використовується який-небудь частотний репер (пік пропускання інтерферометра, атомна або молекулярна лінія поглинання і так далі), до якого за допомогою електронної системи "прив'язується" частота лазера. Ширина лінії випромінювання активно стабілізованого одночастотного лазера складає зазвичай менше 1 МГц.

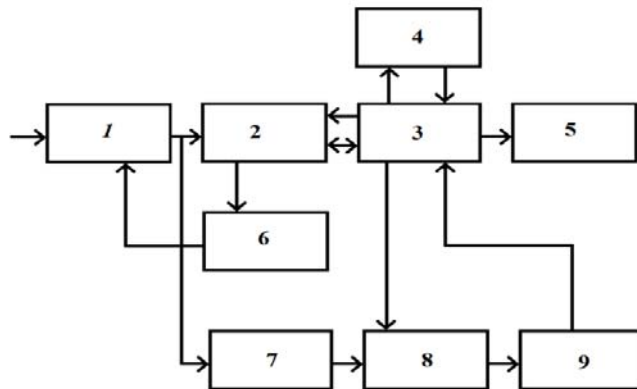


Рис. 3 Функціональна схема ОПД, в якій використаний параметричний спосіб стабілізації вихідних потужностей лазера

Повернемося до способів підтримки постійної потужності оптичного випромінювання на виході лазера. Параметричний спосіб заснований на тому, що враховується інформаційно-статистична структура переданого сигналу. Різницевий сигнал підтримується незмінним автоматичним регулюванням струму зміщення лазера. Функціональна схема ОПД, в якій використаний перший параметричний спосіб стабілізації вихідної потужності і лазера і другої з описаних вище методів модуляції його випромінювання, приведена на рис 1: 1-вентильна схема, 2- ФМІ струму, 3-формував струму накачки, 4-контроленр температури, 5- лазер, 6- контроль рівня вхідного сигналу, 7-формував оптичної напруги, 8- інтегратор, 9- регулятор струму зміщення. Така структура може бути реалізована на великих інтегральних схемах

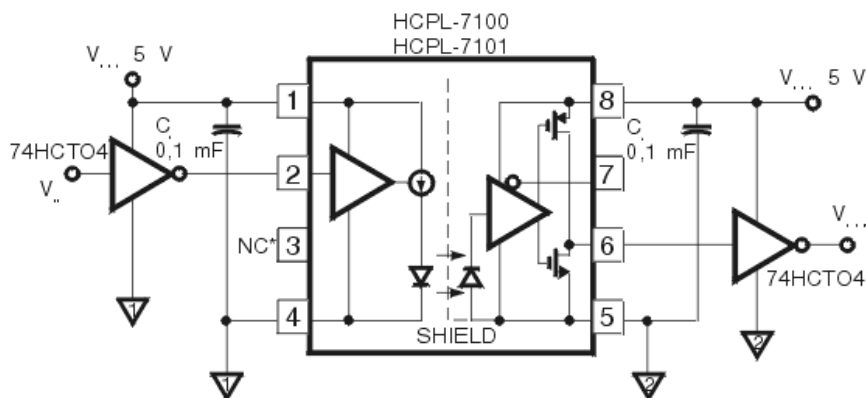


Рис. 4 Інтегральна схема оптичного передавача

Слід відзначити, що незалежні від структури систем стабілізації ефективність роботи такої системи залежить від вхідної величини стабілізатора, тобто від величини, яка найкраще відображає найбільш адекватно рівень потужності випромінювання. В одній з основних умов є необхідність підтримки зв'язку. Контроль потужності повинен здійснюватись без втрачання в процесі передачі і прийому інформації. Це вимагає непрямих способів вимірювання потужності випромінювання серед яких найбільш повно рівень потужності відображає енергію і відповідно середньоквадратичне значення.

Середньоквадратичне значення на інтервалі контролю

$$y(t) = \sqrt{\frac{1}{(t_1 - t_0)} \int_{t_0}^{t_1} x^2(t) dt} \quad (1)$$

де t_0, t_1 визначають початок і закінчення інтервалу вимірювання

Алгоритми вимірювання середньоквадратичного значення відносно складний [4] і вимагають використання спеціалізованих перетворювачів і проведення обчислювальних операцій. В той же час відомо, що найбільш ефективна оцінка середньоквадратичного значення є середньо випрямлене значення [5]

$$y(t) = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} |x(t)| dt \quad (2)$$

Це дає можливість використовувати фільтр, який синхронізується після приймального елемента від приймальної частини оптопари. Для того щоб зміст інформації, кількість нулів і одиниць не впливають на рівень сигналу керування, доцільно поєднати синхронізацію фрейма, наприклад в мережах SDH з передачею байтів А секційного заголовку.

Висновки

Приведені способи та методи стабілізації режимів передавача оптичних сигналів. Визначена причина актуальності задачам стабілізації пікової потужності та температури лазера. Для стабільності випромінюваної потужності, лазерні ОП найчастіше оснащуються контуром зворотного зв'язку, застосовується стабілізація робочої температури лазерного кристала, використання стабілізації струму заміщення. Зміна пікової потужності найбільшою мірою проявляється при передачі імпульсних послідовностей, які в загальному випадку мають випадковий характер і ведуть до спотворень форми імпульсу та зміни їх часових параметрів. Використання стабілізації струму заміщення реалізується відносно просто, але практично носить параметричний по відношенню до випромінювача характер. В таких схемах приходиться встановлювати рівень зміщення вище порогового, для подолання багатомодового випромінювання, що веде до появи фонового випромінювання і зменшення рівня точкового перепаду при передачах цифрових послідовностей. Спосіб НЧ під модуляції відеоімпульсів дозволяє автоматизувати контроль не тільки середньої, а і пікової потужності, а також температурного регулювання лазера в порівнянні з відомим способом модуляції

Література

1. Бутусов М.М. Волоконно - оптические системы передачи/ М.М. Бутусов, СМ. Верник, СЛ. Баякин и другие. -М: Радио и связь, 1992 -416с.
2. Хмельов К. Ф. Основы SDH: Монография / К.Ф. Хмельов. - К.: @Ц «Видавництво "Політехніка"», 2003.-584 с.
3. О. К. Складаров Волоконно - оптические сети и системы связи: Учебное пособие. 2е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 272 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная, 218-226 с.
4. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. т ін. Метрологія та вимірювальні техніки: Підручник/ Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; за ред. проф. Є.С. Поліщука. - Львів: Видавництво "Бески Бі", 2003. - 544 с.
5. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Корн Г., Корн Т. М.: Наука, 1974.— 832 с.

References

1. Butusov M.M. Volokonno - opticheskie sistemyi peredachi/ M.M. Butusov, SM. Vernik, SL, Bayakin i drugie. ~M: Radio i svyaz, 1992 -416s.
2. Hmelyov K. F. Osnovy SDH: Monografiya / K.F. Hmelyov. - K.: @Ts «Vidavnitstvo "Politehnika"», 2003.-584 s.
3. O. K. Sklyarov Volokonno - opticheskie seti i sistemyi svyazi: Uchebnoe posobie. 2e izd., ster. — SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2010. — 272 s.: il. — (Uchebniki dlya vuzov. Spetsialnaya, 218-226 s.
4. Polishuk Ye.S., Dorozhovets M.M., Yatsuk V.O. t in. Metrolohiia ta vymiriuvaln teh nika: Pidruchnyk/ Ye.S. Polishchuk, M.M. Dorozhovets, V.O. Yatsuk, V.M. Vanko, T.H. Boiko; za red. prof. Ye.S. Polishchuka. - Lviv: Vydav-nytvstvo "Besky Bi", 2003. - 544 s.
5. Spravochnik po matematike dlya nauchnyih robotnikov i inzhenerov. Korn G., Korn T. M.: Nauka, 1974.— 832 s.

Рецензія/Peer review : 17.5.2016 р.

Надрукована/Printed :28.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АКТИВНЫЙ МЕТОД БЕЗКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМИ ПРИБОРАМИ И КОРРЕКТИРОВКА ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

Рассматривается технология производства деталей штампов с применением лазерных измерительных приборов для активного контроля при обработке и ремонте деталей штампов, а также лазерных датчиков для корректировки износа инструмента. Для оперативной компенсации износа в процессе обработки впервые используется ПК с блоком адаптации, который корректирует износ и устанавливает оптимальные режимы резания. В статье показано, что совмещение операции механической обработки (фрезеровки, шлифовки) и активного контроля с использованием лазерных датчиков в интегрированной автоматизированной системе проектирования и изготовления деталей штампов, позволяет существенно сократить время и трудоемкость измерений, а отсюда повысить эффективность и качество выполняемых работ, обеспечив необходимую точность, взаимозаменяемость и надежность.

Ключевые слова: лазерные измерительные приборы, активный контроль, гибкий производственный модуль, износ режущего инструмента, фрезерование, круглое шлифование, блок адаптации, цифровой индикатор, интегрированная адаптивная сквозная система автоматизации проектных работ.

G. KLESCHEV, O. GRABOVSKIY, O. YANKOVSKIY
Odesa state academy of the technical adjusting and quality, Odesa

ACTIVE METHOD OF INCONTACT OF MEASURING LASER DEVICES AND ADJUSTMENT OF WEAR OF INSTRUMENT IN THE PROCESS OF TREATMENT OF DETAILS OF STAMPS

Technology of production of details of stamps is examined with the use of laser measuring devices for active control at treatment and component of stamps overhaul, and also laser sensors for adjustment of wear of instrument. For operative indemnification of wear in the process of treatment the personal COMPUTER is first used with the block of adaptation, which corrects a wear and sets the optimal modes of cutting. It is shown in the article, that combination of operation of tooling (milling, polishing) and active control with the use of laser sensors in the automated IPSE and making of details of stamps, time and labour intensiveness of measuring allow substantially to shorten, and from here to promote efficiency and quality of executable works, providing necessary exactness, interchangeability and reliability.

Keywords: laser measuring devices, active control, flexible productive module, wear of toolpiece, milling, round polishing, block of adaptation, digital indicator, integrated adaptive through system of automation of project works.

Technology of production of details of stamps is examined with the use of laser measuring devices for active control at treatment and component of stamps overhaul, and also laser sensors for adjustment of wear of instrument. For operative indemnification of wear in the process of treatment the personal COMPUTER is first used with the block of adaptation, which corrects a wear and sets the optimal modes of cutting. It is shown in the article, that combination of operation of tooling (milling, polishing) and active control with the use of laser sensors in the automated IPSE and making of details of stamps, time and labour intensiveness of measuring allow substantially to shorten, and from here to promote efficiency and quality of executable works, providing necessary exactness, interchangeability and reliability.

Keywords: laser measuring devices, active control, flexible productive module, wear of toolpiece, milling, round polishing, block of adaptation, digital indicator, integrated adaptive through system of automation of project works.

Вступление

Современное развитие отраслей промышленности требует повышения надежности функционирования механизмов и высокой точности измерений в процессе производства. Одной из трудоемких составляющих производственного процесса является подготовка производства, от которой во многом зависят: трудоемкость, сроки изготовления, стоимость и качество изделий. Сокращение времени подготовки производства за счет измерительных, контрольных и корректирующих операций с использованием лазерных приборов на основе их автоматизации в настоящее время являются актуальными проблемами.

Проблемы

Одна из основных проблем – неточность измерений и отсутствие учета погрешностей при изготовлении деталей штампов.

Цель работы

Сокращение времени измерительных и контрольных операций при их совмещении и автоматизации в процессе обработки деталей штампов на финишных операциях: фрезерной и круглой шлифовки.

Основные результаты исследований

В основу исследований и разработок положена научная концепция повышения эффективности, качества подготовки производства и изготовления деталей штампов на основе использования интегрированной адаптивной сквозной системы автоматизации проектных работ (ИАС САПР) с использованием ранее не применяемых штамп – полуфабрикатов и лазерных измерительно – контрольных и корректирующих операций [1,2]. Актуальными проблемами в промышленности и, в частности, в авиационной, строительной, станкостроительной, автомобильной, сельскохозяйственной и радиоэлектронной отраслях есть: внедрение современных математических методов и средств

вычислительной техники, создания интеллектуальных интегрированных адаптивных сквозных систем автоматизации проектных работ (ИАС САПР), автоматизированных систем конструкторско-технологической подготовки производства (АС ТПП), создания интегрированных гибких автоматизированных систем производства (ГАСП) станков, инструментов (штампов) и автоматических линий, а так же сокращение времени измерительных и контрольных операций за счет их совмещения и автоматизации. Наиболее точными средствами для измерения линейных размеров. являются бесконтактные триангуляционные лазерные датчики РФ603, предназначенные для бесконтактного измерения и контроля положения, размеров, профиля поверхности, деформаций, распознавания технологических объектов [4]. Это позволило значительно сократить трудозатраты и время производства деталей штампов, существенно снизить время измерений и контроля, повысить конкурентоспособность и надежность. По «новой технологии» [5] ремонт штампов осуществляется централизованно на том же оборудовании, теми же конструкторами и технологами, теми же рабочими высокой квалификации и на тех же ИАС САПР и АС ТПП. В этом случае заказчику нет необходимости создавать у себя ремонтный цех, содержать для ремонтных работ: конструкторов, технологов и рабочих высокой квалификации. Не требуется обеспечивать ремонтный цех оборудованием и различными материалами для ремонта, не тратить средства на: аренду помещений, оплату электроэнергии и т.д. Все это дает возможность высвободить десятки конструкторов, технологов и рабочих высокой квалификации, как у изготовителя так и у заказчика. Централизованное изготовление деталей штампов основного производства и централизованный ремонт так же повышают их точность.

В статье [4] показана обработка направляющей колонки на токарном станке с активным лазерным контролем и коррекцией износа инструмента. Направляющие колонки штампа предназначены для изготовления более точных и качественных деталей применяемых в приборостроительной и машиностроительной отраслях промышленности. Направляющие колонки значительно уменьшают и компенсируют погрешности направляющих прессов, которые используются для различных грубых работ. На рисунке 1 показана окончательная обработка фрезой контура сложной поверхности пуансон – матрицы, в частности R 80, R 40 и две прямые соединяющие эти радиусы. Активные измерения обрабатываемого контура и износ фрезы осуществляет лазерный триангуляционный датчик, закрепленным на шпиндельной головке станка. Эти показания передаются (как показано на чертеже - I Изменения) в портативный компьютер (ПК) для оперативной корректировки износа инструмента и в цифровой индикатор для визуального контроля. В процессе корректировки участвует блок адаптации, который, используя банк данных и знаний, принимает оптимальное решение и передает их обратно (II Коррекция) в систему управления 64S ГПМ (гибкого производственного модуля). Применение ПК в составе автоматизированной системы контроля позволяет оперативно изменять программы, как при переходе от одной операции к другой, так и в процессе измерений.

ПК использует блок адаптации, который состоит из двух частей: в первой осуществляется корректировка износа инструмента и, при необходимости, замена затупившегося или поломанного, во второй осуществляется корректировка режимов резания: увеличение- уменьшение подачи, увеличение- уменьшение числа оборотов шпинделя – главного привода. На рис.1 стрелкой вверх показан магазин с инструментом (в увеличенном виде) с рукой – роботом замены инструмента, настроенным согласно проводимым операциям. Стрелкой вниз показаны: соответственно в окнах а «активный» контроль в процессе обработки инструмента штампа: пуансон – матрицы и б- «пассивный» контроль (контактным щупом) базового отверстия обработанной детали. Вся информация о «активном» и «пассивном» контроле передается в ПК, который, используя блок адаптивной модели, принимает оптимальное решение. ГПМ предназначен для обработки сложных формообразующих поверхностей различных деталей, в том числе и инструмента штампов.

При замене (износе) режущего инструмента вступает в работу блок распознавания образов, который определяет параметры режущего инструмента: износ или поломку. Для окончательной обработки сложного наружного контура пуансон – матрица, она базируется на отверстиях $\varnothing 100H_7$ и $\varnothing 40H_7$ в приспособлении, установленном на поворотном столе, который вращается от привода гитары ГПМ. Это приспособление фиксируется в двух положениях для обработки радиусов R 80 и R40 на поворотном столе. Обработка осуществляется следующим образом. Центр радиуса R 80 совмещается с центром поворотного стола. В этой настройке обрабатывается радиус R 80 и прямая L= 100, соединяющая радиус R 80 и R 40 [3]. Для обработки радиуса R 40 центр $\varnothing 40H_7$ совмещается с центром поворотного стола. Обрабатывается R 40 и вторая прямая L= 100, соединяющая радиус R 80 и R 40. В обоих случаях контроль и корректировка производится лазерным датчиком. На Рис.2 (в диаграмме 1) представлена обработка радиуса R 80 и 3^x кратная корректировка в трех точках (60° , 120° , 160°) износа фрезы. По оси x отложены градусы, а по оси y допуски на обработку радиуса R 80.

Разброс результатов измерений (отклонений) от истинных (номинальных) размеров радиусов R80_{мм}, при 3^x кратной корректировке представлен в диаграмме 1 (рис.2).

На рисунке 3 осуществляется финишная обработка двух диаметров направляющей колонки штампа на круглошлифовальном станке. В окнах: а) представлен шлифуемый основной $\varnothing 40h_{14}$ и б) представлен $\varnothing 32h_{14}$ под запрессовку в плиту штампа. Лазерный датчик активно измеряет, шлифуемые диаметры и передает замеры в цифровой индикатор для визуального контроля. Передает результаты замеров в ПК, который имеет блок адаптации [3] и, при необходимости, производит корректировку износа шлифовального круга: автоматическую (трех кратную) подачу шлифовального круга на величину износа, дает команду на

алмазную правку или замену шлифовального круга. Направляющая колонка после термообработки устанавливается в центра (окно а) шлифовального станка. Для вращательного движения направляющей колонки на $\varnothing 32h_{14}$ крепится кольцо и зажимается винтом, через который передается вращение от «поводка», установленного на вращающемся диске станка. Замеры производит лазерный датчик, установленный на корпусе шлифовального круга и перемещающийся совместно с шлифовальным кругом. По окончании шлифования $\varnothing 40h_{14}$, направляющая колонка переворачивается на 180° (окноб) и шлифуется $\varnothing 32h_{14}$ (предварительно крепится кольцо на $\varnothing 40h_{14}$). Для корректировки износа шлифовального круга используется блок адаптации, который состоит из блока I -фиксирующего изменения: 1. Отклонения по геометрии, 2. Отклонения по размеру, 3. Износ шлифовального круга и блока II – коррекция (принятие решения): 2.1. Алмазная правка, 2.2. Правка шарошкой, 2.3. Замена шлифовального круга.

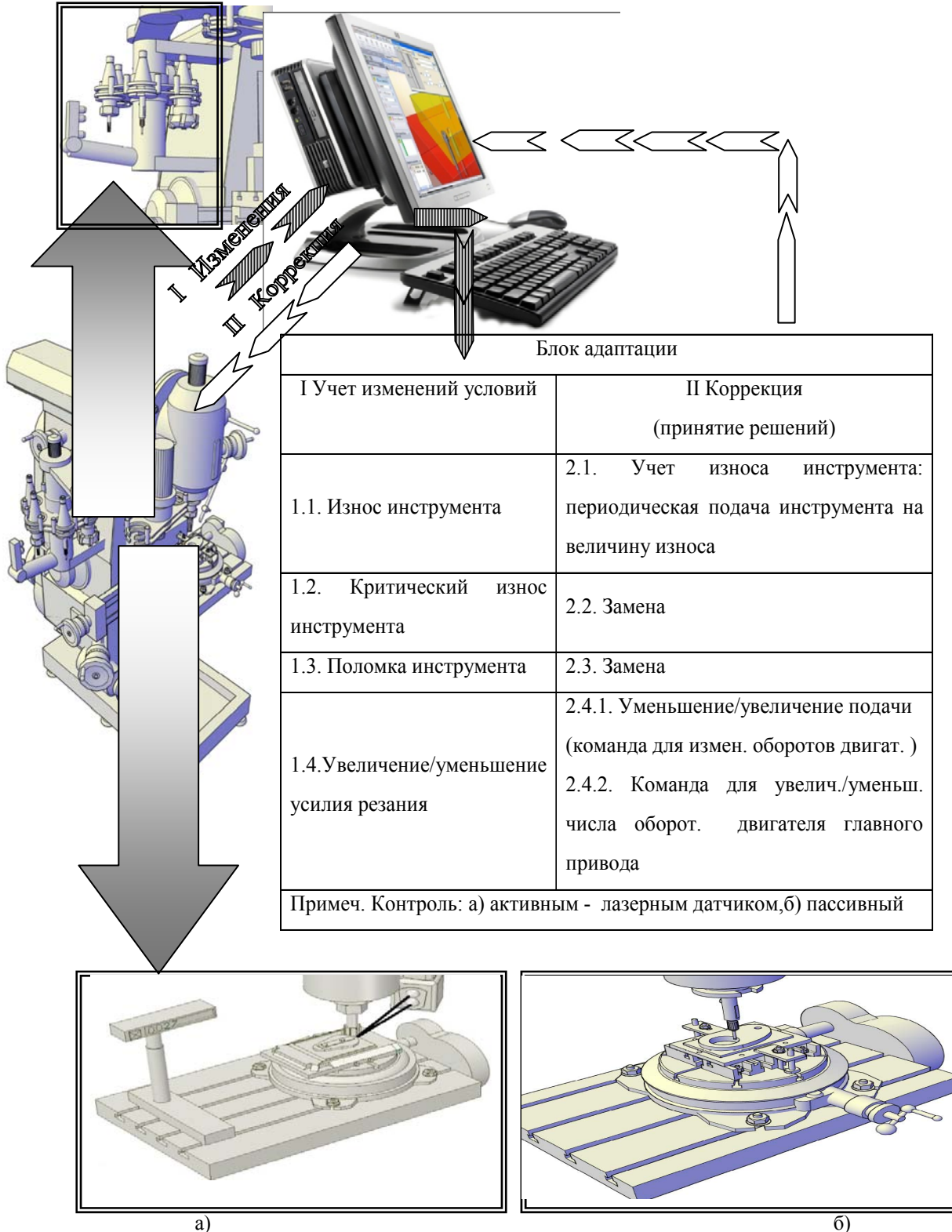


Рис. 1. Наладка на обработку пуансон – матрицы на ГПМ с активным лазерным контролем в окне а) и пассивным контролем в окне б)

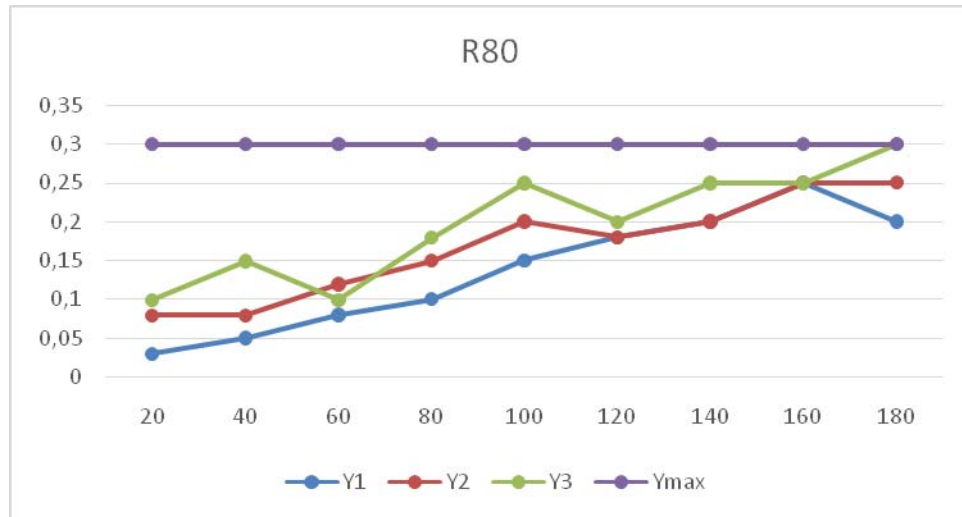


Рис. 2. Диаграмма 1- обработки радиуса R 80 и 3^х кратная корректировка в трех точках (60°, 120°, 160°) износа фрезы

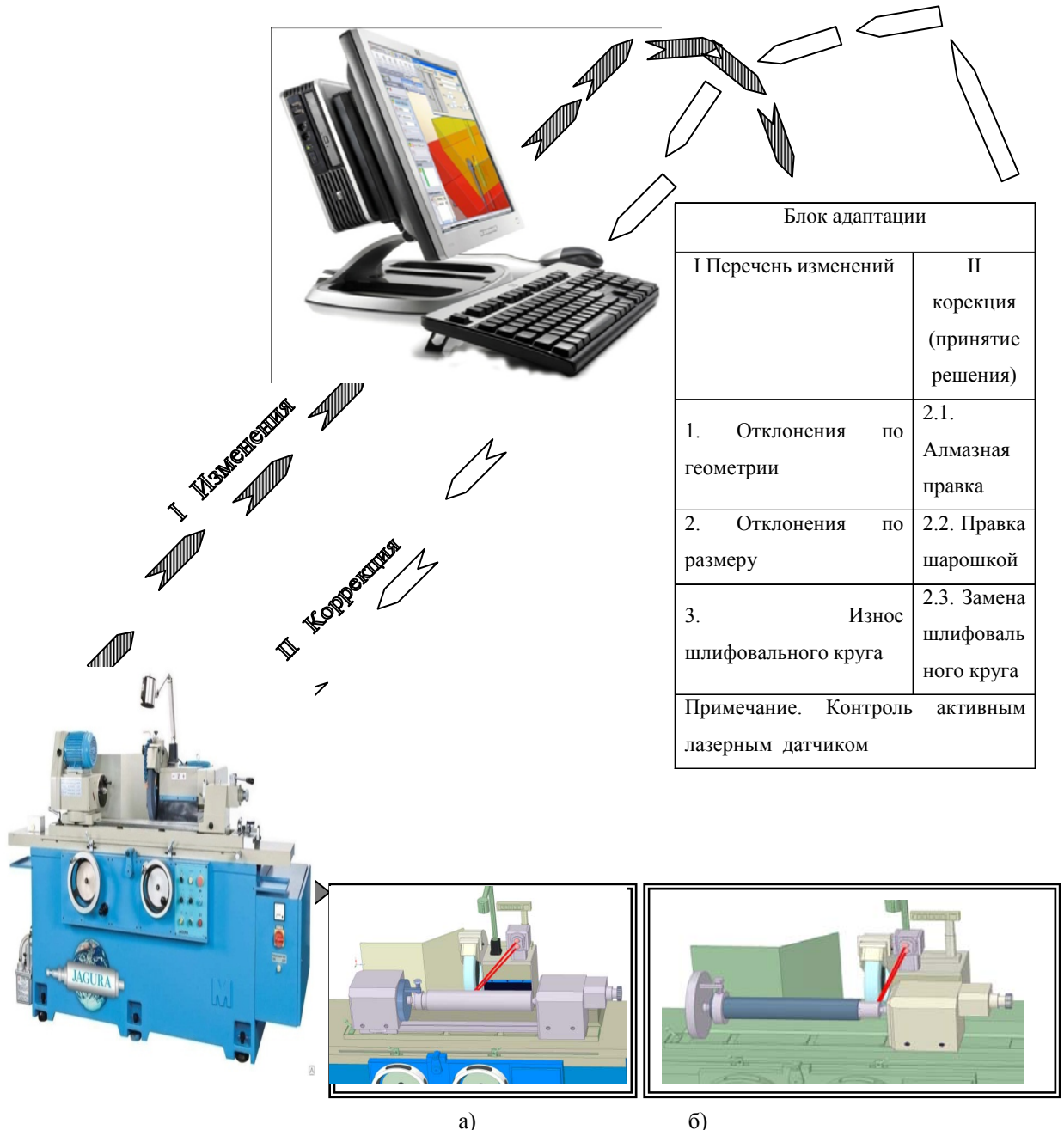


Рис. 3. Модель системы технологической обработки направляющей колонки штампа на круглошлифовальном станке с использованием активного лазерного контроля и ПК

Выводы

В статье показано, что совмещение операции механической обработки (фрезеровки и шлифовки) и активного контроля с использованием лазерных датчиков в интегрированной автоматизированной системе проектирования и изготовления деталей штампов позволяет существенно сократить время и трудоемкость измерений, а отсюда повысить эффективность и качество выполняемых работ, обеспечив необходимую точность, взаимозаменяемость и надежность.

Литература

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 активн процесееого 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. Клещёв Г. М. Методология активного метода измерения лазерными приборами и корректировка износа режущего инструмента в процессе обработки деталей штампов по новой технологии/Г.М.Клещев, А.А. Гонтарь и др.//Міжнародний науково- технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Хмельницький. Вип.№1.2016. С.54-58
5. 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. Kolomiez I dr.- K.:2010.
2. Kleshev G. Adaptive naskrizna komp'uterna technologija upravleniya pidgotovkoy vurobnuztva ta vurotovlenna detales stampiv na base stamp- napivfabrikativ/G. Kleshev. - Odesa.// Pid zagalnoy redakziej doktora tehniznuh nauk, profesora L. Kolomieza .2010.-283с.
3. Kleshev G. Lazernue sredstba izmerenia aknivnogo kontrola instrumenta stampov xolodnogo listovogo stampovki/ G. Kleshev, A. Bilichenko i dr.//Vymirjuvalna ta obchyslyvalna tehnika v tehnologichnyx procesax. Xmelnzkiy. Vup№1.2915.S.204-208.
4. Kleshev G.i dr. Metodologij aktivnogo metoda izmerenij lazernumj pruboramj ta korrektirovka iznoca pezuwego instrumenta b prozese o,rabotki denalej schrampov po novoj tehnologii/ G. Kleshev, A. Gontar dr.//Vymirjuvalna ta obchyslyvalna tehnika v tehnologichnyx procesax. Xmelnzkiy. Vup№1.2016.S.54-58.
5. Schepetov A. Teorija, raschetju i proektirovanie izmeritelnyx ustrojctv.-M.: MGUPI,2004.

Рецензія/Peer review : 24.6.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**ВПЛИВ КУТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ
ТЕПЛОВІЗІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ**

Анотація – В статті досліджується проблема аналізу теплових процесів за допомогою безконтактного методу вимірювання при використанні приладів інфрачервоної техніки. Основним питанням, яке виникає при розрахунках температур за результатами тепловізійних вимірювань є невизначеність в завданні випромінювальної здатності поверхні досліджуваних об'єктів, яка характеризується коефіцієнтом випромінювання поверхні, значення якого для поверхні кожного конкретного об'єкта є індивідуальним, і залежить від матеріалу і стану обробки поверхні та кута спостереження. Враховуючи, що об'єкти контролю звичайно мають складну форму, дослідження впливу кута спостереження на точність безконтактного методу вимірювання температури є доволі актуальним.

Ключові слова: тепловізійний метод вимірювання; коефіцієнт випромінювання поверхні; кут спостереження невизначеність вимірювання.

O.S. LEVYNSKY, M.O. HOLOFYEYeva, YU.I. BABYCH
Odessa National Polytechnic University

**THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF THE OBSERVATION
ON ACCURACY OF THERMAL MEASUREMENT METHOD**

Abstract – In the article the problem of analyzing the thermal processes using non-contact method of measuring using infrared technology are investigated.

The main issue that arises in the calculation of the temperature on the results of thermal imaging measurement is uncertainty in the setting of the emissivity of the surface of the object, which is characterized surface emission coefficient, whose value for the surface of each individual object is individual and depends on the material and surface treatment condition and the angle of observation. By changing the angle of observation in a wide range, the factor of the emission metals and dielectrics changing several times which significantly affects the accuracy of thermal measurement method. The dependences for the calculation of the impact viewing angle on the emissivity materials are obtained

Given that the control objects usually have a complex shape, the studying of the impact of viewing angle for accuracy non-contact temperature measurement method is quite important.

Keywords: Thermal measurement method; factor of the emission of the surface; angle of the observation, uncertainty of the measurement.

Вступ

Температура, як кількісний показник внутрішньої енергії тіл, є універсальною характеристикою об'єктів та процесів фізичного світу, в якому безперервно відбувається генерація, перетворення, передача, накопичення та використання енергії в різних її формах. Тому для діагностики стану об'єктів та протікання фізичних процесів в природі, енергетиці, будівництві, промисловості перспективним є використання зв'язку цієї фізичної величини з контрольованими параметрами об'єктів дослідження [1]. Одним з найбільш зручних методів вимірювання температури є безконтактний метод з використанням приладів інфрачервоної техніки, наприклад тепловізорів, що дозволяють не тільки вимірювати значення температури, але і встановити її розподіл поверхнею об'єкта.

Об'єкт дослідження – процеси діагностики стану об'єктів та протікання фізичних процесів в природі, енергетиці, будівництві, промисловості

Предмет дослідження – безконтактний метод з використанням приладів інфрачервоної техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженню проблеми аналізу теплових процесів присвячена велика кількість робіт. Серед авторів, які зробили істотний внесок у вирішення задач термографії, можна зазначити О. Н. Будадіна, Б. Петерсона, А. І. Потапова, В. І. Калганова, В. В. Ключова, В. Н. Феліно, Дж. Харта, В. П. Вавилова, А. Г. Климова, Т. С. Троїцького-Маркова, М. І. Щербакова, С. А. Бажанова, А. В. Крюкова, С. Кимоті, Е. Гринзато, Ж. Госсорга та багато інших. У роботах цих авторів відзначають такі переваги тепловізійного методу вимірювання, як висока продуктивність та інформативність, безконтактність та дистанційність вимірювань (в межах прямої видимості), мобільність апаратури, швидкість проведення обстеження, незалежність від розмірів об'єкта контролю, створення архівів термограм, екологічна безпечність, відсутність необхідності виведення об'єкта контролю з експлуатації, що забезпечує значне зниження витрат [3–6].

Результати досліджень

При проведенні досліджень за допомогою приладів інфрачервоної техніки суттєве значення має виявлення та усунення систематичних та випадкових помилок, що здійснюють вплив на результат вимірювання та характеризують сумнів щодо достовірності результату вимірювання [7]. Істотними є:

- інструментальна похибка, яка визначається властивостями оптичної системи, інерційністю приймача випромінювання, а також роздільною здатністю тепловізійної системи при наявності різких температурних градієнтів на поверхні об'єкта.

- методична похибка, що виникає безпосередньо при самих дослідженнях та пов'язана з обмеженою точністю застосовуваних у розрахунках фізичних констант (випромінювальна здатність, метеорологічні умови, атмосферні опади і т.д.).

Основним питанням, яке виникає при розрахунках температур за результатами тепловізійних вимірювань є невизначеність в завданні випромінювальної здатності поверхні досліджуваних об'єктів [2]. Методологія застосування невизначеності вимірювань для оцінки якості вимірювань викладена в [8], де формально встановлено загальні правила для оцінювання і вираження невизначеності для широкого кола вимірювань. Такий підхід включає оцінку невизначеності:

- за типом А - з використанням методів математичної статистики для обробки отриманих результатів вимірювань;
- за типом В - іншими методами, в тому числі на основі використання інформації з нормативних документів. До цього типу і відноситься невизначеність в завданні випромінювальної здатності поверхні досліджуваних об'єктів.

Випромінювальна здатність характеризується коефіцієнтом випромінювання поверхні, значення якого для поверхні кожного конкретного об'єкта є індивідуальним, і залежить від матеріалу і стану обробки поверхні. У тому випадку, коли коефіцієнт випромінювання об'єкта контролю відомий, його фактична температура може бути розрахована за формулою [7]:

$$T_{\text{факт}} = \frac{T_{\text{рад}}}{\sqrt[4]{\varepsilon}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{факт}}$ – фактична температура об'єкта контролю;
 $T_{\text{рад}}$ – радіаційна температура, що сприймається тепловим зором;
 ε – коефіцієнт випромінювальної спроможності матеріалу об'єкта контролю.
Стандартну невизначеність вимірювання за типом В розраховуємо за формулою:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u_B^2(x_i)}, \quad (2)$$

де $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)$ – частинні похідні функції f за аргументами x_i .

Тоді, враховуючи (1), складову невизначеності вимірювання температури тепловізором, що викликана помилкою в завданні коефіцієнта випромінювальної здатності можна розрахувати за формулою [2]:

$$u_{BT} = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot u_{BT_{\text{рад}}}^2 + \frac{T_{\text{рад}}^2}{16\sqrt{\varepsilon}^5} \cdot u_{B\varepsilon}^2}, \quad (3)$$

де $u_{BT_{\text{рад}}}$ – невизначеність вимірювання тепловізором;
 $u_{B\varepsilon}$ – невизначеність встановлення коефіцієнту випромінювальної здатності.

Результати досліджень показали, що складова невизначеності вимірювань, яка викликана помилками в завданні коефіцієнту випромінювальної здатності, може сягати 30 %, що, звичайно, є неприпустимим. Тому врахування відхилення дійсного значення коефіцієнту випромінювальної здатності поверхні об'єкта дослідження від номінального дають змогу підвищити точність вимірювання температури за допомогою приладів інфрачервоної техніки.

Доволі частою причиною відхилення фактичного значення коефіцієнта випромінювальної здатності від заданого є помилково обраний кут спостереження поверхні об'єкта контролю, що суттєво впливає на досліджуваний коефіцієнт. Така властивість є наслідком відбиття хвиль на границі розділу двох різноманітних середовищ та призводить до необхідності проведення термографії поверхні об'єкта контролю з різних ракурсів та збільшенню часу необхідного на проведення досліджень. Враховуючи, що об'єкти контролю звичайно мають складну форму, дослідження впливу кута спостереження на точність безконтактного метода вимірювання температури є доволі актуальним.

Для металів коефіцієнт випромінювальної здатності є незмінним в інтервалі кутів спостереження 0...40°, для діелектриків – в інтервалі кутів 0...60°. За межами цих діапазонів коефіцієнт випромінювальної спроможності суттєво змінюється при нахилі спостереження по дотичній [10]. Внаслідок цього, ефективний коефіцієнт випромінювання неплоских поверхонь є різним в різноманітних точках поверхні.

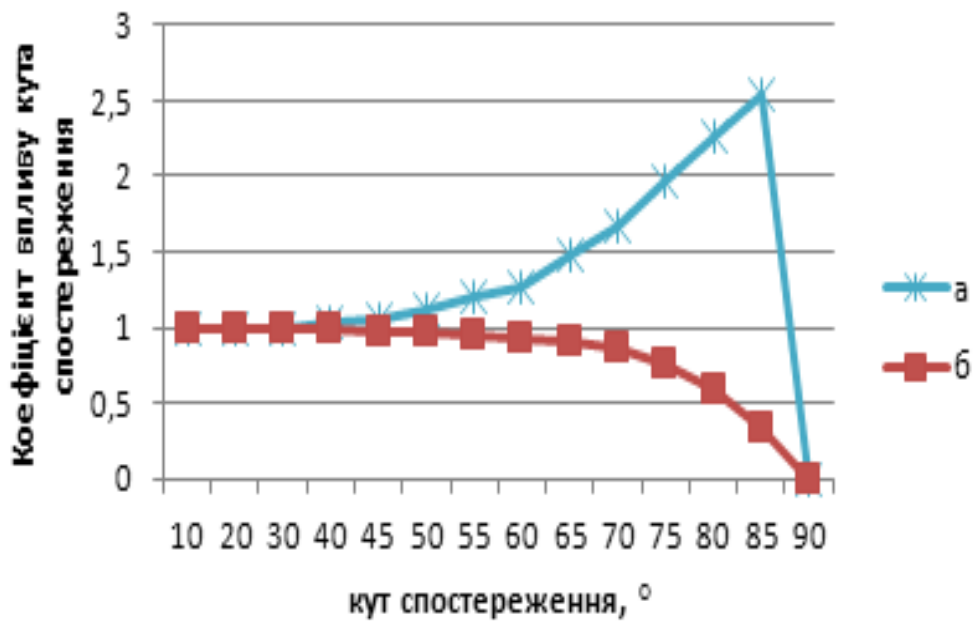
Фактичне значення коефіцієнту випромінювальної здатності може бути розраховане за формулою:

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \frac{\varepsilon_{\text{вим}}}{K_{\text{кут}}}, \quad (4)$$

де $\varepsilon_{\text{факт}}$ – фактичне значення коефіцієнту випромінювальної здатності;
 $\varepsilon_{\text{вим}}$ – виміряне значення коефіцієнту випромінювальної здатності;

$K_{\text{кут}}$ – коефіцієнт впливу кута спостереження.

На рис.1 показано залежність значення коефіцієнту $K_{\text{кут}}$ від кута спостереження.



а – метали; б – діелектрики

Рис. 1. Коефіцієнт $K_{\text{кут}}$, як функція кута спостереження

Аналізуючи результати залежності, представлені на рис. 1, видно, що при зміні кута спостереження в широкому діапазоні, коефіцієнт випромінювальної спроможності, як металів, так і діелектриків, змінюється в декілька разів, що суттєво впливає на точність тепловізійного методу вимірювання.

В результаті аналізу були отримані залежності коефіцієнта $K_{\text{кут}}$ від кута спостереження. Для металів така залежність найбільш точно описується формулою:

$$K_{\text{кут}} = \begin{cases} 0,0164\phi^2 - 0,1067\phi + 1,1464, & 0 \leq \phi \leq 85 \\ -2,53\phi + 5,06, & 85 \leq \phi \leq 90 \end{cases} \quad (5)$$

де ϕ – кут спостереження.

Для діелектриків залежність $K_{\text{кут}}$ від кута спостереження найбільш точно описується формулою:

$$K_{\text{кут}} = -0,0014 \cdot \phi^3 + 0,022 \cdot \phi^2 - 0,1 \cdot \phi + 1,1. \quad (6)$$

Висновки

Показано, що складова невизначеності вимірювань, яка викликана помилками в завданні коефіцієнту випромінювальної здатності, може сягати 30 %, що, звичайно, є неприпустимим. Для дослідження характеристик точності методу вимірювання використано міжнародний підхід, що включає єдині в міжнародній практиці правила вираження невизначеностей та їх підсумовування. При зміні кута спостереження в широкому діапазоні, коефіцієнт випромінювальної спроможності, як металів, так і діелектриків, змінюється в декілька разів, що суттєво впливає на точність тепловізійного методу вимірювання. Отримані залежності коефіцієнта $K_{\text{кут}}$ від кута спостереження для металів та діелектриків. Врахування залежності коефіцієнту випромінювальної здатності від кута спостереження при вимірюваннях температури за допомогою приладів інфрачервоної техніки надасть можливість не тільки підвищити точність, але й значно скоротити час проведення вимірювань за рахунок зменшення кількості необхідних ракурсів зйомки об'єкта контролю.

Література

1. Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М. : ИД Спектр, 2009 – 544 с.
2. Оборський Г.О. Дослідження впливу випромінювальної здатності матеріалів на точність тепловізійного методу контролю / Г.О. Оборський, О.С. Левинський, М.О. Голофеева // Технологический аудит и резервы производства - №2/3(28), 2016. – С. 4-7.
3. D.S. Prakash Rao Infrared thermography and its applications in civil engineering/ D.S. Prakash Rao // The Indian ConCreTe Journal. –May 2008–P.41–50
4. College francais de metrologie // Metrology in Industry. – Packo, Dominique, French college of

Metrology, 2006. – 70 p.

5. S. Kimothi The Uncertainty of Measurements: Physical and Chemical Metrology: Impact and Analysis. – 2002 – 416 p.
6. K. Valancius Transient heat conduction process in multilayer wall under the influence of solar radiation // Improving human potential program / Proceedings, 2002, Almeria, Spain: PSA. – p. 179 – 185
7. Енюшин В.Н. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании / В.Н. Енюшин, Д.В. Крайнов // Известия КТАСУ – №1(23), 2013. – С. 99-103.
8. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”. – Минск: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с.
9. Golofeyeva M.O. The uncertainties calculation of acoustic method for measurement of dissipative properties of heterogeneous non-metallic materials / M.O. Golofeyeva, V.M. Tonkonogy, Yu.M. Golofeyev // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – №3(47). – 2015 – P. 104-110.
10. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение / Ж. Госсорг. – М.: Мир, 1988 – 416 с.

References

1. Инфракрасная термография I teplovoy control' / V.P.Vavilov . – М.: ID Spektr, 2009 – 544 s.
2. Doslidzhennya vplyvu vyprominyval'noi zdatnosti materialiv na tochnist' teplovizyynogo metodu kontroliu / G.O.Obors'ky, O.S. Levynsky, M.O. Holofeyeva // Tehnologicheskyy audit I rezervy proizvodstva - №2/3(28), 2016. – S. 4-7.
3. D.S. Prakash Rao Infrared thermography and its applications in civil engineering/ D.S. Prakash Rao // The Indian ConCreTe Journal. –May 2008–P.41–50
4. College francais de metrologie // Metrology in Industry. – Pacho, Dominique, French college of Metrology, 2006. – 70 p.
5. S. Kimothi The Uncertainty of Measurements: Physical and Chemical Metrology: Impact and Analysis. – 2002 – 416 p.
6. K. Valancius Transient heat conduction process in multilayer wall under the influence of solar radiation // Improving human potential program / Proceedings, 2002, Almeria, Spain: PSA. – p. 179 – 185
7. Eniushyn V.N. O vliyaniy izluchatel'noy sposobnosti poverhnosti issleduemogo ob'ekta na tochnost' izmereniya temperature pri teplovizionnom issledovanii / V.N. Eniushyn, D.V. Kraynov // Izvestiya KTASU – №1(23), 2013. – С. 99-103.
8. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”. – Минск: ИПК Издатel'atvo standartov, 2002. – 20 с.
9. Golofeyeva M.O. The uncertainties calculation of acoustic method for measurement of dissipative properties of heterogeneous non-metallic materials / M.O. Golofeyeva, V.M. Tonkonogy, Yu.M. Golofeyev // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – №3(47). – 2015 – P. 104-110.
10. Gossorg Zh. Инфракрасная термография. Основы. Техника. Применение / Zh. Gossorg. – М.: Mir, 1998 – 416 s.

Рецензія/Peer review : 21.5.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ПОИСК ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕРЫВИСТЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

В статье выявлена возможность увеличения производительности формирования впадин прерывистых абразивных кругов на керамической связке при их прорезании на заточном станке с применением делительных механизмов с одновременным снижением потерь абразивного материала, удаляемого при этом из сплошного круга. Теоретически обоснована возможность формирования впадин на прерывистом абразивном круге с использованием дробеструйной установки.

Ключевые слова: режущие выступы, самозатачивание, керамическая связка, параметрический резонанс, теплонапряженность процесса шлифования

A.A. JAKIMOV, L.V. BOVNEGRA, Y.I. BABYCH
Odessa national polytechnic university

SEARCHING FOR IMPROVEMENT PRODUCTION OF MANUFACTURING INTERMITTENT ABRASIVE WHEELS VITRIFIED

In this article has been identified the possibility of increasing the performance of forming depressions intermittent grinding wheels vitrified when cutting on grinding machines with separating mechanisms while reducing the loss of abrasive material removed at the same time from a continuous circle. Theoretically proved the possibility of forming depressions on intermittent abrasive wheels with grit installation.

Keywords: cutting projections, self-sharpening, ceramic bunch of parametric resonance, calorific of grinding process.

Постановка проблемы

В условиях широкого применения новых методов формообразования, позволяющих приблизить размеры заготовок к размерам готовых изделий, абразивная обработка становится одним из наиболее производительных методов обработки, успешно заменяя операции точения и фрезерования. Но абразивная обработка сопровождается теплосиловой напряженностью, приводящей к появлению в поверхностном слое шлифованных деталей прижогов и растягивающих напряжений. Применение абразивных кругов с прерывистой рабочей поверхностью снижает вероятность появления на обрабатываемых поверхностях шлифовочных дефектов [1, 2, 3, 4].

Использование прерывистых кругов на керамической связке сдерживается отсутствием эффективных технологий их изготовления. Технология изготовления прерывистых кругов сводится к прорезке пазов на заточных станках, оснащенных делительными устройствами. Недостатками подобной технологии являются низкая производительность и выделение большого количества абразивной пыли, приводящее к быстрому износу направляющих в заточном станке и способствующее возникновению профессионального заболевания заточников – силикозу. Для производства шлифматериалов используется кремний, содержащий не менее 96 % SiO₂. Частицы абразивной пыли размером 5-10 мкм очень долго держатся в воздухе. Длительное вдыхание пыли, содержащей свободный диоксид кремния SiO₂, приводит к тяжёлому неизлечимому заболеванию легких – силикозу [5, 6, 7].

Более прогрессивна технология изготовления прерывистых кругов с помощью дробеструйной установки. Технология предусматривает обдувку дробью (диаметром 0,5-0,8 мм) сплошного шлифовального круга, на котором закреплен шаблон. Струя дроби выбивает на сплошном круге впадины [4].

Недостатком этого метода является невозможность формирования впадин малой ширины. Существенным недостатком, сдерживающим применение прерывистых шлифовальных кругов, является возможность появления в упругой системе станка колебаний, которые могут оказывать негативное воздействие на качество обрабатываемой поверхности [8,9]. Установлено, что вероятность возникновения ударных и параметрических резонансов уменьшается с увеличением числа прорезей на рабочей поверхности абразивного круга [10]. Но с увеличением числа прорезей (при постоянной величине отношения ширины впадины к длине выступа) уменьшаются их размеры, и, как следствие, уменьшается возможность формирования впадин с применением дробеструйной установки.

Цель работы

Целью настоящей работы является изыскание возможности увеличения производительности изготовления прерывистых абразивных кругов на керамической связке.

Основная часть работы

В таблице приведены совокупности размеров выступов (l_1) и впадин (l_2) прерывистых кругов (диаметр круга $D = 250$ мм; диаметр посадочного отверстия $d = 75$ мм; высота круга $h = 40$ мм), имеющих на рабочих поверхностях разное количество прорезей ($n = 20; 30; 40; 50; 60; 70$) и разные величины отношений

ширины прорези к длине выступа $\left(N = \frac{l_2}{l_1} = 0,14; 0,24; 0,34; 0,47; 0,62; 0,80 \right)$. В верхней строке таблицы

приведены величины отношений массы прерывистого круга m_{np} к массе сплошного круга m_{cn} .

Таблица

Геометрические характеристики рабочих поверхностей прерывистых кругов плоского профиля на керамической связке (масса $m_{cn}=4\text{кг}$, размеры $D \times d \times h = 250 \times 75 \times 40$)

Количество режущих выступов n	Величины отношений массы прерывистого круга к массе сплошного круга, m_{np}/m_{cn}					
	0,977	0,966	0,955	0,944	0,933	0,922
	Отношение длины впадины к длине выступа, N					
	0.14	0.24	0.34	0.47	0.62	0.80
	Глубина впадины 10 мм					
Длины режущих выступов (l_1) и впадин (l_2), мм						
20	$l_1 = 34,25$	$l_1 = 31,65$	$l_1 = 29,29$	$l_1 = 26,70$	$l_1 = 24,23$	$l_1 = 21,80$
	$l_2 = 5,00$	$l_2 = 7,60$	$l_2 = 9,96$	$l_2 = 12,55$	$l_2 = 15,02$	$l_2 = 17,45$
30	$l_1 = 22,95$	$l_1 = 21,10$	$l_1 = 19,53$	$l_1 = 17,80$	$l_1 = 16,15$	$l_1 = 14,54$
	$l_2 = 3,21$	$l_2 = 5,00$	$l_2 = 6,34$	$l_2 = 8,37$	$l_2 = 10,01$	$l_2 = 11,63$
40	$l_1 = 17,21$	$l_1 = 15,83$	$l_1 = 14,62$	$l_1 = 13,35$	$l_1 = 12,11$	$l_1 = 10,90$
	$l_2 = 2,41$	$l_2 = 3,80$	$l_2 = 5,00$	$l_2 = 6,27$	$l_2 = 7,51$	$l_2 = 8,72$
50	$l_1 = 13,77$	$l_1 = 12,66$	$l_1 = 11,72$	$l_1 = 10,70$	$l_1 = 9,69$	$l_1 = 8,72$
	$l_2 = 1,93$	$l_2 = 3,04$	$l_2 = 3,98$	$l_2 = 5,00$	$l_2 = 6,01$	$l_2 = 6,98$
60	$l_1 = 11,48$	$l_1 = 10,55$	$l_1 = 9,76$	$l_1 = 8,90$	$l_1 = 8,08$	$l_1 = 7,27$
	$l_2 = 1,61$	$l_2 = 2,53$	$l_2 = 3,32$	$l_2 = 4,18$	$l_2 = 5,00$	$l_2 = 5,81$
70	$l_1 = 9,84$	$l_1 = 9,04$	$l_1 = 8,37$	$l_1 = 7,63$	$l_1 = 6,92$	$l_1 = 6,21$
	$l_2 = 1,38$	$l_2 = 2,17$	$l_2 = 2,84$	$l_2 = 3,58$	$l_2 = 4,29$	$l_2 = 5,00$

Из таблицы видно, что масса прерывистого круга m_{np} не зависит от количества прорезей (n), а зависит от величины отношения ширины впадины к длине выступа (N).

Параметрическая неустойчивость упругой системы шлифовального станка определяется условием [10]:

$$|L| > \frac{1+M}{2} \quad (1)$$

где

$$L = \frac{e^{-h(\tau_1+\tau_2)}}{h(k_2 + h \sin 2k_2\tau_1)} \left[k_1^2 \sin k_1\tau_1 \sin k_2\tau_2 - 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \cos k_2\tau_1 \cdot \cos k_1\tau_1 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) - k_2^2 \sin k_1\tau_1 \sin(2 \cdot k_2\tau_1 + k_2\tau_2) \right]; \quad (2)$$

$$M = \frac{k_1 k_2 e^{-2h(\tau_1+\tau_2)} \cos(2 \cdot k_2 \cdot (\tau_1 + \tau_2))}{h(k_2 + h \sin 2k_2\tau_1)}, \quad (3)$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{C_o}{m} + \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_n}{t_\phi} - 1\right)}{2 \cdot m}} - h^2, \quad k_2 = \sqrt{\frac{C_o}{m} - \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_n}{t_\phi} - 1\right)}{2 \cdot m}} - h^2;$$

τ_1, τ_2 – времена прохождения над обрабатываемой поверхностью выступа и впадины прерывистого круга соответственно, с; t_n – глубина резания, установленная по лимбу, м; t_ϕ – фактическая глубина резания, м; C_o – приведенная жесткость упругой системы станка, Н/м; h – величина, характеризующая угасание колебаний во времени, 1/с.

Для выявления влияния массы m_{np} прерывистого круга на параметрическую устойчивость упругой системы станка были произведены соответствующие расчеты по формулам (1), (2), (3). Результаты расчетов приведены на рис. 1.

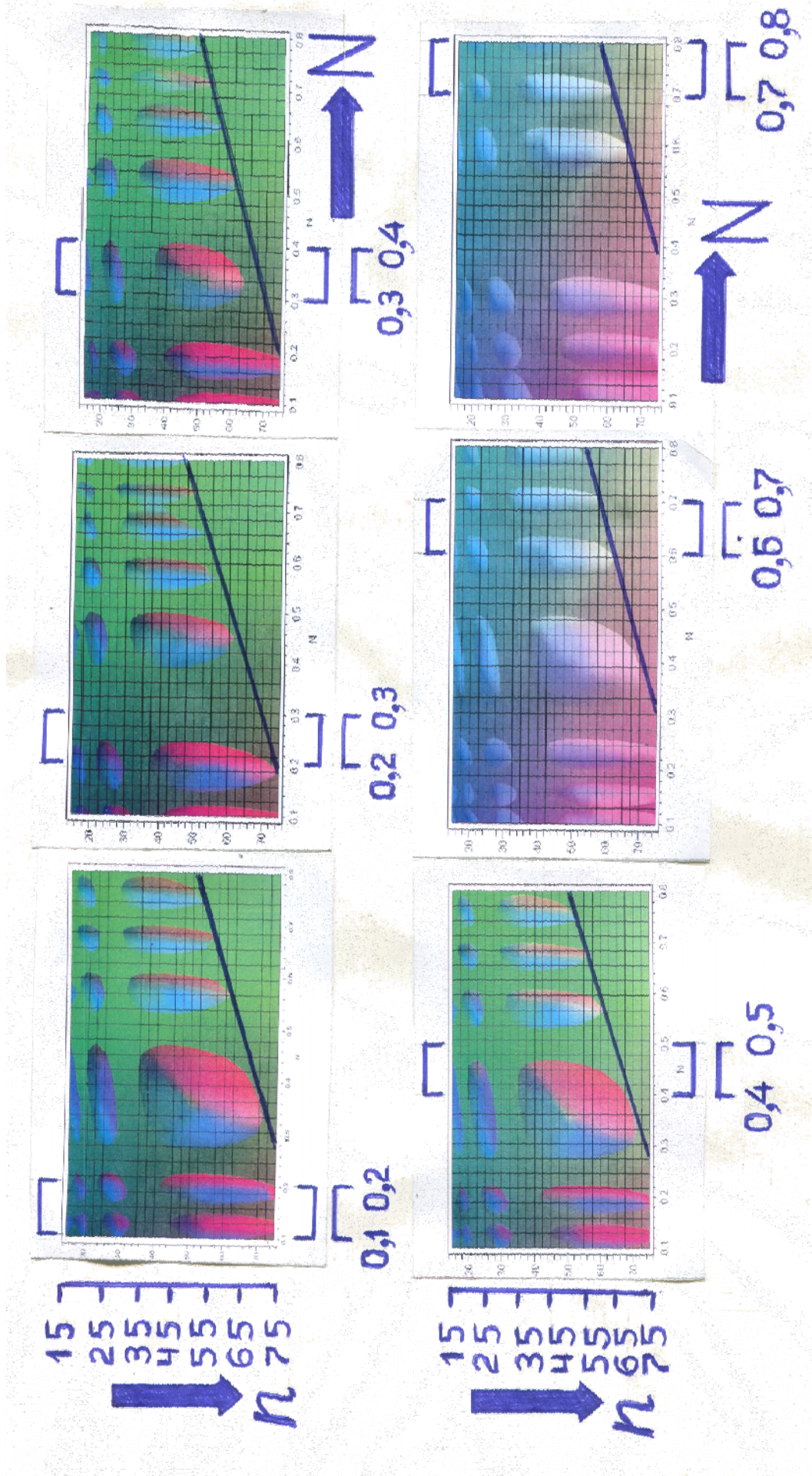


Рис.1. Изменение местоположений и размеров областей параметрической неустойчивости упругой системы станка при уменьшении массы прерывистого шлифовального круга $m_{пр}$ по причине увеличения суммарного объема абразива, удаленного при формировании впадин.

Верхний ряд слева направо: $\frac{m_{пр}}{m_{ст}} = 0,977; 0,966; 0,955$. Верхний ряд справа направо: $\frac{m_{пр}}{m_{ст}} = 0,944; 0,933; 0,922$

Расчеты проводились для исходных данных, помещенных в таблице. Области параметрической неустойчивости на рис. 1 выглядят в виде овальных пятен, построенных в плоской системе координат, в которой по оси абсцисс отложены значения отношений длин прорезей к длинам выступов (N), а по оси ординат – количество прорезей (n) на рабочей поверхности прерывистого шлифовального круга.

Таблица состоит из шести столбцов, каждый из которых содержит числовые значения длин выступов и впадин при изменяющемся количестве прорезей и неизменных значениях N и массы прерывистого круга m_{np} .

На рис. 1 прямоугольными скобками выделены участки графиков, соответствующие столбцам таблицы. Наклонная прямая, касательная к границам овально-подобных областей параметрической неустойчивости, является верхней границей зоны устойчивой работы упругой системы шлифовального станка (эта зона не содержит овалы).

Из анализа рис.1 следует, что с уменьшением массы прерывистого круга m_{np} от 3,90кг ($N = 0,14$) до 3,69 кг ($N = 0,80$) происходит незначительное смещение верхней границы зоны устойчивой работы упругой системы станка в сторону увеличения числа прорезей n на абразивном круге (от $n = 50$ до $n = 58$).

Рис.1 состоит из шести графиков, каждый из которых соответствует конкретной массе прерывистого круга. Анализ любого из этих графиков показывает, что с увеличением N точки, принадлежащие верхней границе устойчивой работы упругой системы станка, смещаются в сторону уменьшения количества прорезей на прерывистом круге. Например, для $\frac{m_{np}}{m_{cn}} = 0,966$ (средний график в

верхнем ряду рис. 1) с увеличением N от 0,1 до 0,8 количество прорезей n на прерывистом круге уменьшилось от 80 до 48. Чем меньше число прорезей на круге, тем легче его изготовить, а увеличение отношения $N = \frac{l_2}{l_1}$ (за счет увеличения размеров впадин l_2) дает возможность изготавливать прерывистые круги на керамической связке с применением дробеструйной установки.

Формирование впадин на круге сводится к закреплению на нем шаблона с последующим помещением под струю дроби (диаметром 0,5-0,8 мм), под действием которой абразивный инструмент принимает нужную форму [4]. Этот способ получения пазов более экономичный по сравнению с прорезкой пазов на заточном станке, так как при этом отсутствуют затраты на абразивный инструмент, применяемый для прорезки впадин. Более того, этот способ является более производительным. Но даже формируя впадины на заточном станке, производительность обработки уменьшается за счет уменьшения числа прорезей.

Таким образом установлено, что можно уменьшать количество прорезей на абразивном инструменте (с одновременным увеличением отношения ширины впадины к длине выступа), не нарушая при этом параметрической устойчивости упругой системы станка.

На рис.2 показано семейство кривых построенных в системе координат ($k_{np} = N; n$).

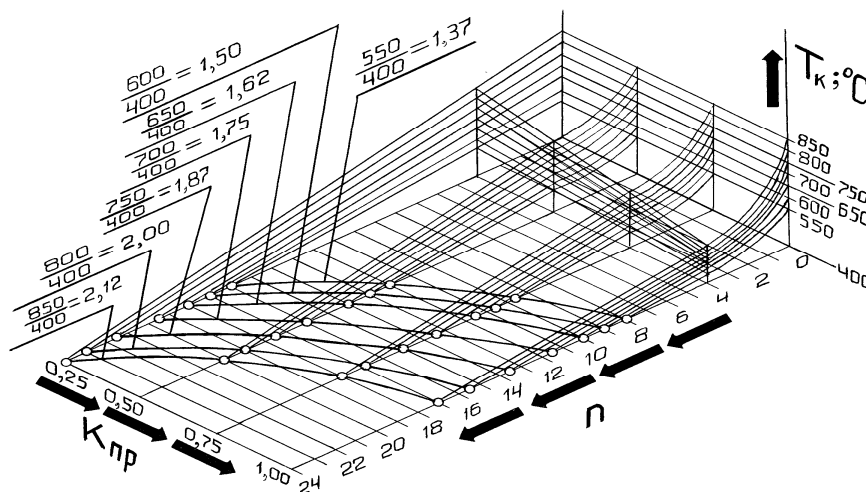


Рис.2. Семейство кривых в системе координат ($k_{np} = N; n$), каждая из которых соответствует конкретной степени понижения температуры при прерывистом шлифовании по сравнению со сплошным

Каждая точка любой из этих кривых соответствует одной и той же температуре шлифования. Направление этих кривых совпадает с направлением прямых, изображенных на рис.1. А это значит, что для обеспечения параметрической устойчивости упругой системы станка и поддержания температуры шлифования на заданном уровне необходимо при увеличении размеров впадин на прерывистом круге

одновременно уменьшать их количество. С увеличением $N = \frac{l_2}{l_1}$ уменьшается теплонапряженность процесса шлифования, улучшаются условия самозаточиваемости абразивного инструмента, но при этом ухудшается шероховатость обрабатываемой поверхности [11]/

Улучшить шероховатость обрабатываемой поверхности можно увеличением скорости резания $V_{кр}$. На рис.3 приведены профилограммы шероховатости поверхности после прерывистого шлифования с разными скоростями резания.

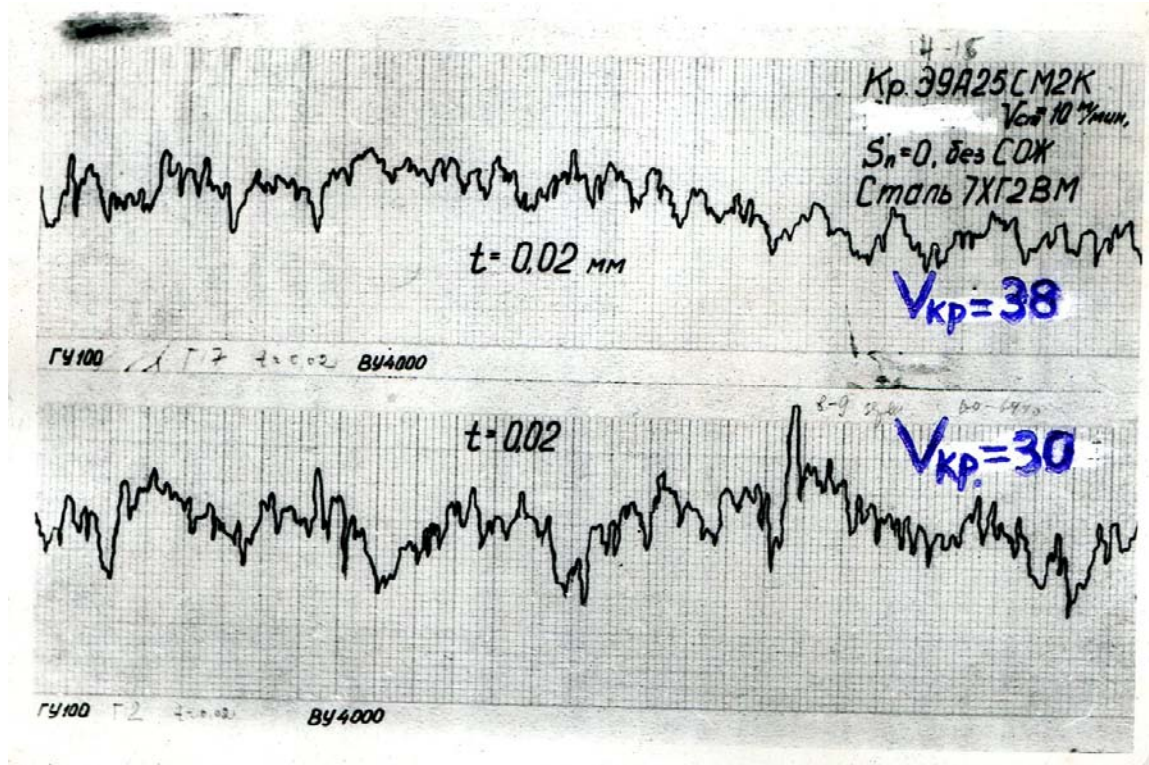


Рис.3. Профилограммы шероховатости поверхности после шлифования прерывистым кругом ($N = 0,6; n = 30$) со скоростями резания $V_{кр} = 38$ м/с (верхняя профилограмма) и $V_{кр} = 30$ м/с (нижняя профилограмма)

Из рис.3 видно, что увеличение окружной скорости шлифовального круга $V_{кр}$ от 30 м/с до 38 м/с привело к уменьшению высоты шероховатости. При обработке со скоростью резания 30 м/с на профилограмме просматриваются явно выраженные чередующиеся выступы и впадины. При шлифовании со скоростью круга 38 м/с характер следов от режущих зерен не имеет явно выраженного чередования выступов и впадин.

За счет увеличения скорости резания $V_{кр}$ можно сместить зону устойчивой работы упругой системы станка в направлении уменьшения количества впадин на рабочей поверхности круга.

Из рис. 4 видно, что увеличение скорости резания $V_{кр}$ от 30 м/с до 38 м/с сдвигает правую точку границы зоны параметрической устойчивости от $n = 60$ до $n = 30$ (при $N = 0,8$), что способствует увеличению производительности изготовления прерывистых кругов и снижению потерь абразивного материала, удаляемого из сплошного круга при формировании впадин.

Выводы

1. Выявлена возможность увеличения производительности формирования впадин прерывистых абразивных кругов на керамической связке при их прорезании на заточном станке с применением делительных механизмов с одновременным снижением потерь абразивного материала, удаляемого при этом из сплошного круга.

2. Теоретически обоснована возможность формирования впадин на прерывистом абразивном круге с использованием дробеструйной установки.

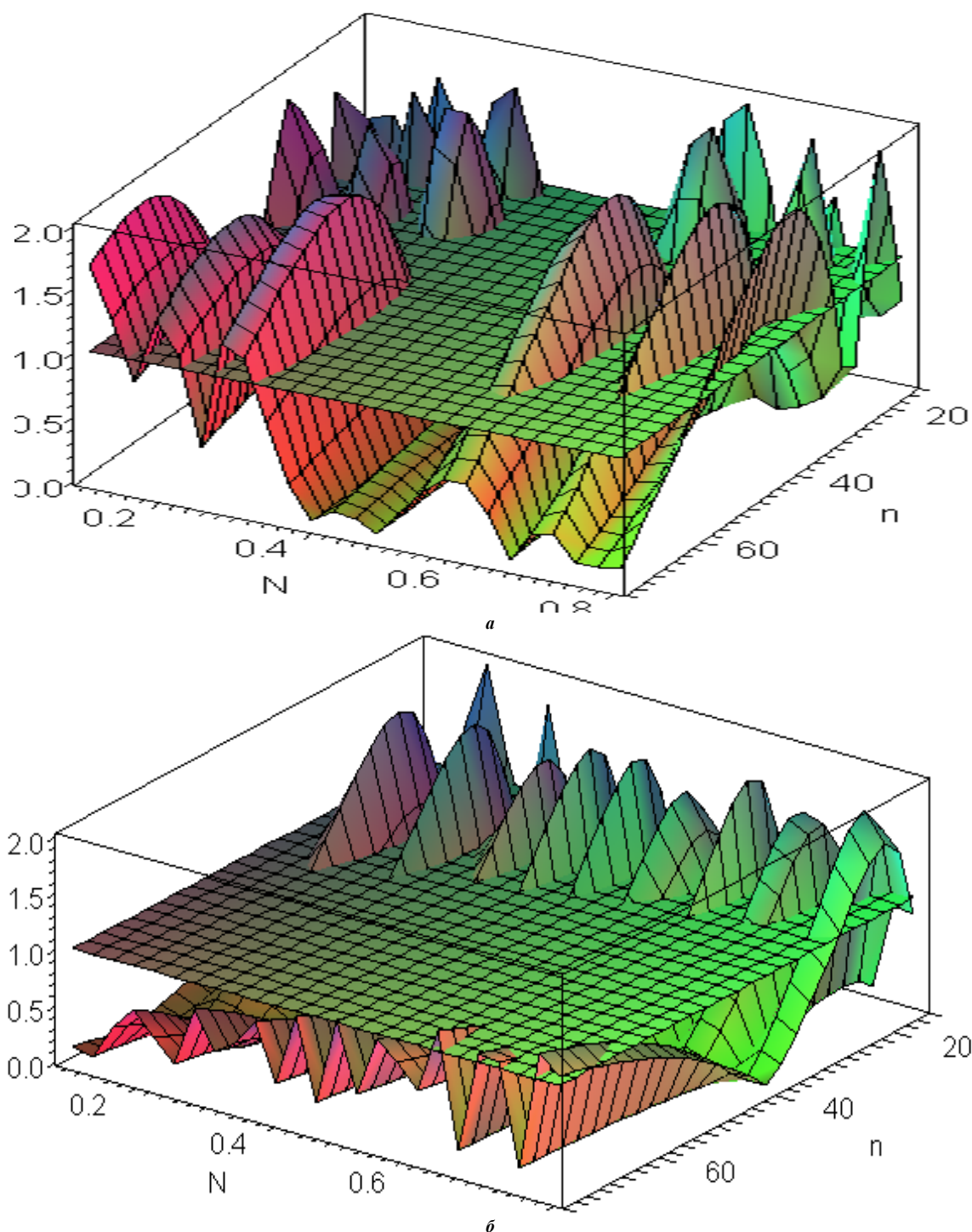


Рис.4. Смещение границы области параметрической устойчивости упругой системы станка в направлении уменьшения количества прорезей n на шлифовальном круге за счет увеличения скорости резания $V_{кр}$ от 30 м/с (а) до 38 м/с (б)

Литература

1. Якимов А.В. Оценка эффективности применения прерывистого шлифования /А.В. Якимов, А.А. Якимов //Физические и компьютерные технологии: Труды 19-й междунар. науч.- техн. конф., 25-26 июня 2014 г. – Харьков: ГП ХМЗ «ФЭД», 2014. – С.61—66.
2. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании : учеб. пособие [для студ. высш. техн.уч. завед.]/А.В. Якимов, Б.О. Ткаченко, С.Г. Зимин, А.А. Якимов, Ф.В. Новиков. Г.В. Новиков, -- Одесса: ОГПУ, 1998. – 272 с.
3. Новиков Ф.В. К вопросу о сущности прерывистого шлифования / Новиков Ф.В., Якимов А.А. //Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн.сб.—Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – С.177-182.
4. Шлифование композиционными кругами /Л.В. Худобин, Н.И. Веткасов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 256 с.

5. Бабанов С.А. Состояние кардиореспираторной системы при пылевых заболеваниях легких: автореф. дис. ... Канд.мед.наук. – Самара, 1999. 24 с.
6. Жестков А.В. Клинические и иммунологические проявления пылевых заболеваний легких: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Самара, 2000, 32 с.
7. Пульмонология: Национальное руководство /Под ред.А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР медиа, 2009, -- 960 с.
8. Опарин С.М. Влияние конструкции и состава композиционных кругов на производительность процесса шлифования и качество поверхностного слоя изделий из труднообрабатываемого материала/ С.М. Опарин, в.Н. Трусов // Прогрессивные методы финишной абразивной обработки деталей машин и приборов. – Саратов: Изд-во Саратов.ун-та,1983. – С.32-34.
9. Усов А.В. Параметрические резонансы, возникающие при кусочно-постоянном возбуждении упругой системы станка / А.В. Усов, А.А. Якимов // Праці Одеськ. політехн. ун-ту: Наук. та наук.=вироб. Зб.—Одеса: ОНПУ, 2014. – Вип. 1(43). – С.60-68.
10. Якимов А.А. Особенности прерывистого шлифования / А.А. Якимов, Л.В. Бовнегра // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Міжнар.нау.-технічн. Журнал. – Хмельницький: Хмельницький нац. ун-ет, 2016. -- №1 –С.179-187.
11. Якімов О.О. Технологічне забезпечення якості поверхневого шару зубів високоточних зубчастих коліс при шліфуванні: автореф. Дис.докт.техн. наук. – Одеса, 2015, --50 с.

References

1. Jakymov, A.V. Ocenka efektyvnosti pryomenenya preryvystoho šlyfovanyja /A.V. Jakymov, A.A. Jakymov //Fyzyčeskye y komp'juternye tehnolohyy: Trudy 19-j meždunar. nauč.- tehn. konf., 25-26 yjunja 2014 h. – Харків: НР ХМЗ «ФЭД», 2014. – С.61—66.
2. Teplovye processy pry obyčnom y preryvystom šlyfovanyu : učeb. posobyje [dlja stud. vysš. techn.uč. zaved.]/A.V. Jakymov, B.O. Tkačenko, S.H. Zymyn, A.A. Jakymov, F.V. Novykov. H.V. Novykov, -- Odessa: OHPU, 1998. – 272 s.
3. Novykov, F.V. K voprosu o suščnosti preryvystoho šlyfovanyja / Novykov F.V., Jakymov A.A. //Rezanye y ynstrument v tehnolohyčeskyx systemax: Meždunar. nauč.-tehn.sb.—Харків: NTU «ХРПУ», 2001. – S.177-182.
4. Šlyfovanye kompozycyonnyму kruhamy /L.V. Xudobyn, N.Y. Vetkasov. – Uїjanovsk: UIHTU, 2004. – 256 s.
5. Babanov, S.A. Sostojanye kardyorespyratornoj systemy pry rylevyx zabolevanyjax lehkyy: avtoref. dys.... Kand.med.nauk. – Samara, 1999. 24 s.
6. Žestkov, A.V. Klynyčeskye y immunołohyčeskye projavlenyja rylevyx zabolevanyj lehkyy: avtoref. dys... dokt. med. nauk. Samara, 2000, 32 s.
7. Pul'manoloħyja: Nacyonal'noe rukovodstvo /Pod red.A.H. Čučalya. – М.: НЭОТАР медиа, 2009, -- 960 s.
8. Oparyn, S.M. Vlyjanye konstrukcyu y sostava kompozycyonnyx kruhov na proyzvoditel'nost' processa šlyfovanyja y kačstvo poverxnostnoho sloja yzduel'nyx yz trudnoobrabatyvaemogo materyala/ S.M. Oparyn, v.N. Trusov // Prohressyvnyye metody fynyšnoj abrazyvnoj obrabotky detal'ej mašin y pryborov. – Saratov: Yzd-vo Sarat.un-ta,1983. – S.32-34.
9. Usov, A.V. Parametryčeskye rezonansy, voznykajuščyye pry kusočno-postojannom vozbuždenyy upruhoj systemy stanka / A.V. Usov, A.A. Jakymov // Praci Odes'k. politexn. un-tu: Nauk. ta nauk.=vyrob. Zb.—Odesa: ONPU, 2014. – Vyp. 1(43). – S.60-68.
10. Jakymov, A.A. Osobennosti preryvystoho šlyfovanyja / A.A. Jakymov, L.V. Bovnehra // Vymirjuval'na ta občysljuval'na tehnika v tehnolohičnyx procesax: Mižnar.naku.-tehničn. Žurnal. –Xmel'nyckyj: Xmel'nyckyj nac. un-et, 2016. -- #1 –S.179-187.
11. Jakimov, O.O. Tehnolohične zabezpečennja jakostі poverxnevoho šaru zubiv vysokotočnyx zubčastyx kolis pry šlifuvanni: avtoref. Dys....dokt.techn. nauk. – Odessa, 2015, --50 s.

Рецензія/Peer review : 12.6.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.397

А.О. СЕМЕНОВ

Вінницький національний технічний університет

ТРАНЗИСТОРНІ ГЕНЕРАТОРИ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ ДЛЯ ЗАСОБІВ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Запропоновано новий варіант генератора детермінованого хаосу для застосування в засобах прихованої передачі інформації. Принцип дії такого генератора полягає у використанні нелінійних властивостей транзисторної структури з від'ємним опором. Показано, що динаміка коливань нелінійної системи близька до хаотичного режиму генератора Колпитця. Отримано результати теоретичних і експериментальних досліджень.

Ключові слова. Детермінований хаос, транзисторна структура, від'ємний опір, фазовий портрет, амплітудний спектр.

A.O. SEMENOV

Vinnytsia National Technical University

DETERMINISTIC CHAOS TRANSISTOR OSCILLATORS FOR HIDDEN INFORMATION TRANSMISSION FACILITIES

Abstract. The new version of a deterministic chaos oscillator for application in hidden information transmission facilities is presented. The principle of operation for such oscillator is to use nonlinear properties of a transistor structures with negative resistance. The dynamics of nonlinear system oscillation is shown to be close to a chaotic mode of the Colpitts oscillator. The results of theoretical and experimental researches are obtained.

Keywords. Deterministic chaos, transistor structure, negative resistance, phase portrait, amplitude spectrum.

Вступ

Останнім часом з метою забезпечення конфіденційності інформації в системах зв'язку та підвищення їхньої завадостійкості широко застосовують інформаційні властивості детермінованого хаосу [1]. Застосування хаотичних коливань у системах зв'язку крім підвищення завадостійкості кодування та захисту інформації від несанкціонованого доступу мають ще такі переваги [2]: 1) сигнали детермінованого хаосу мають потенційно більш високу інформаційну ємність при малому рівні сигналу внаслідок широкосмуговості; 2) завдяки фундаментальному явищу хаотичної синхронізації в певних системах зв'язку не потрібно додаткових схем керування для синхронізації передавача та приймача; 3) висока безпека системи зв'язку, оскільки захищеність інформації здійснюється на апаратному рівні з урахуванням того, що на приймальній стороні потрібно відновити динаміку передавальної хаотичної системи [3-5]. Тому актуальною науково-технічною задачею є розробка та дослідження високочастотних генераторів детермінованого хаосу для засобів прихованої передачі інформації.

Перспективним напрямком приладобудування є розробка та дослідження електрично керованих транзисторних генераторів детермінованого хаосу, сумісних з мікроелектронною технологією [6]. При цьому основними науково-технічними задачами є синхронізація та підвищення стійкості генераторів детермінованого хаосу [6,7]. Для розв'язку цих задач потрібно отримати фазові портрети генераторів детермінованого хаосу, а також часові та частотні залежності хаотичних коливань. Метою роботи є огляд математичних моделей та фазових портретів транзисторних генераторів детермінованого хаосу, які побудовані з використанням ємнісного ефекту транзисторних схем і структур. Також у роботі наведено результати експериментального дослідження розробленого генератора детермінованого хаосу на біполярно-польовій транзисторній структурі з від'ємним опором.

Транзисторний генератор детермінованого хаосу за схемою Колпитця

Більшість відомих транзисторних генераторів детермінованого хаосу є низькочастотними (до 10..20 МГц). Сучасні системи зв'язку потребують більш високочастотних генераторів багаточастотних і широкосмугових сигналів. Серед високочастотних транзисторних генераторів детермінованого хаосу найбільш простою і зручною є схема Колпитця, яка подана на рис. 1 [6].

Схема Колпитця є класичним варіантом ємнісної триточкової схеми генераторів і має один активний нелінійний елемент – біполярний транзистор. Зворотний зв'язок генератора утворений котушкою індуктивністю L (з опором активних втрат R_1) та подільником напруги з ємностей C_1 і C_2 . Робоча точка на сімействі ВАХ біполярного транзистора встановлюється вибором напруги джерела V_0 та номіналу опорів базового подільника напруги R_1R_2 . У деяких випадках між колектором і базою біполярного транзистора встановлюють додаткову ємність C для розширення можливості керування коливальними режимами генератора [6].

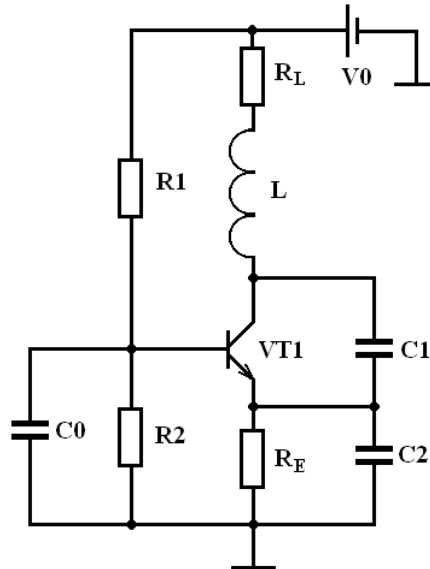


Рис. 1. Електрична схема генератора Колпитця

Основна частота генерованого сигналу [6]

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (1)$$

У режимі великого сигналу, що має місце на практиці при виникненні хаотичних коливань, модель біполярного транзистора зручно звести до вигляду двосегментного кусково-лінійного резистора, який керується напругою, і лінійного джерела струму, який керується струмом, вигляду [6]

$$I_B = \begin{cases} 0, & V_{BE} \leq V_0, \\ (V_{BE} - V_0)/R, & V_{BE} > V_0, \end{cases} \quad (2)$$

де V_0 - порогова напруга емітерного р-п переходу, R - опір емітерного р-п переходу в режимі малого сигналу, V_{BE} - напруга база-емітер.

Динаміка фізичних процесів у схемі генератора Колпитця на рис. 1 описується системою диференціальних рівнянь у безрозмірних змінних вигляду [7]

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 - a \cdot F(x_3), \\ \frac{dx_2}{dt} = c - x_1 - bx_2 - x_3, \\ \varepsilon \frac{dx_3}{dt} = x_2 - dx_3, \end{cases} \quad (3)$$

де $F(z)$ - функція апроксимації колекторного струму залежно від вхідної напруги, яка в нормованих змінних має вигляд

$$F(z) = \begin{cases} e^{-1-z}, & z < e-1, \\ 0, & z \geq e-1. \end{cases} \quad (4)$$

Рівняння нормованих змінних і коефіцієнтів системи (3) мають вигляд [7]

$$\begin{aligned} x_1 = \frac{V_{C1}}{V^*}, \quad x_2 = \frac{\rho I_L}{V^*}, \quad x_3 = \frac{V_{C2}}{V^*}, \quad v = \frac{t}{\tau}, \quad \dot{u} \equiv \frac{du}{dv}, \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C_1}}, \\ \tau = \sqrt{LC_1}, \quad \varepsilon = \frac{C_2}{C_1}, \quad a = \frac{\rho}{r}, \quad b = \frac{R}{\rho}, \quad c = \frac{V_0}{V^*}, \quad d = \frac{\rho}{R_E}, \quad e = \frac{R_2}{R_1 + R_2} c. \end{aligned} \quad (5)$$

У роботі [7] наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень генератора сигналів детермінованого хаосу за схемою Колпитця на біполярному транзисторі 2N3904 із такими параметрами пасивних елементів: $L = 850$ мкГн, $C_1 = C_2 = 470$ нФ, $C_0 = 47$ мкФ, $R = 36$ Ом, $R_E = 510$ Ом, $R_1 = R_2 = 3$ кОм, $V_0 = 15$ В. У такому разі значення нормованих змінних системи звичайних диференціальних рівнянь (3) за умови (5): $\varepsilon = 1$, $a = 30$, $b = 0.8$, $c = 20$, $d = 0.08$, $e = 10$. На рис. 2 (а-г) наведено фазові портрети генератора Колпитця у різних площинах змінних, отриманих при чисельному моделюванні системи (3) за умов (5) в програмі MathCad 15.0 згідно з методикою [8-9]. На рис. 3 наведено часові діаграми, на рис. 4 амплітудо-частотні спектри та на рис. 5 фазочастотні спектри змінних x_1 - x_2 - x_3 .

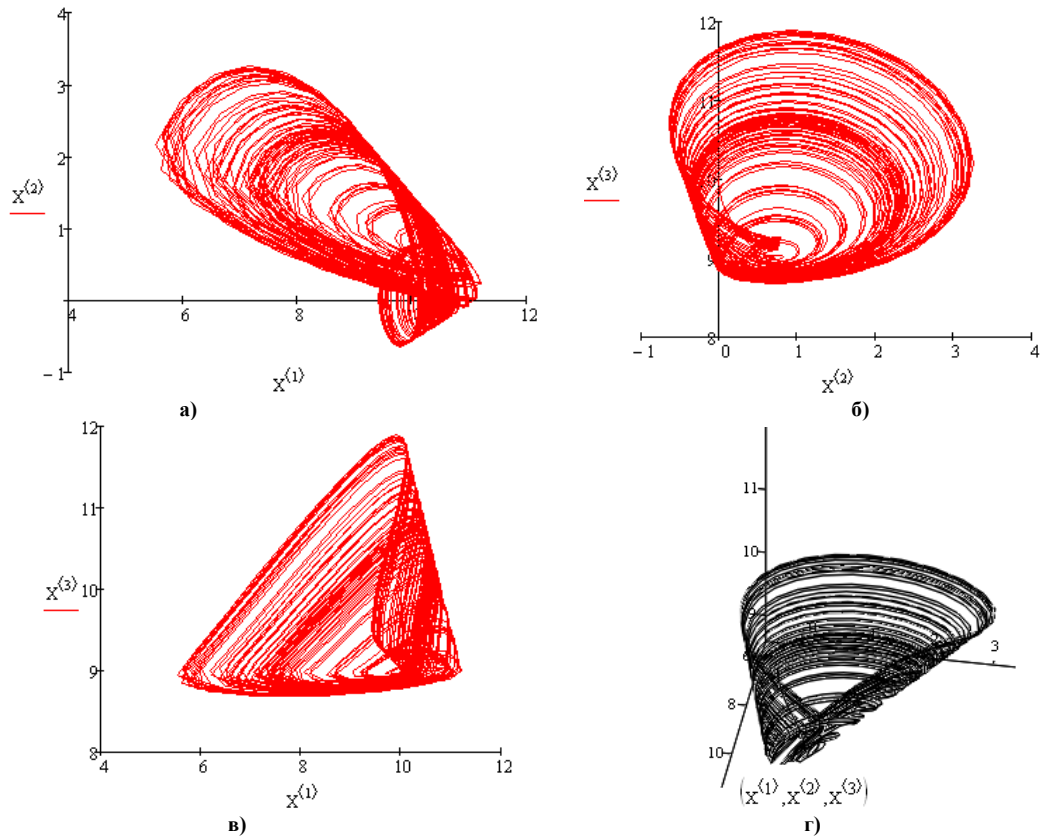


Рис. 2. Фазові портрети генератора Колпिटця у просторі змінних: а) x_1-x_2 , б) x_2-x_3 , в) x_1-x_3 , і г) $x_1-x_2-x_3$

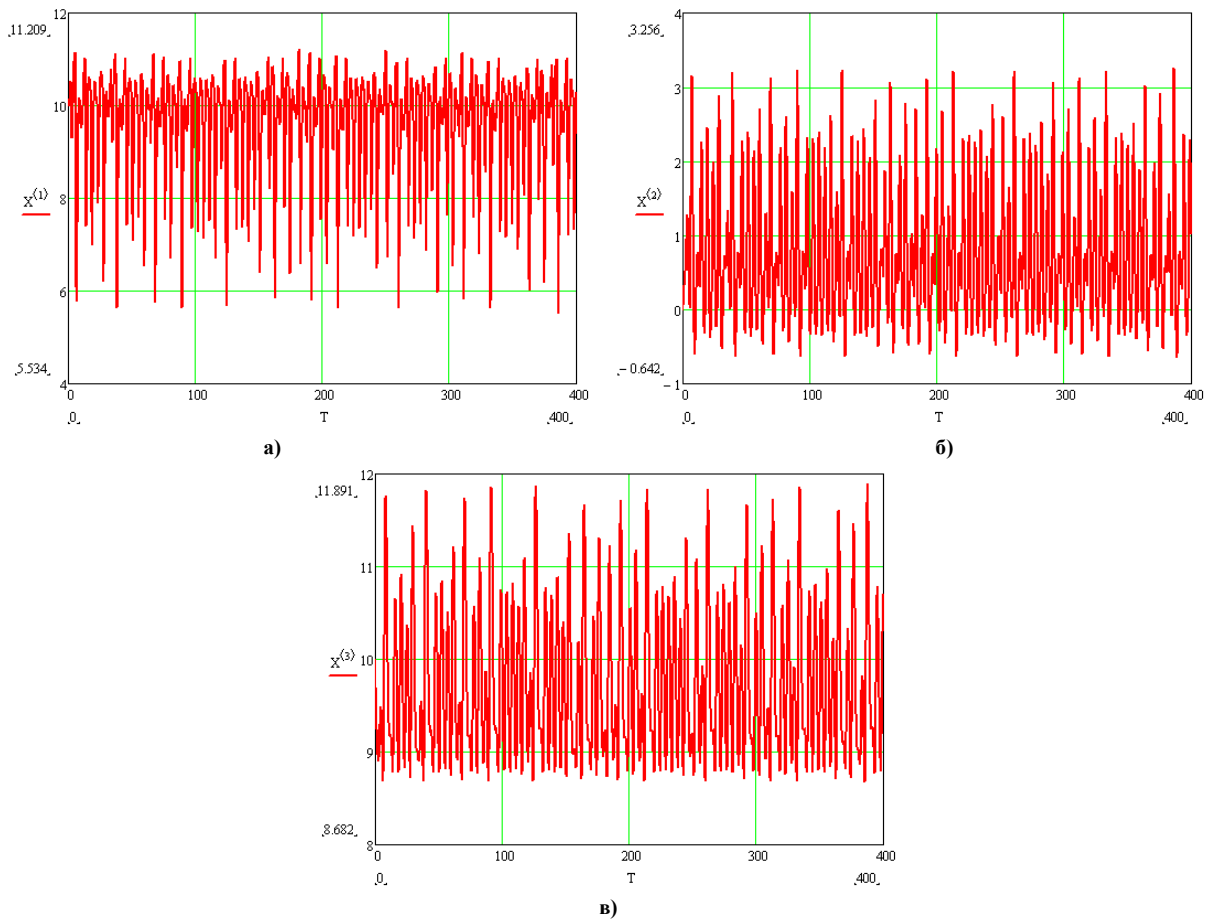


Рис. 3. Часові діаграми хаотичних сигналів генератора Колпिटця ($T = \omega_0 t$ – нормований час)

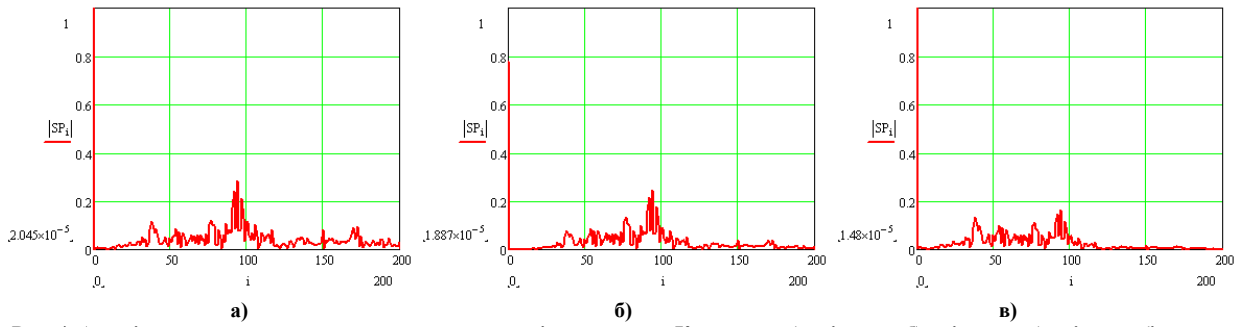


Рис. 4. Амплітудо-частотний спектр хаотичних сигналів генератору Колпіття: а) змінна x_1 , б) змінна x_2 , в) змінна x_3 (i – номер гармоніки)

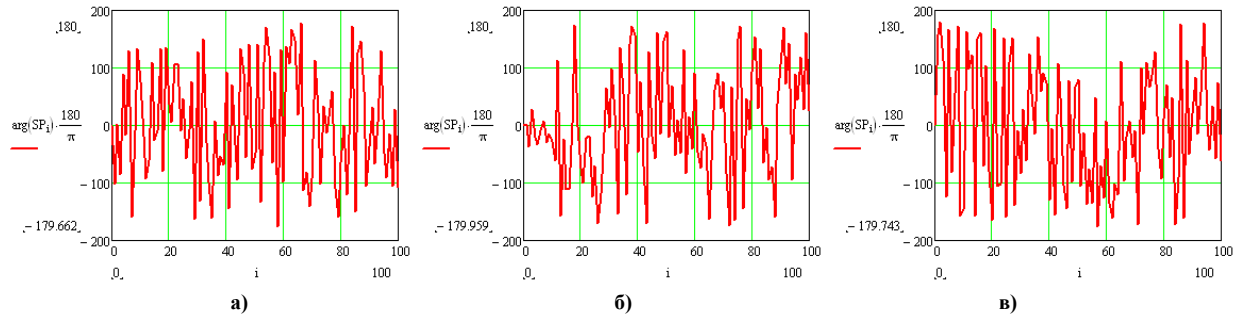


Рис. 5. Фазочастотний спектр хаотичних сигналів генератору Колпіття: а) змінна x_1 , б) змінна x_2 , в) змінна x_3 (i – номер гармоніки)

Генератор детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури з від’ємним опором

На рис. 6 наведено розроблену електричну принципову схему генератора детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури з від’ємним опором. У схемі на рис. 6 використано такі елементи: VT1 – КТ363, VT2 – КП327, C1 – 3,3 нФ, C2 – 47 пФ, C3 – 2 мкФ, R1 – 560 Ом, R2 – 47 Ом, L – 120 мкГн.

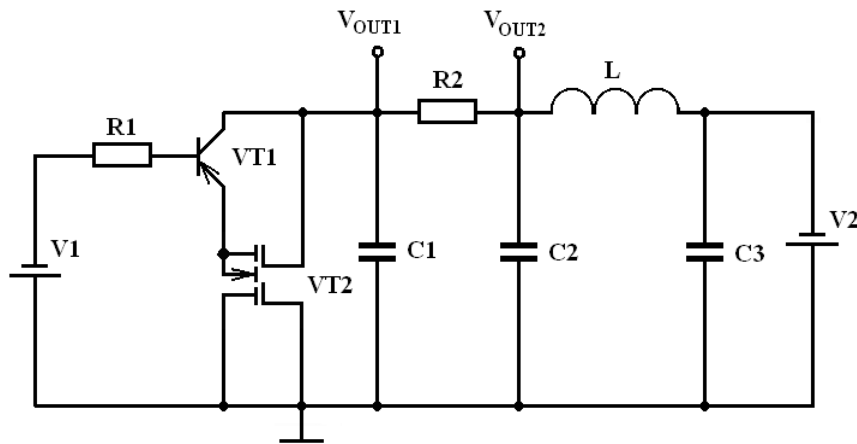


Рис. 6. Електрична схема генератору детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури

Генератор працює таким чином. Активний елемент генератора на основі дискретних транзисторів – біполярного р-п-р типу і двозатворного МДН транзистора з індукованим каналом п типу – має сімейство статичних ВАХ λ -типу. Вибір активного елементу генератору здійснено на підставі міркувань отримання максимальної протяжності спадної ділянки ВАХ при зміні напруг V1 і V2. З метою усунення впливу нелінійних властивостей ємнісної складової активному елементу генератору паралельно включено конденсатор C1. Базові схемотехнічні рішення генераторів електричних коливань на основі транзисторних структур з від’ємним опором являють собою коливальні системи з 1 ступенем вільності [10-11]. Для отримання коливальної системи з 1,5 ступенем вільності та забезпечення хаотичного режиму в генераторі додано коло R2C2.

У широкому діапазоні напруг генератор працює в стаціонарному режимі коливань осциляторного типу. Хаотичний режим виникає при напругах джерел V1=3,0 В, V2=5,3 В. На рис. 7 – рис. 9 наведено отримані результати експериментальних досліджень генератору детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури з від’ємним опором. Як вихідні сигнали генератору використовувалися напруги на конденсаторах C1 і C2 (нормовані змінні x_1 і x_3). Як видно з рис. 7 і рис. 2, в фазові портрети обох генераторів в площині змінних генерованих напруг (площині змінних x_1 - x_3) мають схожість.

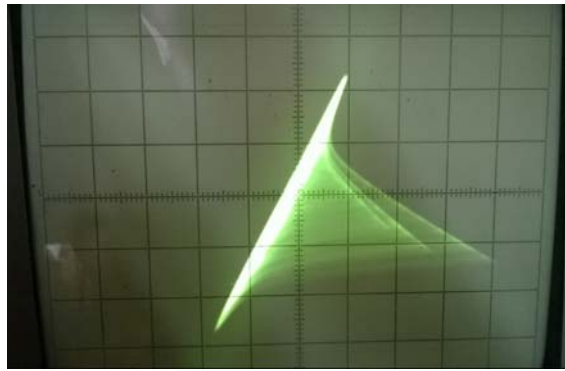


Рис. 7. Фазовий портрет генератору детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури в площині змінних



Рис. 8. Осцилограма хаотичних коливань генератору на основі біполярно-польової транзисторної структури



Рис. 9. Осцилограма та амплітудо-частотний спектр хаотичних коливань генератору

Висновки

У роботі проведено огляд математичних моделей та фазових портретів транзисторних генераторів детермінованого хаосу, які побудовані за схемою Колпитця. Запропоновано нове схемотехнічне рішення генератору детермінованого хаосу на основі емнісного ефекту біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним опором. Отримано результати експериментальних досліджень хаотичного режиму такого генератору. Показано, що динаміка фізичних процесів у цьому генераторі близька до хаотичного режиму генератору Колпитця, але, на відміну від останнього, амплітудо-частотний спектр сигналу детермінованого хаосу в запропонованому генераторі має більш рівномірний розподіл енергії по спектральним складовим. Розроблений генератор призначений для застосування в засобах прихованої передачі інформації.

Література

1. Дмитриев А. С. Динамический хаос: Новые носители информации для систем связи / А. С. Дмитриев, А. И. Панас. – М.: Физматлит, 2002. – 251 с.
2. Жалнин А. Ю. Новая схема передачи информации на основе фазовой модуляции несущего хаотического сигнала / А. Ю. Жалнин // Изв. вузов «Прикладная нелинейная динамика». – 2014. – т. 22, № 5. – С. 3-12.
3. Патент № 2295835 (РФ), МКИ Н04L9/12, Н04К1/02. Способ секретной передачи информации / Короновский А. А., Москаленко О. И., Попов П. В., Храмов А. Е. // Заявл.: 2005133906/09, 03.11.2005; Опубл.: 20.03.2007, Бюл. № 8. – 10 с.
4. Патент № 2421923 (РФ), МКИ Н04L9/22. Способ скрытой передачи информации с изменяющимися характеристиками генератора шума / Москаленко О. И., Короновский А. А., Храмов А. Е. // Заявл.: 2010104117/09, 10.02.2010; Опубл.: 20.06.2011 Бюл. № 17. – 9 с.
5. Патент № 2509423 (РФ), МКИ Н04L9/00, G06F21/60. Способ скрытой передачи информации /

Москаленко О. И., Фролов Н.С., Короновский А. А., Храмов А. Е. Заявл.: 2012118774/08, 04.05.2012; Оpubл.: 10.03.2014 Бюл. № 7. – 11 с.

6. Генераторы хаотических колебаний: Учебное пособие. 2-е издание / [Б. И. Шахтарин, П. И. Кобылкина, Ю. А. Сидоркина, А. В. Кондратьев, С. В. Митин]. – М.: Гелиос АРВ, 2014. – 248 с.

7. Antanas Cenys, Arunas Tamasevicius, Antanas Baziliauskas, Romanas Krivickas, and Erik Lindberg. Hyperchaos in coupled Colpitts oscillators. – Journal Chaos, Solitons and Fractals, Vol. 17, 2003. – pp. 349-353.

8. Andriy Semenov. The Van der Pol's Mathematical Model of the Voltage-Controlled Oscillator Based on a Transistor Structure With Negative Resistance / Andriy Semenov // Proceedings of the XIII International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science", Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 26, 2016. – pp. 100-104.

9. Andriy Semenov. Reviewing the mathematical models and electrical circuits of deterministic chaos transistor oscillators / Andriy Semenov // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Moscow: National Research University "Higher School of Economics". Russia, Moscow, May 12–14, 2016. IEEE Catalog Number: CFP16794-CDR. Online ISSN: 2380-6516.

10. Andriy Semenov. Quasi-linear mathematical model of generators on the basis of transistor structures with negative resistance - Scientific Works of Vinnytsia National Technical University, 2009, № 4. – pp. 1-9.

11. Осадчук В. С. Функціональні вузли радіовимірювальних приладів на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором : монографія / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Семенов А. О. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 336 с.

References

1. Dmitriev A. S. Dinamicheskiy khaos: Novye nositeli informatsii dlya sistem svyazi / A. S. Dmitriev, A. I. Panas. – Moskva, Fizmatlit, 2002. – 251 s.

2. Zhalnin A. Yu. Novaya skhema peredachi informatsii na osnove fazovoy modulyatsii nesushchego khaoticheskogo signala / A. Yu. Zhalnin // Izv. Vuzov "Prikladnaya nelineynaya dinamika". – 2014. – Vol. 22, No5. – ss. 3-12.

3. Patent № 2295835 (RF), MKI H04L9 / 12, H04K1 / 02. Sposob sekretnoy peredachi informatsii / Koronovskii A. A., Moskalenko O. I., Popov P. V., Khramov A. E. // Zayav.: 2005133906/09, 03.11.2005; Opubl.: 20.03.2007, Byul. № 8. – 10 s.

4. Patent № 2421923 (RF), H04L9 / 22 MKI. Sposob skrytoy peredachi informatsii s izmenyayushchimisya kharakteristikami generatora shuma / O. I. Moskalenko, A.A. Koronovskiy, A. E. Khramov // Zayav.: 2010104117/09, 10.02.2010; Opubl.: 20.06.2011 Byul. № 17. – 9 s.

5. Patent № 2509423 (RF), MCI H04L9 / 00, G06F21 / 60. Sposob skrytoy peredachi informatsii / O.I. Moskalenko N.S. Frolov, A.A. Koronovskiy, A.E. Khramov // Zayav.: 2012118774/08, 04.05.2012; Opubl.: 10.03.2014 Byul. № 7. – 11 s.

6. Generatory khaoticheskikh kolebaniy: Uchebnik. 2nd edition / [B.I. Shakhtarin, P.I. Kobylkin, Y. Sidorkina, A.V. Kondratyev, S. Mitin]. – Moskva, Gelios ARV, 2014. – 248 s.

7. Antanas Cenys, Arunas Tamasevicius, Antanas Baziliauskas, Romanas Krivickas, and Erik Lindberg. Hyperchaos in coupled Colpitts oscillators. – Journal Chaos, Solitons and Fractals, Vol. 17, 2003. – pp. 349-353.

8. Andriy Semenov. The Van der Pol's Mathematical Model of the Voltage-Controlled Oscillator Based on a Transistor Structure With Negative Resistance / Andriy Semenov // Proceedings of the XIII International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science", Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 26, 2016. – pp. 100-104.

9. Andriy Semenov. Reviewing the mathematical models and electrical circuits of deterministic chaos transistor oscillators / Andriy Semenov // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Moscow: National Research University "Higher School of Economics". Russia, Moscow, May 12–14, 2016. IEEE Catalog Number: CFP16794-CDR. Online ISSN: 2380-6516.

10. Andriy Semenov. Quasi-linear mathematical model of generators on the basis of transistor structures with negative resistance - Scientific Works of Vinnytsia National Technical University, 2009, № 4. – pp. 1-9.

11. V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, A. O. Semenov. Funktsionalni vuzly radiovimiryuvalnih pryladiv na osnovi reaktivnykh vlastivostey transistornykh struktur s vidyemnym oporom: monografiya. – Vinnytsia: VNTU, 2011. – 336 s.

Рецензія/Peer review : 12.5.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ КОМПЛЕКСОМ АКОР-ЗПК

Запропоновано апаратно-програмний комплекс для вимірювання рівня кондуктивних завад імпульсних перетворювачів електричної енергії змінного струму на основі АКОР-ЗПК. Розроблено необхідні апаратні та програмні засоби для вимірювання: еквівалент мережі та спеціалізоване програмне забезпечення для обробки результатів вимірів. Розроблено методику проведення вимірів за допомогою запропонованого комплексу. Виконано порівняльний аналіз із результатами, отриманими у сертифікованій лабораторії, дана оцінка точності результатів вимірів.

Ключові слова: перетворювач електричної енергії змінного струму, електромагнітна сумісність, кондуктивна завада, програмне забезпечення.

A.P. RUSU, S.V. STAIKUCA, D.V.GOLEV, I.G. BOIEV
O.S. Popov Odessa national academy of telecommunication

METHOD OF MEASUREMENT CONDUCTED INTERFERENCE SWITCHED-MODE CONVERTERS OF ELECTRIC ENERGY ON THE BASIS OF ACOR-3PK

Abstract. The hardware and software system based on ACOR-3PK for the measurement of conducted emissions of switched-mode AC-AC converters is proposed. Developed the necessary hardware and software for measuring: equivalent network and specialized software for processing of the measurement results. The method of measurement is developed using the proposed complex. A comparative analysis of the results obtained in a certified laboratory, assessed the accuracy of measurement results.

Key words: AC-AC converter, electromagnetic compatibility, conducted emissions, software.

Введення і постановка задачі

Якість телекомунікаційних послуг, що надається підприємствами зв'язку напряму залежить від якості електричної енергії, що використовується живлення телекомунікаційного обладнання. Більшість підприємств зв'язку та радіотехнічного обладнання забезпечуються електричною енергією від промислової мережі змінного струму параметри якої повинні відповідати ГОСТ 13109-97 [1]. На практиці параметри електричної енергії промислової мережі можуть відхилитися від норми, наприклад, при аваріях у струморозподільній мережі, або при її перевантаженні. У таких випадках можливе як аварійне відключення основного та допоміжного обладнання, так і вихід його із ладу.

Для підтримання величини напруги промислової мережі у заданих межах на практиці широко використовуються перетворювачі електричної енергії змінного струму. Перспективним напрямом побудови сучасних перетворювачів є використання імпульсного методу перетворення електричної енергії. Даний метод дозволяє зменшити масу, габарити, вартість перетворювача, та втрати електричної енергії при перетворенні. Основні принципи роботи імпульсних перетворювачів електричної енергії (ПЕЕ) змінного струму викладено у [1 – 7]. Перспективні варіанти побудови силової частини ПЕЕ наведено у [6, 7].

Необхідною умовою використання ПЕЕ є відповідність їх рівня електромагнітних завад, сучасним міжнародним нормам [8]. Таким чином, при розробці та дослідженні ПЕЕ виникає актуальна задача вимірювання та дослідження рівня електромагнітних завад.

Однак кількість спеціалізованих вимірювальних лабораторій, які дозволяють проводити потрібні виміри обмежена. До того ж більшість із існуючих лабораторій мають технічну можливість вимірювання рівня кондуктивних завад обладнання, максимальна потужність якого не перевищує 2 кВА, у той час як максимальна потужність ПЕЕ може досягати величин 10...15 кВА на одну фазу.

У той же час, проведення необхідних досліджень електромагнітної сумісності ПЕЕ можливе за допомогою вимірювальних комплексів, які призначені для виконання інших подібних задач. Так, наприклад, вимірювання рівня електромагнітних завад ПЕЕ потенційно можливе на базі лабораторії кібербезпеки кафедри інформаційної безпеки та передачі даних Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова за допомогою апаратно-програмного комплексу АКОР-ЗПК [9]. Використання даної лабораторії для проведення необхідних вимірів дозволить скоротити витрати часу на розробку та дослідження сучасних ПЕЕ.

Метою роботи є розробка методики, апаратного та програмного забезпечення для вимірювання та дослідження рівня кондуктивних завад імпульсних перетворювачів електричної енергії змінного струму.

Методи досягнення поставленої задачі

Структурна схема запропонованого апаратно-програмного комплексу для вимірювання рівня кондуктивних завад ПЕЕ показана на рис. 1. ПЕЕ (блок 12) підключається до промислової мережі змінного струму через еквівалент мережі (блок 11), який виконує функцію датчика напруги кондуктивної завади. Необхідний режим роботи ПЕЕ за вихідним струмом забезпечується шляхом вибору відповідної потужності навантаження (блок 13). Необхідний режим роботи ПЕЕ за вхідною напругою забезпечується за

допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) (блок 10).

Широкопasmова напруга кондуктивної завади з виходу еквівалента мережі (блок 11) подається на вхід вимірювального комплексу АКОР-ЗПК, який складається із апаратного (блок 7) та програмного (блок 2) забезпечення.

Вимірювання рівня кондуктивних завад комплексом АКОР-ЗПК відбувається згідно із списком частот, який зберігається у файлі (блок 1). Список досліджуваних частот може мінятися залежно від конкретного дослідження, що дозволяє скоротити час на їх проведення.

Штатне програмне забезпечення (блок 2) комплексу АКОР-ЗПК орієнтоване на забезпечення необхідного рівня інформаційної безпеки [9]. Дослідження рівня кондуктивних завад ШПЕЕ з використанням лише штатного програмного забезпечення не є зручним, та потребує значних витрат часу на подальшу обробку результатів досліджень.

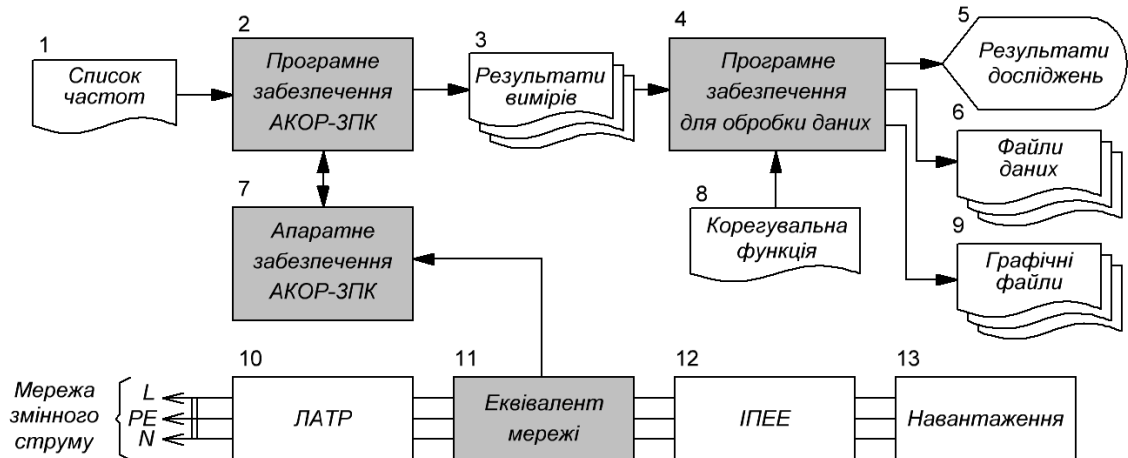


Рис. 1. Структурна схема апаратно-програмного комплексу для вимірювання рівня кондуктивних завад ШПЕЕ на базі комплексу АКОР-ЗПК

Для зменшення витрат часу результати вимірів у вигляді текстових файлів (блок 3) подаються на спеціалізоване програмне забезпечення (блок 4), яке виконує фінішну обробку результатів досліджень. Результати досліджень відображаються спеціалізованим програмним забезпеченням (блок 4) на екрані дисплея (блок 5) та можуть бути збережені у вигляді файлів у цифрових (файли даних) (блок 6) або графічних (графічні файли) (блок 9) форматах.

Спеціалізоване програмне забезпечення розроблено на основі універсальної програми для проведення досліджень [10]. Його структурна схема показана на рис. 2.

Результати вимірів з програмного комплексу АКОР-ЗПК (блок 7) у вигляді текстових файлів поступають у модуль імпорту результатів вимірів (блок 8), який виконує розпізнавання файлів та розміщує дані в оперативній пам'яті комп'ютера у вигляді динамічних масивів даних (блок 9).

Результати вимірів подаються у модуль обробки даних (блок 5), який формує із первинної інформації блока 9 результати досліджень у вигляді динамічних масивів даних, які розташовуються у оперативній пам'яті комп'ютера (блок 12). Результати досліджень формуються відповідно до правил та завдань які задає користувач у блоці 6.

Результати досліджень з блока 12 можуть бути збережені на жорсткому диску комп'ютера у цифровому вигляді (блок 10) за допомогою модуля експорту результатів дослідження (блок 11).

Результати досліджень з блока 12, відповідно до налаштувань користувача (блок 17), конвертуються у графічний формат у вигляді графіків за допомогою графічного модуля (блок 13) та відображаються на екрані дисплея (блок 14). За необхідністю результати дослідження у графічних форматах (BMP, JPEG, IPG тощо) можуть бути збережені на жорсткий диск комп'ютера (блок 15) за допомогою модуля експорту графічної інформації (блок 16).

За необхідністю первинні результати досліджень (блок 9) можуть бути скореговані у блоці 5 за допомогою корегувальної функції. Така необхідність може виникнути, наприклад, для урахування можливої нелінійності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) вимірювального тракту (еквівалент мережі, апаратне забезпечення АКОР-ЗПК). Корегувальна функція зберігається у вигляді файлу на жорсткому диску комп'ютера (блок 8 на рис. 1; блок 2 на рис. 2). Вона імпортується до оперативної пам'яті комп'ютера (блок 4) за допомогою модуля корегувальної функції (блок 3), який виконує функції імпорту/експорту даних у файл та забезпечує можливість її редагування користувачем (блок 1).

Розроблене спеціалізоване програмне забезпечення забезпечує наступні основні функції:

- корегування нелінійності АЧХ вимірювального тракту;
- відображення результатів досліджень на екрані дисплея;
- експорт результатів досліджень у цифрових (файли даних) та графічних (графічні файли) форматах;
- порівняльних аналіз результатів різних досліджень;

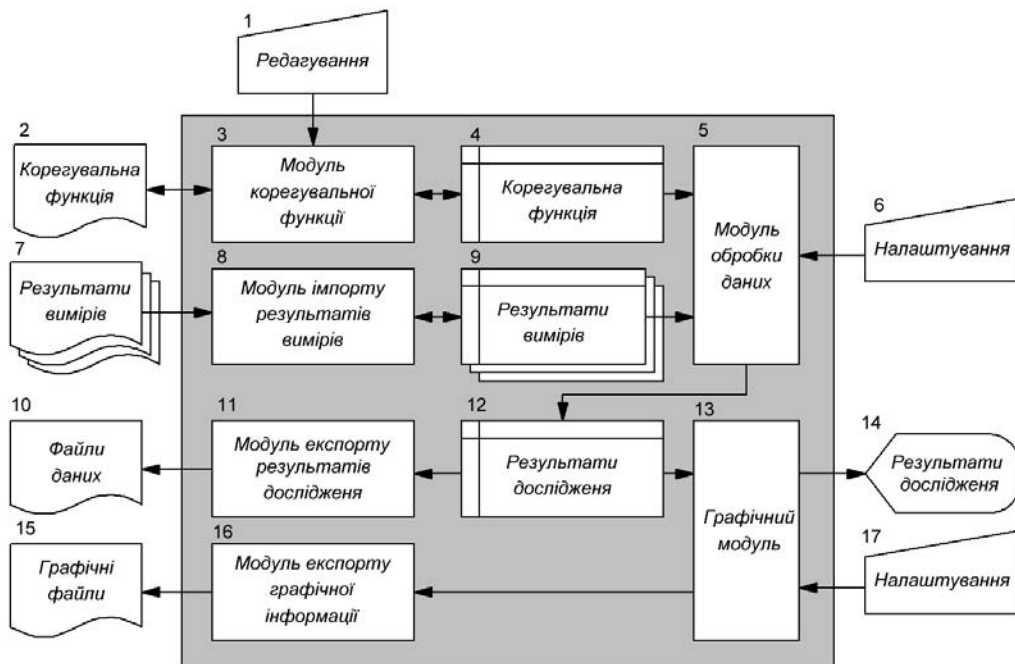


Рис. 2. Структурна схема спеціалізованого програмного забезпечення для обробки результатів досліджень

- статистичну обробку результатів досліджень.

Таким чином, разом із штатним програмним забезпеченням АКОР-ЗПК, розроблене спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє проводити необхідний комплекс операцій для проведення досліджень.

У якості досліджуваного ППЕЕ було обрано імпульсний стабілізатор напруги GF-9000 фірми «ООО ГОФЕР КОРПОРЕЙШН» [11], який має наступні технічні характеристики:

- кількість фаз – 1;
- діапазон робочої напруги – 100...290 В;
- максимальний споживаний струм – 50 А;
- частота перетворення 20 кГц.

Як видно із технічних характеристик, обраний ППЕЕ має високу максимальну напругу (290 В) та значний максимальний споживаний струм (50 А). Штатний еквівалент мережі, що входить до складу програмного комплексу АКОР-ЗПК дозволяє проводити вимірювання при максимальному значенні вхідної напруги 250 В, та максимальному струмі 10 А, що недостатньо для проведення вимірів у всьому діапазоні роботи ППЕЕ.

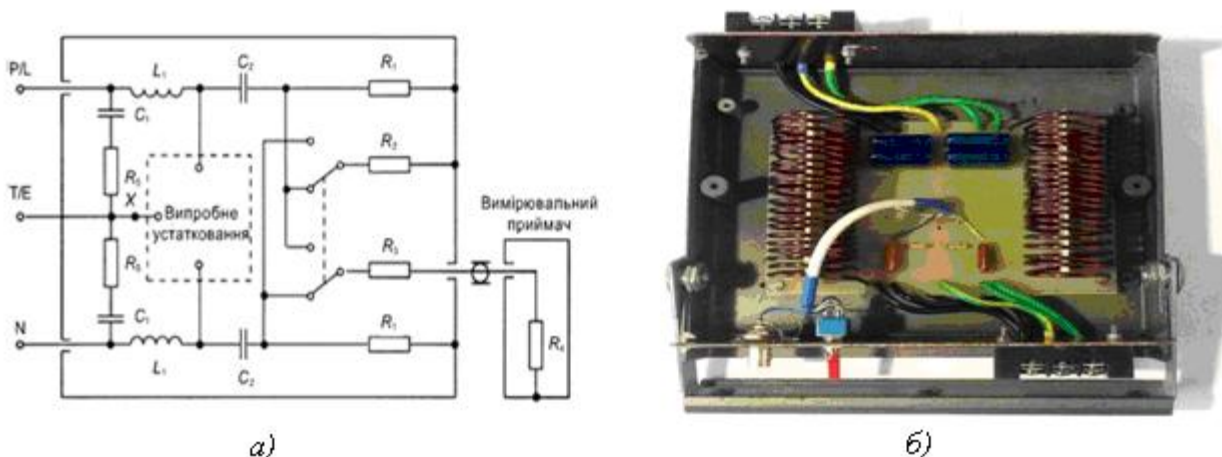


Рис. 3. Електрична схема – а, та зовнішній вигляд – б еквівалента мережі для вимірювання кондуктивних завод

Для проведення вимірів було створено еквівалент мережі, відповідно до [12], електрична схема та зовнішній вигляд якого показано на рис. 3. Для забезпечення необхідного діапазону робочої напруги у якості конденсаторів C_1 , C_2 були використані конденсатори типу JFB з максимальною робочою напругою постійного струму 630 В. Для забезпечення необхідного діапазону робочого струму дроселі L_1 були намотані проводом із сумарним перетином 8 мм^2 (2 проводи ПЕТ-155 з діаметром мідної проволочки $2,24 \text{ мм}$ з'єднанні паралельно), що забезпечує густину струму $6,25 \text{ А / мм}^2$ при максимальному споживаному струмі. Такий же самий перетин, і, відповідно, густину струму мають з'єднувальні провідники та контактні клеми

силових кіл створеного еквівалента мережі. Також були створені необхідні умови для охолодження силових елементів пристрою.

Таким чином, створений еквівалент мережі дозволяє проводити вимірювання рівня кондуктивних завад на фазному та нульовому проводі мережі при максимальному значенні робочої напруги 400 В (діюче значення) та максимальному споживаному струмі 50 А, що достатньо для проведення вимірів у всьому діапазоні роботи досліджуваного ІПЕЕ.

У цілому методика проведення вимірювання за допомогою комплексу АКОР-ЗПК полягає у наступному.

1. У програмному середовищі АКОР-ЗПК створюється список частот на яких буде проводитися вимірювання. Для детального дослідження рівня кондуктивних завад подібно проводити вимірювання з інтервалом по частоті не більшим ніж 10 кГц у діапазоні 150...1000 кГц, та 50 кГц у діапазоні 1...30 МГц (мінімально – 461 частота вимірювання). Для отримання приблизної оцінки рівня кондуктивних завад, що потребує менше часу на проведення вимірів, може бути використаний скорочений список із 234 частот (з інтервалами 20 кГц у діапазоні 150...1000 кГц, та 100 кГц у діапазоні 1...30 МГц). У разі необхідності список частот можливо зберегти у файл або завантажити із файлу за допомогою відповідних функцій програмного забезпечення комплексу АКОР-ЗПК.

2. Після створення або завантаження списку частот відбувається налаштування параметрів вимірювання. При вимірюванні рівня кондуктивних завад слід досліджувати як квазіпікове, так і середньоквадратичне значення сигналу. Полоса вимірювання, відповідно до [12] повинна бути не менше 9 кГц. Число кроків вимірювання (кількість вимірювань на даній частоті – статистична обробка результатів) зазвичай знаходиться у діапазоні 3...6.

3. Після налаштування параметрів вимірювання та проведення усіх процедур відповідно до регламенту роботи із комплексом АКОР-ЗПК (підключення кабелів, прогрівання тощо) відбувається запуск вимірювального комплексу для автоматичного проведення вимірів по заданому списку частот. Тривалість проведення залежить від кількості вимірюваних частот та кроків вимірювання. При використанні скороченого списку частот (234 частоти) по 3 кроки на кожен частоту, тривалість вимірювання складає приблизно 15 хвилин. Час проведення повного дослідження (461 частота, 6 кроків) перевищує 1 годину.

4. Після закінчення вимірів результати зберігаються у файл та передаються у спеціалізоване програмне забезпечення для відображення та остаточної обробки.

Аналіз результатів досліджень

Результати вимірів рівня кондуктивних завад на фазному затискачі ІПЕЕ змінного струму [11] отримані за допомогою комплексу АКОР-ЗПК та сертифікованої лабораторії ДП «Укрметртестстандарт» [13] за однаковими умовами роботи ІПЕЕ (вхідна напруга – 150 В, струм навантаження – 1 А) показані на рис. 4. Із графіків видно, що результати вимірів мають значну розбіжність, яка у діапазоні частот 1...10 МГц досягає 40 дБ.

Дану розбіжність можна пояснити в першу чергу нерівномірністю АЧХ вимірювального тракту апаратної частини комплексу АКОР-ЗПК, що добре видно у районі частоти 10 МГц, та нелінійністю АЧХ створеного еквівалента мережі. Для урахування нелінійності АЧХ вимірювального тракту у цілому (як апаратної частини АКОР-ЗПК, так і еквівалента мережі) результати вимірів були скореговані у спеціалізованому програмному забезпеченні за допомогою корегувальної функції, яка показана на рис. 5. На цьому ж рисунку показані результати вимірів рівня кондуктивної завади після корегування.

Як видно із графіків, після корегування середня розбіжність результатів вимірів не перевищує 5 дБ. Таке ж саме значення розбіжності результатів вимірів було отримано у результаті порівняльного аналізу результатів вимірів рівня кондуктивних завад на фазному та нульовому затискачах ІПЕЕ при інших режимах його роботи, які у даній статті, в силу обмеженого обсягу, не приводяться.

Таким чином, запропонований апаратно-програмний комплекс на основі АКОР-ЗПК цілком придатний для вимірювання рівня кондуктивних завад, і може бути використаний для рішення задач проектування та дослідження сучасних ІПЕЕ змінного струму.

Висновки

1. Запропонований апаратно-програмний комплекс на основі АКОР-ЗПК придатний для вимірювання рівня кондуктивних завад ІПЕЕ змінного струму. Апаратне забезпечення запропонованого комплексу дозволяє проводити виміри у діапазоні вхідної напруги ІПЕЕ максимально до 300 В (діюче значення) та максимальному споживаному струмі 50 А (діюче значення). Середня розбіжність результатів вимірювання порівняно із аналогічними результатами, отриманими у сертифікованій лабораторії, не перевищує 5 дБ.

2. Розроблено методику вимірювання рівня кондуктивних завад за допомогою запропонованого комплексу, яка дозволяє, шляхом формування необхідного списку частот, виконувати виміри як у діапазоні частот 0,15...30 МГц, так і окремих його ділянках з максимальною роздільною здатністю 1 кГц.

3. Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати групову обробку результатів вимірів, враховувати нелінійність АЧХ вимірювального тракту, експортувати результати вимірів у цифрових та графічних форматах.

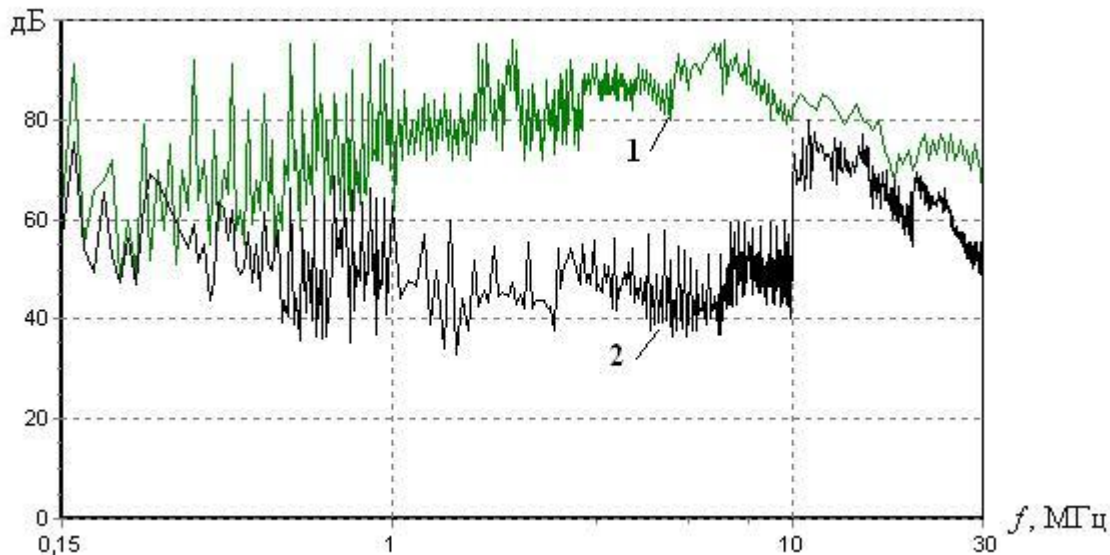


Рис. 4. Результати вимірів рівня кондуктивних завад ШЕЕ у лабораторії ДП «Укрметрестестандарт» – 1, та комплексом АКОР-ЗПК – 2

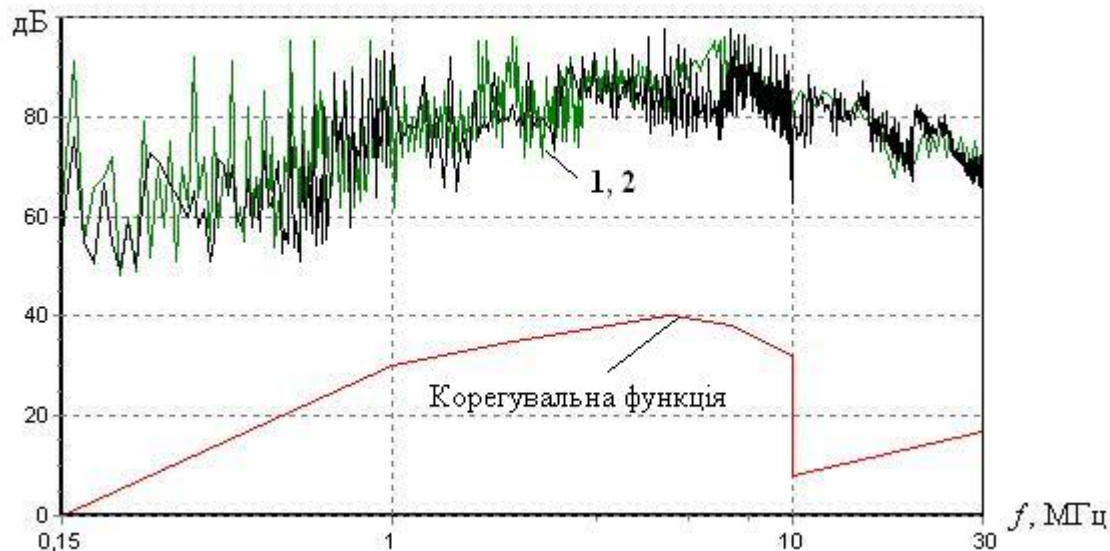


Рис. 5. Результати вимірів рівня кондуктивних завад ШЕЕ у лабораторії ДП «Укрметрестестандарт» – 1, та комплексом АКОР-ЗПК після корегування – 2

4. Запропонований апаратно-програмний комплекс може бути використаний при рішенні задач проектування та дослідження рівня кондуктивних завад ШЕЕ змінного струму та виконувати оцінку відповідності електромагнітної сумісності ШЕЕ сучасним нормативним документам.

Література

1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – [действителен от 1999-01-01]. – М.:Технический комитетом по стандартизации в области электромагнитной совместимости технических средств (ТК 30 ЭМС) 1997 – 33 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. Климов В. Стабилизаторы напряжения с двойным преобразованием энергии/ Климов В. // Электронные компоненты – 2009 – №5 – С. 15.
3. Кобзев А.В. Стабилизаторы переменного напряжения с высокочастотным широтно – импульсным регулированием/ А.В. Кобзев, Ю.М. Лебедев, Г.Я. Михайличенко. // – М.: Энергоатомизд. – 1986 г. – 152 с.
4. Зиновьев Г.С. Силовая электроника: учеб. пособие для бакалавров. 5-е изд., исп. и доп. / Зиновьев Г.С. // – М.: Юрайт, 2012. – 667 с.
5. Кадацкий А.Ф. Анализ энергетических процессов в импульсных преобразователях электрической энергии переменного тока / А.Ф. Кадацкий, А.П. Русу // Технология и конструирование в электронной аппаратуре (ТКЭА) – 2015. – №1. – С. 22 – 32.

6. Русу О.П. Спосіб перетворення напруги / О.П.Русу, С.О. Дігол // Патент України на корисну модель на корисну модель UA 68951. – 2012 р.
7. Русу О.П. Перетворювач напруги / О.П.Русу, С.О. Дігол // Патент України на корисну модель на корисну модель UA 68952. – 2012 р.
8. Електромагнітна сумісність. Частина 6-3. Родові стандарти. Емісія завод у житловому і торговому середовищах та у виробничих зонах з малим енергоспоживанням (IEC 61000-6-3:2006, IDT): ДСТУ IEC 6100-6-3-2007 – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. — 12 с. — (Національний стандарт України).
9. НТЦ «Квант» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://akor.com.ua>
10. Русу А.П. Использование динамически подключаемых библиотек для моделирования электрических процессов радиотехнических устройств. / А.П. Русу // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – №1. – С. 143–147.
11. Стабилизатор импульсный с функцией выбора напряжения GF-9000 [Электронный ресурс] – Режим доступу: <http://gofer.ua/product/stabilizator/>
12. Технічні вимоги до апаратури та методів вимірювання радіозавод і несприйнятливості. Частина 1. Апаратура для вимірювання радіозавод і несприйнятливості (CISPR 16-1:2002, IDT): ДСТУ CISPR 16 - 1:2005 – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. — 170 с. — (Національний стандарт України).
13. ДП «Укрметрестандарт» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrcsm.kiev.ua>

References

1. Elektricheskaya ehnergija. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv ehlektromagnitnaya. Normy kachestva ehlektricheskoy ehnergii v sistemah ehlektrosnabzheniya obshchego naznacheniya: GOST 13109-97. – [deystvitelen ot 1999-01-01]. – М.:Tekhnicheskij komitetom po standartizacii v oblasti ehlektromagnitnoj sovmestimosti tekhnicheskikh sredstv (TK 30 EHMS) 1997. – 33p. – (Mezhgosudarstvennyj standart).
2. Klimov V. Stabilizatory napryazheniya s dvoynym preobrazovaniem ehnergii/ Klimov V. // EHlektronnye komponenty – 2009. – №5. – 15p.
3. Kobzev A.V. Stabilizatory peremennogo napryazheniya s vysokochastotnym shirotno – impul'snym regulirovaniem/ A.V. Kobzev, YU.M. Lebedev, G.YA. Mihajlichenko. // – М.: Energoatomizd. – 1986 g. – 152 p.
4. Zinov'ev G.S. Silovaya ehlektronika: ucheb. posobie dlya bakalavrov. 5-e izd., isp. i dop. / Zinov'ev G.S. // – М.: YUrajt, 2012. – 667 p.
5. Kadackij A.F. Analiz ehnergeticheskikh processov v impul'snyh preobrazovatelyah ehlektricheskoy ehnergii peremennogo toka / A.F. Kadackij, A.P. Rusu // Tekhnologiya i konstruirovanie v ehlektronnoj apparature (TKEHA) – 2015. – №1. – pp. 22 – 32.
6. Rusu O.P. Sposib peretvorenniya naprugi / O.P.Rusu, S.O. Digol // Patent Ukraїni na korisnu model' na korisnu model' UA 68951. – 2012.
7. Rusu O.P. Peretvoryuvach naprugi / O.P.Rusu, S.O. Digol // Patent Ukraїni na korisnu model' na korisnu model' UA 68952. – 2012.
8. Elektromagnitna sumisnist'. CHastina 6-3. Rodovi standart. Emisiya zavod u zhitlovomu i trgovomu seredovishchah ta u virobnychih zonah z malim energospozhivannyam (IEC 61000-6-3:2006, IDT): DSTU IEC 6100-6-3-2007 – [CHinnij vid 2008-01-01]. – К.: Derzhspozhivstandart Ukraїni, 2008. — 12 p. — (Nacional'nij standart Ukraїni).
9. NTC «Kvant» [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://akor.com.ua>
10. Rusu A.P. Ispol'zovanie dinamicheski podklyuchaemyh bibliotek dlya modelirovaniya ehlektricheskikh processov radiotekhnicheskikh ustrojstv. / A.P. Rusu // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2010. – №1. – pp. 143–147.
11. Stabilizator impul'snyj s funkciej vybora napryazheniya GF-9000 [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupu: <http://gofer.ua/product/stabilizator/>
12. Tekhnichni vimogi do aparaturi ta metodiv vimiryuvannya radiozavod i nespriyvatlivosti. CHastina 1. Aparatura dlya vimiryuvannya radiozavod i nespriyvatlivosti (SISRR 16-1:2002, IDT): DSTU CISPR 16 1:2005 – [CHinnij vid 2005-01-01]. – К.: Derzhspozhivstandart Ukraїni, 2005. — 170 p. — (Nacional'nij standart Ukraїni).
13. DP «Ukrmetrteststandart» [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://www.ukrcsm.kiev.ua>

Рецензія/Peer review : 23.5.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

CALCULATION OF ESSENTIAL CHARACTERISTICS FOR EM SIGNAL TRANSPORTING ALONG LINEAR NANO-SCALE Ag/Au/Cu-WAVEGUIDES IN SiO₂

Abstract – Propagation of surface dipole oscillations along a linear chain composed of spherical nanoparticles of noble metals is considered. It was calculated the EM signal longitudinal group velocities $V_{gr,Z}$ and the effective lengths L_z of the signal “run” along nano-scale 1D-waveguides which are composed of Ag/Au/Cu nanospheres at different temperatures and at the most frequently used parameters of such waveguides placed into SiO₂: the values are in good agreement with experimental data. The fact can be used to transfer information over relatively large distances: $L_z > 2 \mu\text{m}$, i.e. over the distances which exceed 200 periods of the nanoscale linear structure.

Keywords: surface dipole oscillations, metal nanoparticles, nanoscale waveguides.

A.O. ЧЕПОК

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

РАСЧЕТ ГРУППОВОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭМ СИГНАЛА ВДОЛЬ НАНОМАСТАБНЫХ Ag/Au/Cu-ВОЛНОВОДОВ, ПОГРУЖЕННЫХ В SiO₂

Рассмотрено распространение поверхностных дипольных колебаний вдоль линейной цепочки, составленной из сферических наночастиц благородных металлов. Вычислены продольные скорости $V_{gr,Z}$ прохождения ЭМ сигнала и эффективные длины L_z «пробега» сигнала вдоль наноразмерных Ag/Au/Cu-волноводов при различных температурах и наиболее часто используемых параметрах такого рода волноводов, погруженных в SiO₂: полученные расчеты находятся в хорошем согласии с экспериментом. Этот факт может быть использован для передачи информации на сравнительно большие расстояния: $L_z > 2 \mu\text{м}$, т.е. на расстояния, превышающие 200 периодов такой линейной структуры.

Ключевые слова: поверхностные дипольные колебания, металлические наночастицы, наноразмерный волновод.

Introduction

Recent experimental and theoretical studies of plasma oscillations in metallic nanoparticles produce various techniques which can be used for signal transporting, and these phenomena are also of great practical importance [1], because such systems can be assigned to nanoscale waveguides which are possible basis for development of new generation of optical communication systems [2, 3]. One-dimensional ordered arrays of noble metal (Au, Ag, Cu) spherical nanoparticles are successfully considered as waveguides that are suitable for these purposes. It is well established that the nanoparticles of noble metals support plasmon resonances within a wide frequency range (UV → visible → near IR) [2-5].

Most frequently one investigates the properties of plasma 1D-waveguides consisting of noble metal nanospheres with a diameter of 40-50 nm or of similar size [2, 3, 6]. Now it is the well known fact, that propagating plasma oscillations which arise in the “chain” due to the external electromagnetic wave source (generator), do not decay eventually, and the greatest amplitudes of the plasma waves appear at the resonance frequencies [5-8].

Since the signal transporting issue along nanoscale waveguides placed in different dielectric host is very important, is necessary to know a lot of the technological parameters of these devices within a wide range of temperatures.

The aim of this work was to establish dependences of some basic parameters of the signal transportation along the described nanoscale waveguides in the form of a linear array (“nano-chains”) which are composed of metallic nanospheres and they are merged into a dielectric medium – SiO₂.

On plasma oscillations waveguiding: Theory

Consider an infinite chain composed of noble metal nanoparticles of spherical shape of radius a and the chain is hosted in a dielectric medium with dielectric constant of 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, as it shown in Fig. 1). 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 $\vec{E}_0(0; z; t)$, in this case $\vec{E}_0(0; z; t) = \vec{E}_0(0; -z; t)$.

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:

$$\vec{E}_{0z}(0;ld;t) = \lim_{z \rightarrow ld} E_{0z}(0;z;t).$$

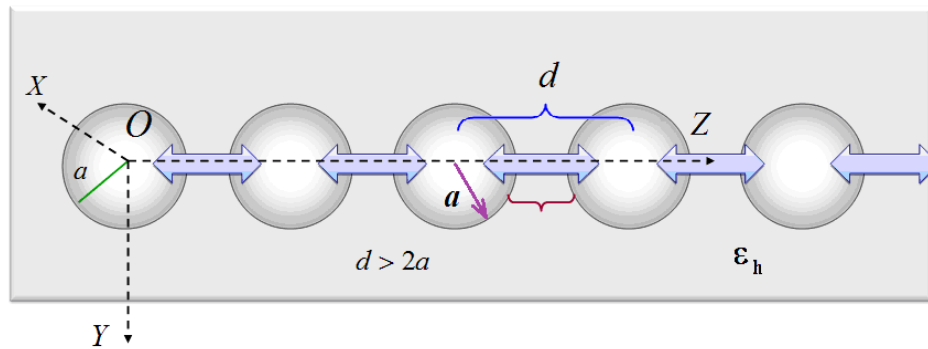


Fig. 1 : a schematic representation of the linear array of metallic nanospheres of radius a , which are spaced by a distance of d and are placed in SiO_2

It means that at the center of each metal nanoparticles (see [6, p. 124322, Eq. (27)]) it will arise additional dipole moments, committing with time compelled transverse and longitudinal vibrations.

From a theoretical viewpoint (see [4-6]), the dipole moment $\vec{D}(\vec{R},t)$ located at the point \vec{R} radiates an electric field with its intensity at a point $(\vec{R} + \vec{R}_0)$ of:

$$\vec{E}(\vec{R};\vec{R}_0;t) = \frac{1}{\varepsilon_h} \left(-\frac{1}{R_0^3} - \frac{1}{R_0^2} \frac{1}{V_h} \frac{\partial}{\partial t} - \frac{1}{R_0} \frac{1}{V_h^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \times \\ \times \vec{D}(\vec{R};t - R_0/V_h) + \frac{1}{\varepsilon_h} \left(\frac{3}{R_0^3} + \frac{3}{R_0^2} \frac{1}{V_h} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{1}{R_0} \frac{1}{V_h^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \vec{n}_0 \cdot (\vec{n}_0 \cdot \vec{D}(\vec{R};t - R_0/V_h)),$$

where $\vec{n}_0 = \vec{R}_0/R_0$, $V_h = c/\sqrt{\varepsilon_h}$.

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 (it is about Lorentz force, see [4, 5]). 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 [4-6]):

$$\vec{E}_L(ld,0,t) = \frac{2e\sqrt{\varepsilon_h}}{3c^3\varepsilon_h} \frac{\partial^3 \vec{D}(ld,t)}{\partial t^3} = \frac{2}{3d^3\varepsilon_h} \left(\frac{d}{V_h} \right)^3 \frac{\partial^3 \vec{D}(ld,t)}{\partial t^3}.$$

Thus, the equations describing the behavior of the dipole moment $\vec{D}_z(ld,t)$ along the longitudinal direction (Z axis) of the particle with index l are of the form (see [6, p. 124322, see Eq. (28-29)]):

$$\frac{\partial^2 D_z(ld,t)}{\partial t^2} + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial D_z(ld,t)}{\partial t} + \omega_1^2 D_z(ld,t) = \varepsilon_h a^3 \omega_1^2 \left(\sum_{\substack{m=-\infty \\ (m \neq l)}}^{+\infty} E_z(R_m, R_{ml}, t) + E_{Lz}(ld,0,t) + E_{0z}(0,ld,t) \right), \quad (1)$$

where $\tau_0 = \left(\frac{V_F}{2\lambda_b} + \frac{V_F}{2a} \right)^{-1}$ 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

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} D_z(ld,t) + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial}{\partial t} D_z(ld,t) + \omega_1^2 D_z(ld,t) = \\ = 2\omega_1^2 \frac{a^3}{d^3} \left[\sum_{\substack{m=-\infty \\ (m \neq 0)}}^{+\infty} \left(\frac{1}{|m|^3} + \frac{d}{V_h |m|^2} \frac{\partial}{\partial t} \right) \cdot D_z \left(md + ld; t - \frac{|m|d}{V_h} \right) + \frac{d^3}{3V_h^3} \frac{\partial^3}{\partial t^3} D_z(ld;t) \right] + \varepsilon_h a^3 \omega_1^2 E_{0z}(0;ld;t).$$

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:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} D_z(z, t) + \frac{2}{\tau_0} \frac{\partial}{\partial t} D_z(z, t) + \omega_1^2 D_z(z, t) =$$

$$= 2\omega_1^2 \frac{a^3}{d^3} \left[\sum_{\substack{m=-\infty \\ (m \neq 0)}}^{+\infty} \left(\frac{1}{|m|^3} + \frac{d}{V_h |m|^2} \frac{\partial}{\partial t} \right) \cdot D_z \left(md + z; t - \frac{|m|d}{V_h} \right) + \frac{d^3}{3V_h^3} \frac{\partial^3}{\partial t^3} D_z(z; t) \right] + \varepsilon_h a^3 \omega_1^2 E_{0z}(0; z; t).$$

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.

Next we suppose that the external electric field is turned off at the moment of T .

A way to solve this DE is described in detail in [9]. 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]):

$$D_z(ld, t) = \frac{\varepsilon_h a^3 \omega_1^2}{\tilde{\omega}'_z(\pi)} \frac{2\Delta k}{\exp(t/\tau_0)} \times$$

$$\times \text{Im} \left[F_z(k_0, T) \frac{\sin \left(ld - t\Delta k \cdot \left. \frac{d\tilde{\omega}'_z}{dk} \right|_{\pi/d} \right)}{ld - t\Delta k \cdot \left. \frac{d\tilde{\omega}'_z}{dk} \right|_{\pi/d}} \right] \cdot [\exp(i\tilde{\omega}'_z(\pi) \cdot t + ik_0 ld) + \exp(i\tilde{\omega}'_z(\pi) \cdot t - ik_0 ld)], \quad (2)$$

here we have denoted: $k_0 = \Delta k = \pi/d$.

On signal propagation along nano-waveguides: Results

From Eq. (2) 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:

$$D_z(ld, t) = \varepsilon_h \frac{a^3 \omega_1^2}{\tilde{\omega}'_z(\pi)} (-1)^l \cdot \frac{\sin(\tilde{\omega}'_z(\pi) \cdot t)}{\exp(t/\tau_0)} \cdot \frac{\sin(\pi l - \pi t \cdot V_{gr,Z}/d)}{\pi \cdot (l - t \cdot V_{gr,Z}/d)} \cdot \int_0^T \exp(t_1/\tau_0) E_{0z}(0; 0; t_1) dt_1, \quad (3)$$

From the eq. (3) 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, may be called signal propagation “effective length” L_z : this distance can be regarded as an effective because of losses of signal power during its propagation at this length along considered nanoscale waveguides do not exceed 5% of its initial level [3, 9].

Some basic characteristics of nanoscale waveguides were calculated *ab initio* within theoretical viewpoints, published in [4, 7, 9]. After Fourier transformation of Eq. (3) 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 presented characteristics of the waveguides

were calculated at resonant frequencies for the given array configurations, and also for the parameters listed below – for a given temperature, the different radii a and the distances d between the centers of the particles.

Table 1

The values of the longitudinal group velocities $V_{gr,Z}$ and signal propagation lengths L_z for nanoscale Ag/Au/Cu-waveguides hosted in SiO_2 ($T = 300$ K):

radius a , nm	the signal group velocity $V_{gr,Z}$ at $d/a=2,5$			the signal propagation effective length L_z , μm		
	$V_{gr,Z}$, (Ag)	$V_{gr,Z}$, (Au)	$V_{gr,Z}$, (Cu)	L_z , (Ag)	L_z , (Au)	L_z , (Cu)
5	$0,025 \cdot c$	$0,025 \cdot c$	$0,031 \cdot c$	0,050	0,048	0,052
15	$0,099 \cdot c$	$0,099 \cdot c$	$0,141 \cdot c$	0,493	0,455	0,578
25	$0,363 \cdot c$	$0,355 \cdot c$	$0,183 \cdot c$	2,631	2,283	1,051
35	$0,077 \cdot c$	$0,075 \cdot c$		0,695	0,579	

radius a , nm	the signal group velocity $V_{gr,Z}$ at $d/a=3,0$			the signal propagation effective length L_z , μm		
	$V_{gr,Z}$, (Ag)	$V_{gr,Z}$, (Au)	$V_{gr,Z}$, (Cu)	L_z , (Ag)	L_z , (Au)	L_z , (Cu)
5	$0,018 \cdot c$	$0,018 \cdot c$	$0,022 \cdot c$	0,035	0,034	0,037
15	$0,082 \cdot c$	$0,083 \cdot c$	$0,143 \cdot c$	0,412	0,381	0,586
25	$0,103 \cdot c$	$0,102 \cdot c$	$0,031 \cdot c$	0,748	0,653	0,176

radius a , nm	the signal group velocity $V_{gr,Z}$ at $d/a=3,5$			the signal propagation effective length L_z , μm		
	$V_{gr,Z}$, (Ag)	$V_{gr,Z}$, (Au)	$V_{gr,Z}$, (Cu)	L_z , (Ag)	L_z , (Au)	L_z , (Cu)
5	$0,013 \cdot c$	$0,013 \cdot c$	$0,017 \cdot c$	0,026	0,025	0,028
15	$0,080 \cdot c$	$0,081 \cdot c$	$0,122 \cdot c$	0,402	0,374	0,498
25	$0,027 \cdot c$	$0,026 \cdot c$		0,195	0,167	

Remarks: here c – the speed of light in vacuum; for presented in the Table #1 calculations it was taken the following basic conditions: temperature = 27 °C; supposed dielectric medium is SiO_2 .

Carried out calculations show that for all three materials from which the waveguides are made of, there are sharp peaks (spikes) of longitudinal group velocities of signal transmission, and the growth of this ratio d/a shifts the peak considerably towards nanospheres with smaller diameter (see Fig. 2). And according to obtained results this dependence of the longitudinal group velocity for each of the investigated material is strictly individual.

The noticeable difference in dependence of the longitudinal group velocity on the radius of nanospheres and the distance between of their centers, as the author believes, is caused by the differences in the electronic structure of atoms of matter the chain was made of.

On the temperature dependence of signal group velocity

To answer the question of the stability of the signal transportation parameters as it runs along nanoscale waveguides when the ambient temperature changes, the corresponding calculations were performed. In forming the “temperature effect” on the signal running along nano-waveguides one of the main roles is played by a specific time τ_0 – the decay time of plasma oscillations (see Eq. (1)).

Obtained dependence concerning to group velocities proved to be very weak (see Fig. 3): below we can see the situation for Ag nanochains (in SiO_2) within the temperature range from -10 °C to 300 °C. A similar pattern can be seen for other noble metals placed in the host.

Summary

In this paper, the subject of the study was the spread of EM signal along a 1D-array which is 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 [1, 3, 7, 8] and it can be used to transfer information over

relatively large distances: $L_{chain} > 2 \mu\text{m}$, i.e. over the distances which exceed 200 periods of the nanoscale linear structure.

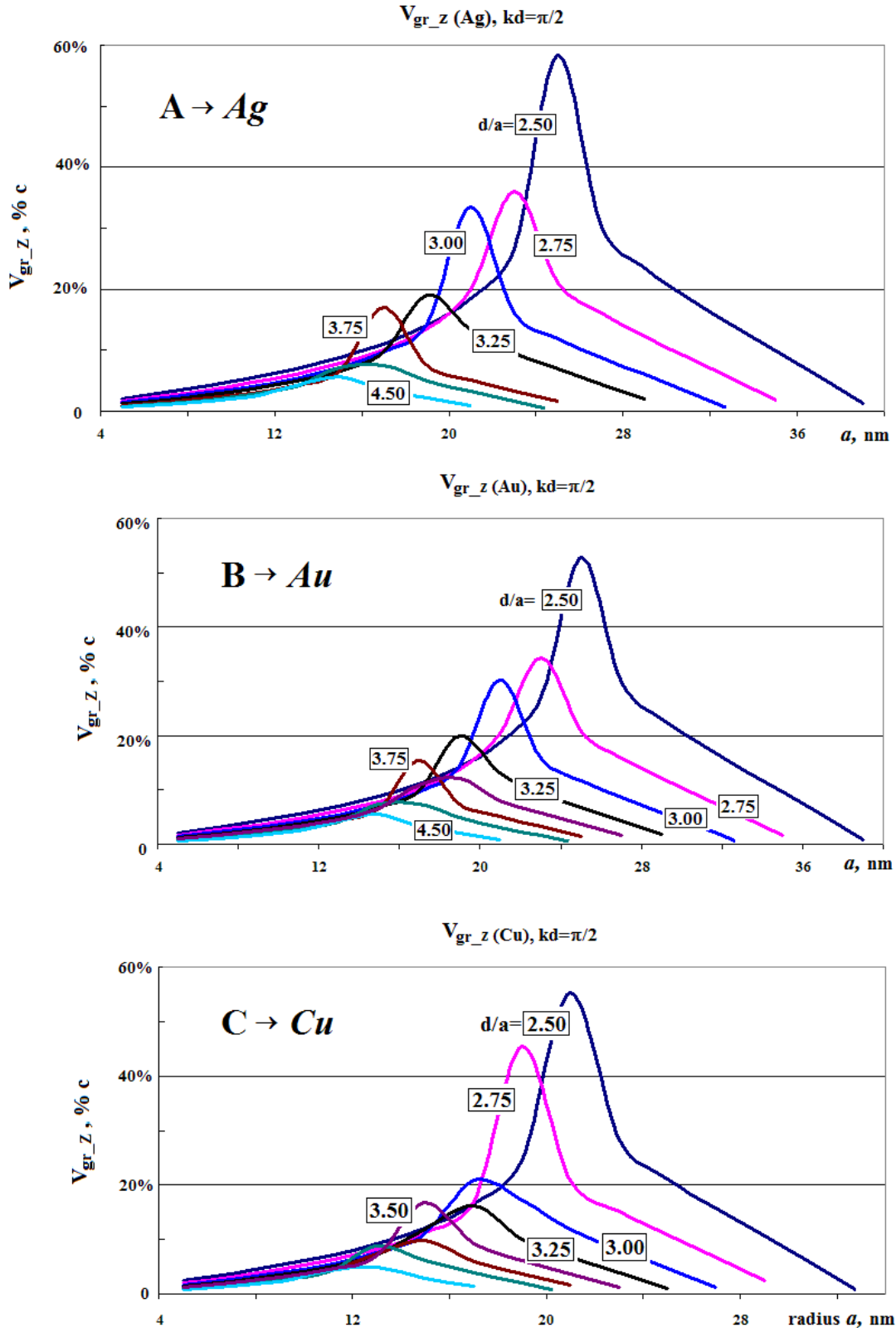


Fig. 2 : the variation of the longitudinal group velocity $V_{gr,Z}$ of EM signal propagation along a silver nanochain (A), and a gold one (B), and a copper one (C), influenced by the geometric parameters¹ of the 1D-array hosted in SiO₂ (T=300 K)

¹ different radii a of metallic nanospheres and different distances d between them (the d/a ratio)

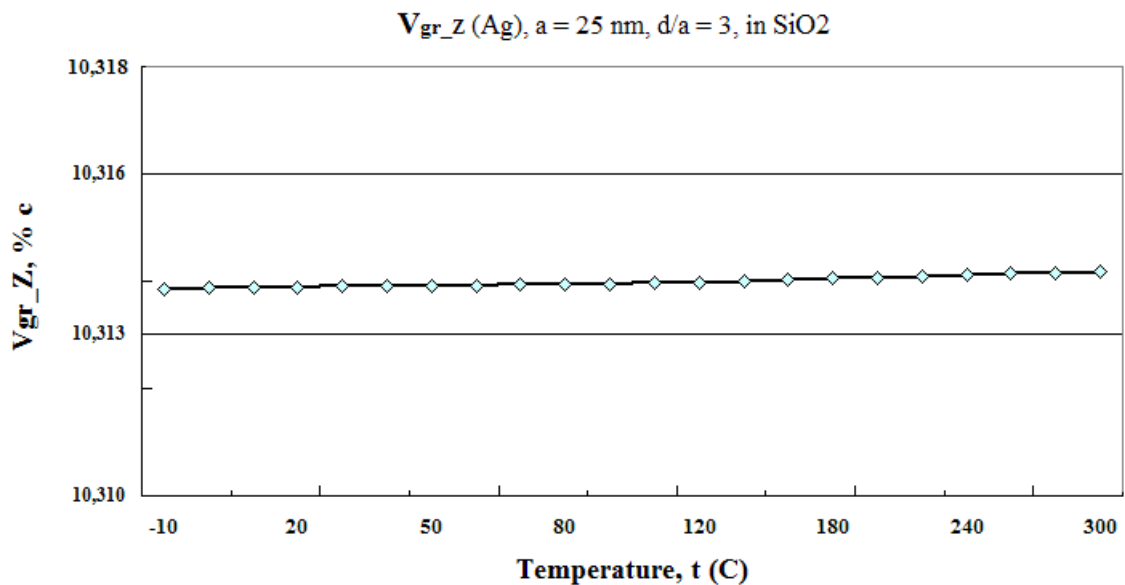


Fig. 3 : The temperature dependence of the longitudinal group velocity of EM transmission along nanoscale *silver* waveguides composed of nanospheres with the radius $a=25 \text{ nm}$ ($d/a=3$) in SiO_2

It was calculated the longitudinal group velocity $V_{gr,Z}$ of the signal running along the considered nanoscale Ag/Au/Cu-waveguides and the “effective” length of the signal propagation L_z along the linear array of nanoparticles at the wide range of temperatures (placed into supposed dielectric medium of SiO_2). The presented results clearly show the significant dependence of the longitudinal group velocity $V_{gr,Z}$ of the signal running along one-dimensional arrays of nanoparticles (as well as the “effective” length L_z) on the geometric characteristics of the waveguides (see Table 1).

It should also be noted the obvious temperature-stable characteristics of signal running along the described nanowaveguides.

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

1. Plasmonics – Principles and Applications, edited by Ki Young Kim Publisher: InTech, 2012, 558 pp. – ISBN 978-953-308-91-2.
2. 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.
3. S.A. Maier, P.G. Kik, H.A. Atwater, “Optical pulse propagation in metal nanoparticle chain waveguides”, Phys. Rev. B 67 (2003) 205402.
4. L. Jacak, Y.P. Krasnyj, A.O. Chepok, “On plasmon oscillations in metal nanoparticles”, Low Temperature Physics 35, 383 (2009).
5. 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].
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. J. 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> .

Рецензія/Peer review : 25.9.2015 р.

Надрукована/Printed : 4.7.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ІДЕНТИФІКАТОРИ ЧАСТОТИ ЗІГ СВІП-ГЕНЕРАТОРА

В статті звернуто увагу на те, що в ЗІГ свіп-генераторах панорамних вимірювачів частотних характеристик встановлюють вузли визначення частоти. Вони складні і мають недостатню швидкодію. З метою усунення цих недоліків в роботі пропонуються схеми ідентифікаторів частоти ЗІГ свіп-генератора, пояснено принцип їх роботи, наведені часові діаграми. Звернуто увагу на їх переваги та недоліки. Запропоновано вдосконалену схему ідентифікатора, в якій реалізовано автоматичне астатичне слідування за частотою генератора гармонік. Розроблено математичну модель петлі регулювання.

Ключові слова: ЗІГ резонатор, частотні мітки, формувач міток, генератор гармонік, свіп-генератор, стробоскопічний змішувач.

S.P. KONONOV, M.M. MYRHORODSKYI
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

FREQUENCY IDENTIFIERS YIG SWEEP-GENERATOR

The article referred to the fact that YIG sweep-generator panoramic gauges frequency characteristics installed knots determining the frequency. They are complex and have insufficient speed. In order to address these shortcomings in the proposed scheme identifiers frequency YIG sweep-generator, explained how they work given time chart. Pay attention to their advantages and disadvantages. The improved scheme identifier, which astatic implemented automatic tracking at the frequency generator harmonics. Designed the mathematical model loop control.

Keywords: YIG resonator, frequency marks, shaper marks, harmonics generator, sweep-generator, stroboscopic mixer.

Вступ

З метою підвищення ефективності визначення різних параметрів радіоелектронних пристроїв широко застосовуються панорамні вимірювачі, в тому числі і частотних характеристик. В таких вимірювачах важливим є отримання точної інформації про частоту свіп-генератора, який входить до його складу. В статті розглядаються прості за принципом дії, достатньо точні ідентифікатори частоти свіп-генератора, задача яких сформувані масштабні мітки з відомою частотою на виході панорамного вимірювача.

Постановка задачі

Сучасні панорамні вимірювачі частотних характеристик використовують свіп-генератор на основі ЗІГ резонатора, який має непогані електричні характеристики: мультиоктавність, високу лінійність та стабільність розгортання частоти. Але в промислово виробляємих свіп-генераторах на основі ЗІГ резонатора [1] відсутні відомості про частоту. Для усунення цього недоліку до ЗІГ свіп-генератора додають спеціальні вузли частотної ідентифікації, які реалізовані за різними способами [2,3]. Вони достатньо складні, мають низьку швидкодію. Тому актуальним є розробка простих, швидкодіючих ідентифікаторів частоти свіп-генератора.

Способи вирішення

Простий ідентифікатор частоти свіп-генератора [4] (рис. 1) працює наступним чином: від блока керування та обчислення (БКО) на вхід блока перестройки (БП) надходить імпульсна напруга $U_{1БКО}$ (рис. 1, б), яка запускає процес формування змінної напруги прямого ходу розгортки. Під час дії імпульсу $U_{1БКО}$ відбувається зворотний хід розгортки блока перестройки.

Частота f_{CF} вихідної напруги ЗІГ свіп-генератора (СГ), підключеного до входів стробоскопічних змішувачів (СЗ), змінюється під час прямого ходу напруги розгортки блоку перестройки за подібним до зміни напруги законом від мінімального f_{min} до максимального f_{max} значення (рис. 1, в).

Гармоніки вихідної напруги генераторів гармонік (ГГ) розподілені рівномірно в робочому діапазоні частот з кроком f_0 , $f_0 + F$, відповідно. На виході змішувача СЗ1 будуть спостерігатися „нульові биття”, за якими формувач міток (ФМ) формує імпульси міток на вході блока керування та обчислення (рис. 1, г), що відповідають частотам nf_0 та $(n+1)f_0$, де n – номер гармоніки генератора гармонік. Після появи першої мітки від формувача міток, блок БКО подає на керувач (К) напругу вмикання (рис. 1, д), завдяки чому починає діяти зворотний зв'язок регулювання частотою першої гармоніки генератора гармонік ГГ2. Її частота починає змінюватися від початкової f_0 ($F = 0$) до кінцевої $f_0 + F$ (рис. 1, е). Процес регулювання завершується з появою другої мітки від формувача міток (рис. 1, г-е). Зворотний зв'язок регулювання підтримує „нульові биття” на виході фільтра нижніх частот (ФНЧ). В результаті, в момент появи другої мітки (рис. 1, г) виконується умова $(n+1)f_0 = n(f_0 + F)$ або $n = f_0/F$. Частота свіп-генератора, що

відповідає в часі першій мітці, $f_M = nf_0$. Тому $f_M = f_0^2 / F$. Після цього за відомим кроком міток f_0 визначаються частоти всіх міток, правильно формується частотний масштаб на виході панорамного вимірювача із ЗП свіп-генератором.

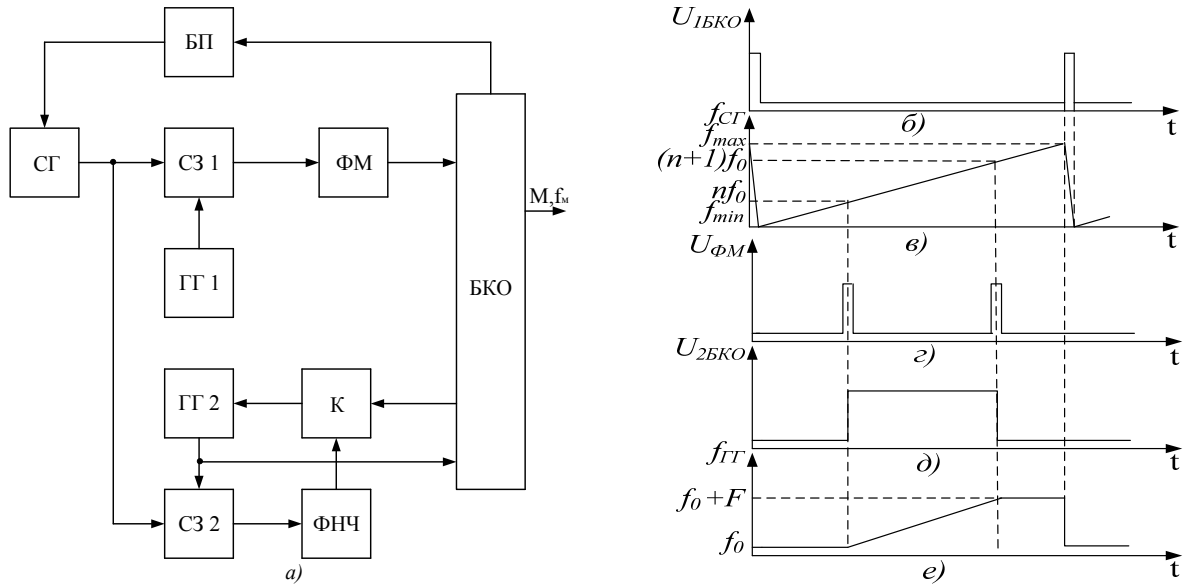


Рис. 1. Проста схема ідентифікатора частоти свіп-генератора а, часові залежності напруг і частот б-е

Частота F , на яку відрізняються частоти перших гармонік генераторів гармонік, вимірюється в блоці БКО. Розглянутий процес повторюється з частотою, що зворотна періоду розгортки.

В такому ідентифікаторі визначення частоти відбувається за часовий проміжок не менший інтервалу між появами двох сусідніх міток (рис. 1, г). Тобто він, при смузі гойдання трохи більший за f_0 , може бути сумірним з періодом розгортки. Крім того, смуга гойдання свіп-генератора не може бути вужче за f_0 . Це, не зважаючи на простоту ідентифікатора (рис. 1), є його недоліками.

Покращений ідентифікатор частоти ЗП свіп-генератора зображений на рис. 2. Він відрізняється від попереднього кращою швидкістю, що досягається за рахунок введення подільника частоти (ПЧ), фільтра нижніх частот (ФНЧ1), стробоскопічного змішувача (ЗМ3) і суматора (Σ). Таке доповнення дає можливість визначити частоту свіп-генератора за час від появи першої мітки до появи додаткової на виході суматора не очікуючи другу (рис. 2, в).

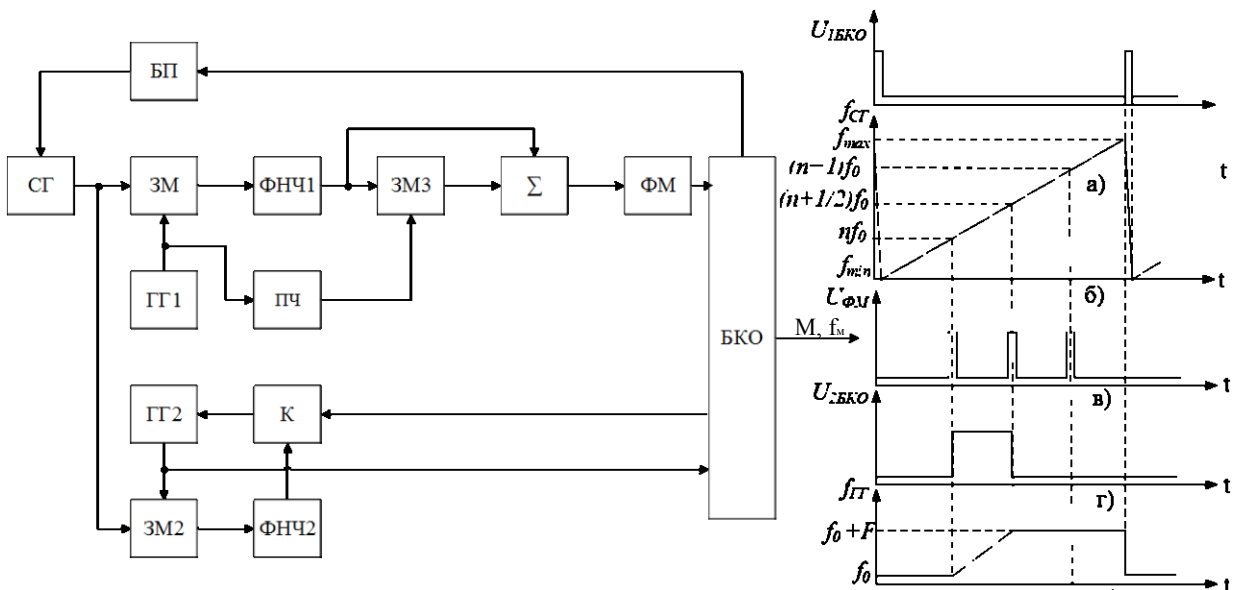


Рис. 2. Покращена схема ідентифікатора частоти свіп-генератора, часові залежності напруг і частот а-г

В ідентифікаторі частоти свіп-генератора (рис. 2) на відміну від схеми (рис. 1) додаткові „нульові биття” будуть спостерігатися на виході змішувача ЗМ3, коли частота на виході фільтра нижніх частот

ФНЧ1 зі смугою пропускання $\frac{f_0}{2}$ і частота гармоніки з виходу подільника ПЧ з коефіцієнтом поділу $N=2,3,4\dots$ (рис. 2, в наведений для $N=2$) співпадають [5]. В результаті, на виході суматора з'являються не тільки основні, а і додаткові мітки.

У блоці БКО визначення частоти за формулою $f_M = \frac{f_0^2}{NF}$ починається після додаткової мітки, тобто час виміру суттєво скорочується, але умовою нормальної роботи ідентифікатора є поява основної мітки за період розгортки. Це означає, що смуга гойдання сін-генератора не може бути зменшена.

Подальше зменшення часу виміру частоти і смуги гойдання ЗІГ свіп-генератора досягається у вдосконаленому ідентифікаторі (рис. 3). Це відбувається за рахунок введення у вимірювальний канал подільника частоти (ПЧ), двох змішувачів (ЗМ2, ЗМ3), двох фільтрів нижніх частот (Ф2, Ф3), суматора (Σ), генератора (Г2), частотного детектора (ЧД) і інтегратора (І). Стає можливим визначити частоту свіп-генератора за час між двома будь-якими основними або додатковими мітками, не обов'язково між першою основною і наступною як в попередніх схемах (рис. 1,2).

Після визначення абсолютної частоти опорної мітки $f_{M0} = \frac{f_0}{N} \left[\frac{f_0}{F} + i \cdot \text{sign}(f') \right]$ за час менший періода розгортки стає відомою частотна шкала. В формулі через f_0 позначена частота генератора ГГ опорного каналу, F – зсув частоти генератора ГГ вимірювального каналу, N – коефіцієнт поділу подільником ПЧ, f' – похідна зміни частоти напруги на виході фільтра Ф опорного каналу, $i = 0, 1, \dots, \frac{N-1}{2}$.

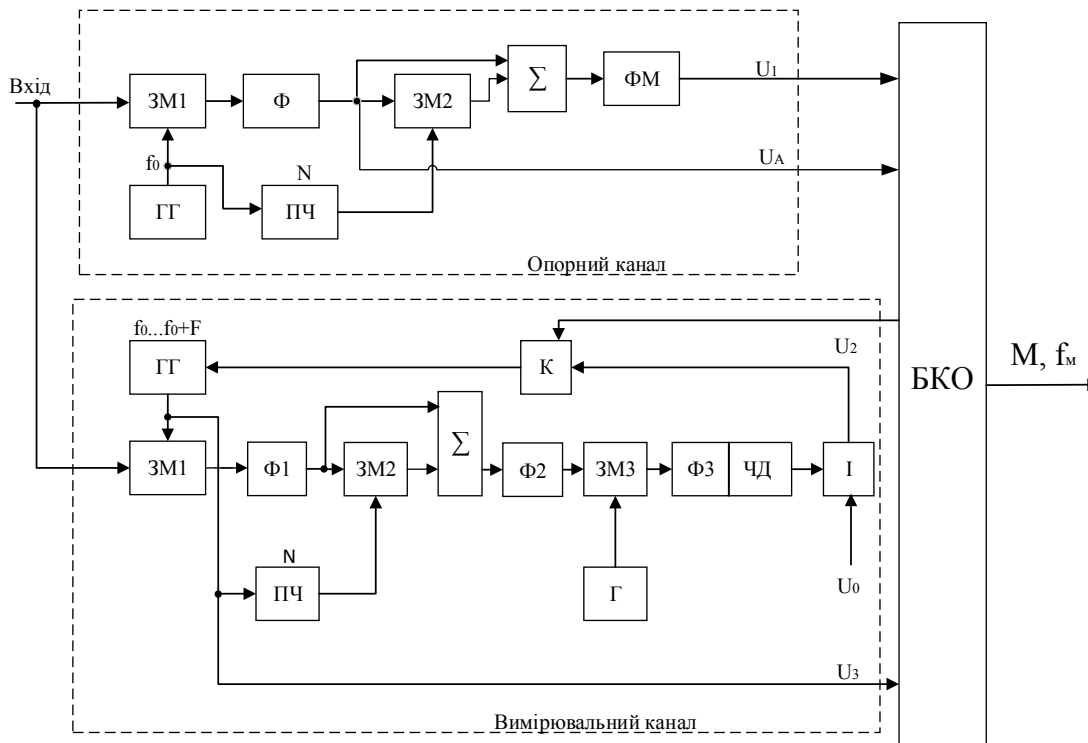


Рис. 3. Вдосконалена схема ідентифікатора частоти свіп-генератора

В ідентифікаторі (рис. 3) реалізовано автоматичне астатичне слідування за частотою свіп-генератора. Напряга керування генератором ГГ вимірювального каналу є інтегралом вихідної напруги детектора ЧД. «Нульові биття» від фільтра Ф2 розбалансовують односмуговий модулятор ЗМ3, Г на основі аналогових перемножувачів сигналів. Частота генератора Г і центральна частота S-кривої детектора ЧД співпадають. В динаміці при безперервній зміні частоти свіп-генератора продукт перетворення модулятора із сумарною частотою утворює на виході детектора ЧД відмінну від нуля напругу. Інерційність регулювання в петлі астатичного слідування за частотою визначають фільтр Ф2, ємності на виході детектора, в меншій мірі фільтр Ф3. Інші елементи вимірювального каналу швидкодіючі, їх вплив на інерційність можна не враховувати.

Еквівалентна структурна схема петлі автоматичного слідування за частотою наведена на рис.4.

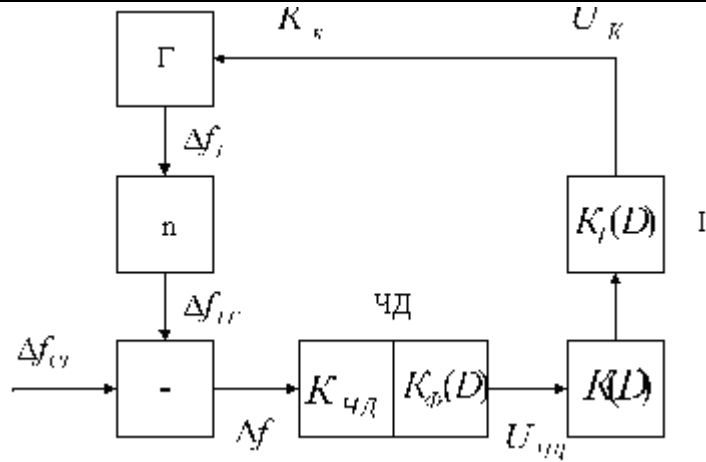


Рис. 4. Петля автоматичного слідування за частотою

Зміна частоти свіп-генератора $\Delta f_{ср}$ викликає відповідну появу напруги $U_{чд}$ на виході детектора і напруги керування $U_{к}$ на виході інтегратора I, що викликає зміну частоти генератора ГГ $\Delta f_{ГГ}$. В петлі на виході детектора ЧД утворюється залишкове відхилення Δf :

$$\Delta f = \Delta f_{ср} - \Delta f_{ГГ} = \Delta f_{ср} - K_{\Sigma}(D)\Delta f,$$

де $K_{\Sigma}(D)$ — передатна функція розімкнутої петлі; D — оператор, який в часових залежностях еквівалентний операціям диференціювання та інтегрування, а в частотних залежностях при синусоїдальних або квазисинусоїдальних сигналах $D = j\omega$. Функція $K_{\Sigma}(D)$ знаходиться з виразу:

$$K_{\Sigma}(D) = K_{чд} \cdot K_{\phi}(D) \cdot K(D) \cdot K_I(D) \cdot K_{к},$$

де $K_{чд}$ — коефіцієнт передачі детектора [В/Гц]; $K_{\phi}(D), K_I(D) = \frac{K_I}{D}$ — передатні функції, які враховують інерційність детектора ЧД та інтегратора I; $K(D)$ — передатна функція, яка враховує можливу інерційність елементів вимірювального каналу (рис.3), в першу чергу фільтра Φ_2 ; K_I — коефіцієнт передачі інтегратора I, $K_{к}$ — коефіцієнт передачі керувача частотою [Гц / В]. Тоді

$$\Delta f = \frac{\Delta f_{ср}}{1 + K_{\Sigma}(D)} = \frac{D \cdot \Delta f_{ср}}{D + K_{чд}(D) \cdot K(D) \cdot K_I \cdot K_{к}}.$$

У встановленому режимі регулювання $\Delta f_{ср} = \gamma t$ (γ — швидкість зміни частоти свіп-генератора), тому $D\Delta f_{ср} = \frac{d(\gamma t)}{dt} = \gamma$. Залишкове відхилення частоти стає постійним (рис.5):

$$\Delta f = \Delta f_{вст} = \frac{\gamma}{K_{чд} \cdot K_{\phi}(0) \cdot K(0) \cdot K_I \cdot K_{к}} = \frac{\gamma}{K_{чд} \cdot K \cdot K_I \cdot K_{к}},$$

де K — коефіцієнт передачі вимірювального каналу до детектора ЧД, якщо $\omega = 0$.

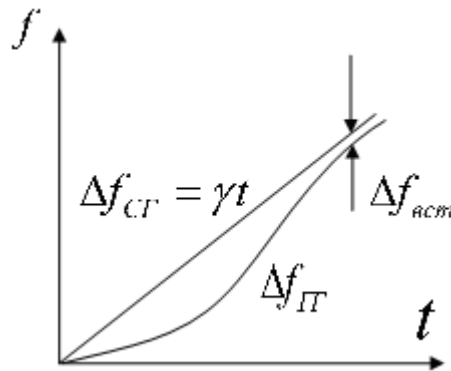


Рис. 5. Встановлення залишкової $\Delta f_{вст}$

Для правильної роботи вдосконаленого ідентифікатора з максимальним номером гармоніки n_{MAX} необхідно виконати умову:

$$\Delta f_{вст} < \frac{f_0}{2n_{MAX}}.$$

Повторне визначення частоти починається з обнулення імпульсом U_0 інтегратора І (рис.3). Алгоритм роботи БКО передбачає аналіз напруги U_A з різницевою частотою на виході фільтра Ф опорного каналу.

Висновки

В роботі розглянуті проста та покращена схеми ідентифікаторів частоти ЗІГ свіп-генератора, пояснено принцип їх роботи, наведені часові діаграми. На відміну від простої схеми в покращеній час виміру суттєво скорочується, але смуга гойдання частоти не зменшується. Також запропоновано вдосконалену схему ідентифікатора частоти свіп-генератора в якій не тільки зменшено час виміру частоти, але суттєво зменшується смуга гойдання свіп-генератора. В покращеній схемі ідентифікатора реалізовано автоматичне астатичне слідування за частотою свіп-генератора. Проведений аналіз і отримані вирази формулюють вимоги до точності відслідковування частоти при заданому максимальному коефіцієнті гармонік опорного генератора.

Література

1. Micro Lambda Wireless, Inc. YIG tuned oscillators 1.75`` cylinder / www.microlambdawireless.com
2. Alexander Chenakin, Suresh Ojha, Charanbir Mahal. A PXI fast switching LO synthesizer enables 26.5 GHz synthetic instruments / International Automatic Testing Conference - AUTEST , pp. 133–137, 2008.
3. В. Кувшинов, А. Майстренко. ЖИГ-генераторы и синтезаторы частот компании Micro Lambda Wireless / Компоненты и технологии № 9 2015р. 34–38с.
4. Пат. 70966 Україна, МПК (2012.01): G01R 23/00. Визначник частоти свіп-генератора / С. П. Кононов, О. П. Горобець. — № u201200225; заявл. 06.01.2012, опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
5. Заявка на патент України, МПК (2016.04): G01R 23/00. Вимірювач частоти свіп-генератора / С. П. Кононов, М.М Миргородський; № u201604474; заявл. 22.04.2016.

References

1. Micro Lambda Wireless, Inc. YIG tuned oscillators 1.75`` cylinder / www.microlambdawireless.com
2. Alexander Chenakin, Suresh Ojha, Charanbir Mahal. A PXI fast switching LO synthesizer enables 26.5 GHz synthetic instruments / International Automatic Testing Conference - AUTEST , pp. 133–137, 2008.
3. V. Kuvshinov, A. Maistrenko. ZIH-heneratory i sintezatory chastot kompanii Micro Lambda Wireless / Komponenty I tehnologii № 9 2015r. 34–38s.
4. Pat. 70966 Ukraina, MPK (2012.01): G01R 23/00. Vyznachnyk chastoty svip-heneratora / S .P. Kononov, O. P. Horobets. — № u201200225; zaiavl. 06.01.2012, opubl. 25.06.2012, Biul. № 12.
5. Zaiavka na patent Ukrainu, MPK (2016.04): G01R 23/00. Vumirivach chastoty svip-heneratora / S .P. Kononov, M. M. Myrhorodskiy; № u201604474; zaiavl. 22.04.2016.

Рецензія/Peer review : 2.6.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 681.335

Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, О.Г. БОРТНИК
Вінницький національний технічний університет, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

У роботі представлено статистичний метод оцінювання динамічних параметрів аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), що базується на використанні чотиритонального тестового сигналу. Розроблено апаратно-програмну реалізацію автоматизованої системи оцінювання динамічних параметрів АЦП. Дослідження ефективності запропонованої системи підтвердили її високу точність при оцінюванні динамічних параметрів АЦП.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, автоматизована система, динамічні параметри.

G.G. BORTNYK, M.V. VASYLKIVSKIY, O.G. BORTNYK
Vinnitsa National Technical University, Ukraine

AUTOMATED SYSTEM EVALUATION OF DYNAMIC PARAMETERS ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

The paper presents a statistical evaluation method of dynamic parameters of analog-to-digital converters (ADC), based on the use of multitone test signal. This signal allows the ADC to ensure modes of operation that adequate real and characterized by simplicity of implementation.

Developed hardware and software implementation of an automated evaluation system ADC dynamic parameters using built-in digital test signals generator which operates in opportunistic real time. The system performs the evaluation of dynamic parameters of the ADC: the differential non-linearity, signal-to-noise ratio, the effective number of bits.

The study confirmed the effectiveness of the proposed system of high accuracy in assessing the dynamic parameters of ADC. When the sample size source ADC values greater than 10^6 , error estimation of the dynamic parameters ADC are within 0,01-0,05%.

Key words: analog-digital converter, automated system, dynamic parameters.

Вступ

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) знаходять широке використання у галузі первинних і вторинних перетворень форми інформації. Властивості та характеристики АЦП безпосередньо впливають на ефективність функціонування інформаційно-вимірювальних систем, а також комп'ютерних систем діагностування та контролю параметрів процесів і середовищ, засобів ідентифікації сигналів та пристроїв контролю технологічних процесів [1, 2].

Специфічною особливістю АЦП є нелінійний вид функції перетворення, що проявляється як в статичному, так і в динамічному режимах функціонування. Якщо проблеми аналізу поведінки АЦП в статичному режимі функціонування достатньо добре вивчені та відповідна методологія відома широкому колу спеціалістів, то проблеми оцінювання динамічних параметрів (ДП) з урахуванням нелінійних і стохастичних властивостей продовжують інтенсивно досліджуватись [3, 4].

Засоби контролю параметрів АЦП випускають багато відомих фірм і характеристики цієї апаратури визначені відповідними рекомендаціями. Однак розвиток спеціалізованих засобів визначення ДП АЦП для оцінювання якості функціонування цих перетворювачів з широкосмуговими сигналами у значній мірі відстає від розвитку самих мікросхем АЦП та не задовольняє сучасні вимоги до точності та адекватності процесу визначення ДП АЦП у широкій смузі робочих частот [1, 5].

Таким чином, створення методу оцінювання ДП АЦП з урахуванням адекватності процесів функціонування перетворювачів з реальними вхідними сигналами, а також розробка на його основі ефективних засобів, що характеризується високою точністю є актуальною науковою задачею.

Метою роботи є підвищення ефективності оцінювання динамічних параметрів АЦП за рахунок використання статистичного методу оброблення сигналів та застосування псевдовипадкових тестових впливів, що гарантують високу точність та адекватність отриманих результатів.

Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати оцінювання ДП АЦП на базі спотворення функції розподілу тестового сигналу;
- здійснити аналіз статистичних характеристик тестових сигналів АЦП;
- розробити структуру автоматизованої системи оцінювання динамічних параметрів АЦП;
- проаналізувати ефективність системи оцінювання динамічних параметрів АЦП.

Оцінювання ДП АЦП на базі спотворення функції розподілу тестового сигналу

Визначення ДП АЦП можна здійснювати шляхом оцінювання спотворень функції розподілу або спектра потужності тестового сигналу. Інтегральні методи, до яких відноситься спектральне оцінювання, компенсують окремі похибки і не дають можливості виявлення всіх особливостей динамічних властивостей АЦП на базі спектральної густини потужності вихідного сигналу АЦП [6].

Для статистичного методу необхідно обчислити густину ймовірності миттєвих значень тестового

сигналу $\omega(U)$. На базі відомої густини ймовірності миттєвих значень тестового сигналу $U(t)$ можна знайти ймовірність появи i -того коду $p(i)$, яка може слугувати мірилом диференціальної нелінійності АЦП, оскільки $\omega(U)$ в інтервалі $[U_i, U_{i+1}]$ практично не змінюється:

$$p(i) = \omega(U_i + \varepsilon)(U_{i+1} - U_i); \quad U_i \leq \varepsilon < U_{i+1}. \quad (1)$$

Враховуючи, що диференціальна нелінійність АЦП для кроку квантування h дорівнює

$$\Delta_{dn}(i) = h - (U_{i+1} - U_i), \quad (2)$$

з урахуванням (1) можна записати

$$\Delta_{dn}(i) = h - (U_{i+1} - U_i) = h - \frac{p(i)}{\omega(U_i + \varepsilon)}. \quad (3)$$

Ймовірність появи вихідного коду $i < j$ дорівнює

$$p(i < j) = \sum_{i=0}^{j-1} p(i) = \sum_{i=0}^{j-1} \int_{U_i}^{U_{i+1}} \omega(U) dU = \int_0^{U_j} \omega(U) dU. \quad (4)$$

Відповідно до (1), якщо U_j^0 – номінальне значення j -го відліку:

$$\Delta_n(j) = U_j^0 - U_j = \frac{1}{\omega(U_j + \varepsilon)} \int_{U_j}^{U_j^0} \omega(U) dU = \frac{1}{\omega(U_j + \varepsilon)} [p_0(i < j) - p_0(i < j)]. \quad (5)$$

Розглянемо перетворення сигналу $U(t)$ у зоні рівня квантування U_j з урахуванням його можливого зміщення в динамічному режимі. Інтервали часу, протягом яких сигнал знаходиться між j -м та $j+1$ -м рівнями квантування, представляють мірилом ймовірності $p(j)$. Оцінкою ж її слугує число відліків, що збігаються з вказаним інтервалом часу, тобто число M_j відліків з кодом j , віднесене до загального числа M відліків за час дослідження

$$\tilde{p}(j) = \frac{M_j}{M}. \quad (6)$$

Для визначення нелінійності АЦП за відомою густиною ймовірності миттєвих значень тестового сигналу розраховується розподіл ймовірностей $p(i)$ у межах характеристики перетворення (ХП) АЦП. Потім визначають обсяг вибірки M та виконують експериментальне дослідження АЦП. Накопичений масив вихідних даних АЦП у вигляді M_j використовується при обчисленнях таким чином. Спочатку визначається оцінка $\tilde{p}(i)$, потім знаходиться оцінка нелінійності з урахуванням (5) і (6) за формулою

$$\tilde{\Delta}_n[j] = \frac{h}{p(j)} \sum_{i=0}^{j-1} [p(i) - \tilde{p}(i)]. \quad (7)$$

Аналіз нелінійності ХП АЦП у динамічному режимі на базі експериментальних результатів аналого-цифрового перетворення здійснюється після попереднього калібрування АЦП, тобто, врахування кроку квантування h і зміщення нуля Δ_0 . Після знаходження значень h_r і Δ_{r0} можна розрахувати $p_r(i)$.

Тоді нелінійність знаходиться на базі виразу (7) таким чином

$$\Delta_n[j] = \frac{h_r}{p_r(N)} \sum_{i=0}^{j-1} [p_r(i) - \tilde{p}(i)]. \quad (8)$$

Неідеальність ХП АЦП представимо в одиницях молодшого розрядку (ОМР) нелінійності.

Нехай різниця кроків квантування визначається згідно з виразом

$$\Delta U_i = U_{i+1} - U_i - h, \quad (9)$$

де U_i, U_{i+1} – сусідні квантовані відліки.

Тоді диференціальна нелінійність через різницю кроків квантування та пронормована в ОМР

$$\Delta_{dnn} = \frac{\Delta U_i}{h}. \quad (10)$$

Тепер перейдемо до аналізу інших динамічних параметрів АЦП. Відношення сигнал/шум характеризує сумарний рівень шумів перетворення АЦП і для ідеального АЦП дорівнює [7]:

$$\frac{S}{N} = 20 \lg \frac{\sqrt{6,02} \cdot U_m}{h} \quad (11)$$

Ефективне число розрядів є узагальненим динамічним параметром АЦП. Це число завжди менше номінального числа розрядів АЦП n і є параметром, що визначає якість функціонування перетворювача в динамічному режимі. Ефективне число розрядів пов'язане з відношенням сигнал/шум:

$$n_{ef} = \frac{S}{N} + n \cdot \log_2 \frac{h}{\sqrt{6,02} \cdot U_m} \quad (12)$$

Виконавши нормування середньоквадратичних значень в ОМР та виразивши реальний рівень шумів через нормовану диференціальну нелінійність Δ_{dnn} , отримаємо

$$n_{ef} = n - \log_2 3,46 \cdot \Delta_{dnn} \quad (13)$$

На базі виразу (13) можна побудувати графіки залежностей ефективної розрядності від диференціальної нелінійності АЦП.

Аналіз статистичних характеристик тестових сигналів АЦП

Статистична методологія забезпечує необхідну точність оцінювання характеристик АЦП залежно від точності відтворення тестового сигналу. Тому синтез тестових сигналів заданої форми з необхідною точністю та аналіз їх статистичних властивостей є важливою науковою задачею, яку необхідно розв'язати при розробленні системи оцінювання ДП АЦП [8]. Найбільш поширеним тестовим сигналом АЦП є синусоїдальний. Такий сигнал не відображає реальні умови функціонування АЦП, тому що містить у спектрі лише одну потужну складову, що відповідає синусоїдальному коливанню.

Для підвищення адекватності оцінювання ДП АЦП пропонується як тестовий використовувати багатотональний сигнал, що має збагачений основними складовими спектр і тому функція розподілу такого процесу може відрізнитися від гауссового закону. Відомо, що пошук законів розподілу негауссового характеру є складною задачею. Один з методів розв'язання такої задачі базується на використанні характеристичних функцій $\theta_U(V)$ випадкового процесу U та відомих співвідношень між характеристичною функцією та моментами розподілу процесу.

Багатотональний сигнал можна представити як суму деякого числа m взаємно незалежних складових U_1, U_2, \dots, U_l . Для випадку багатотонального сигналу, коли всі складові мають однакові розподіли та відповідно однакові характеристичні функції, маємо

$$\theta_l(V) = [\theta_1(V)]^l \quad (14)$$

Знайдемо густину ймовірності суми кількох синусоїдальних сигналів з випадковими фазами. На базі виразу для густини ймовірності гармонічного коливання [8] знаходимо характеристичну функцію

$$\theta_1(V) = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{e^{i \cdot V \cdot U}}{\sqrt{1-U^2}} dU \quad (15)$$

Якщо в (15) підставити $e^{i \cdot V \cdot U} = \cos(VU) + i \sin(VU)$ та скориставшись [7], можна отримати

$$\theta_1(V) = \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{\cos(VU)}{\sqrt{1-U^2}} dU = J_0(V), \quad (16)$$

де $J_0(V)$ – функція Бесселя першого роду нульового порядку.

Для багатотонального сигналу, що містить l гармонічних коливань з однаковими амплітудами $\frac{U_m}{l}$ та випадковими взаємозалежними фазами, характеристична функція відповідно до (14) знаходиться як

$$\theta_l(V) = \left[J_0\left(\frac{V}{\sqrt{l}}\right) \right]^l \quad (17)$$

Тоді густина ймовірності багатотонального сигналу дорівнює

$$\omega_l(U) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left[J_0\left(\frac{V}{\sqrt{l}}\right) \right]^l \cdot \cos(VU) \cdot dV \quad (18)$$

На рис. 1 наведено розподіл густин імовірностей багатотональних тестових сигналів з різним l .

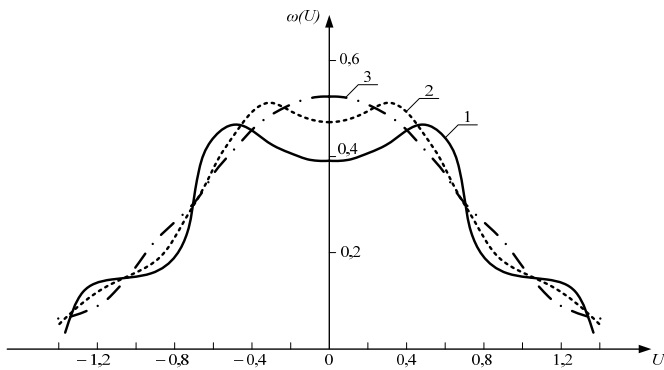


Рис.1. Густина ймовірностей двотонального (1), тритонального (2) та чотиритонального сигналу (3)

Структура автоматизованої системи оцінювання динамічних параметрів АЦП

На базі запропонованого статистичного методу оцінювання ДП АЦП з багатотональним тестовим сигналом розроблено структуру автоматизованої системи, що наведена на рис. 2.

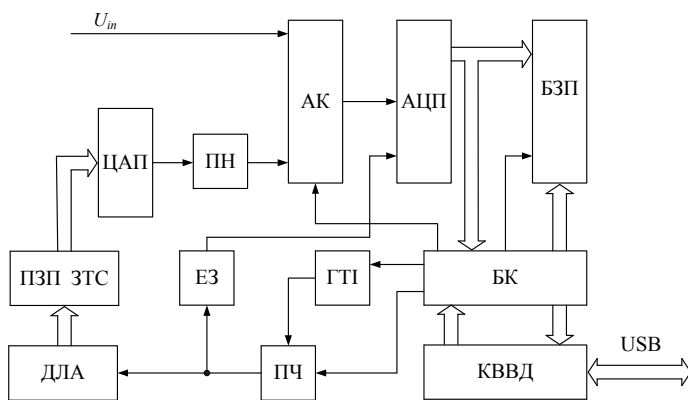


Рис. 2. Структура автоматизованої системи оцінювання динамічних параметрів АЦП

побудований на базі принципу прямого цифрового синтезу. В БЗП накопичується масив даних з АЦП, який через КВВД шиною USB передається в комп'ютер, де відбувається кінцеве оброблення сигналів та визначення ДП АЦП. Залежно від режиму роботи через АК за сигналом керування з БК подається чи сигнал з вхідної шини U_{in} чи тестовий сигнал з виходу ПН.

Аналіз ефективності системи оцінювання динамічних параметрів АЦП

Для оцінювання досягнутої точності відтворення тестового сигналу легко отримуються прості співвідношення, які ґрунтуються на центральній граничній теоремі Муавра–Лапласа [8]. При розрядності АЦП $n \geq 8$ та для середнього числа вибірок вихідного коду N можна отримати вирази для досягнення заданої точності при фіксованому рівні довірчої ймовірності. Нехай $p = 95,45\%$. У цьому випадку відносна похибка

$$\varepsilon \approx \frac{2\sqrt{N}}{N}. \text{ Звідки можна отримати } N \approx \frac{4}{\varepsilon^2}.$$

Для випадку, коли $p = 99,73\%$, маємо, що

$$\varepsilon \approx \frac{3\sqrt{N}}{N}, \text{ а } N \approx \frac{9}{\varepsilon^2}.$$

На рис. 3 наведено залежність похибки оцінювання ДП АЦП від обсягу вибірки тестового сигналу (крива 1 – для $p = 99,73\%$, а крива 2 – для $p = 95,45\%$).

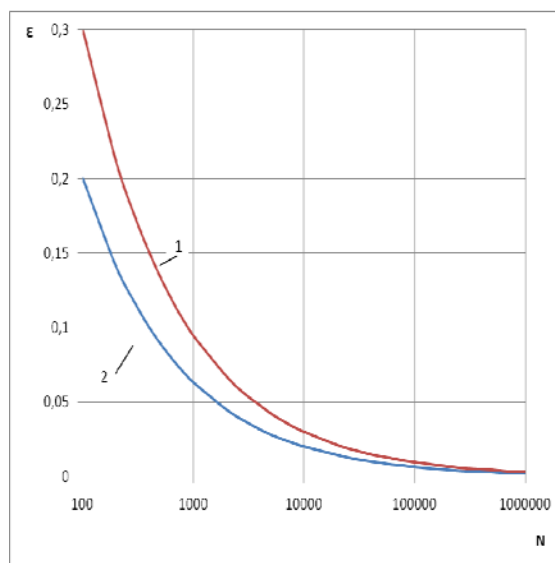


Рис. 3. Залежність похибки оцінювання ДП АЦП від обсягу вибірки

Як видно з графіків, при обсягах вибірки вихідних кодів АЦП, що перевищують значення 10^6 , похибки оцінювання ДП АЦП знаходяться у межах

Отриманні результати дають можливість стверджувати, що густина ймовірності сигналу, який містить чотири синусоїдальних складових з випадковими фазами відображає криву, подібну до гауссового процесу, незважаючи на те, що окремі синусоїди характеризуються зовсім іншою густиною ймовірності. Цей сигнал є найоптимальнішим типом тестового впливу АЦП, який дає змогу забезпечити режими функціонування АЦП, що адекватні реальним, а також просто реалізується при використанні широкої номенклатури генераторів сигналів з нормованими метрологічними характеристиками.

Висновки

Запропоновано статистичний метод оцінювання динамічних параметрів АЦП, що базується на використанні чотиритонального тестового сигналу. Цей сигнал дає змогу забезпечити режими функціонування АЦП, що адекватні реальним, а також характеризується простотою реалізації.

Розроблено апаратно-програмну реалізацію автоматизованої системи оцінювання динамічних параметрів АЦП з використанням вбудованого цифрового генератора тестових сигналів, яка функціонує в умовно-реальному масштабі часу.

Дослідження ефективності запропонованої системи підтвердили її високу точність при оцінюванні динамічних параметрів АЦП.

Література

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / Уолт Кестер. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.
2. Бортник Г.Г. Швидкодійний аналого-цифровий перетворювач з розширеним динамічним діапазоном / Г.Г. Бортник, О.Г. Бортник, Н.О. Пунченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 3. – С. 95-99.
3. Бортник Г.Г. Методи та пристрої оцінювання характеристик імпульсно-кодових модуляторів широкосмугових сигналів: монографія / Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, Н.О. Пунченко. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 147 с. – ISBN 978-966-641-581-6
4. Бортник Г.Г. Автоматизований пристрій оцінювання характеристик імпульсно-кодових модуляторів високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, М.Л. Мінов, Н.О. Пунченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 2. – С. 90-93.
5. Бортник Г.Г. Автоматизированный измеритель параметров аналого-цифровых преобразователей / Г.Г. Бортник // Приборы и техника эксперимента. – 1992. – № 1. – С. 227-228.
6. Бортник Г.Г. Спектральный метод оцінювання динамічних параметрів аналого-цифрових перетворювачів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.Г. Бортник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – № 1. – С. 63-67.
7. 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.
8. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.

References

1. Kester W. Analogo-cifrovoe preobrazovsnie / Walt Kester. – M.: Technosphere, 2007. – 1016 s.
2. Bortnyk G.G. Shvydkodiinyi analoho-tsyfrovyi peretvoriuvach z rozshyrenym dynamichnym diapazonom / G.G. Bortnyk, O.G. Bortnyk, N.O. Puchenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 3. – S. 95-99.
3. Bortnyk G.G. Metody ta prystroi otsiniuvannia kharakterystyk impulsno-kodovykh modulatoriv shyrokosmuhovykh syhnaliv: monohrafiia / G.G. Bortnyk, V.M. Kychak, N.O. Puchenko. – Vinnytsia: VNTU, 2014. – 147 s.
4. Bortnyk G.G. Avtomatyzovanyi prystrii otsiniuvannia kharakterystyk impulsno-kodovykh modulatoriv vysokochastotnykh syhnaliv / G.G. Bortnyk, M.L. Minov, N.O. Puchenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2014. – № 2. – S. 90-93.
5. Bortnyk G.G. Avtomatyzovannyi izmeritel parametrov analoho-tsyfrovykh preobrazovatelei / G.G. Bortnyk // Pribory i Tekhnika Eksperimenta. – 1992. – №1. – S. 227-228.
6. Bortnyk G.G. Spektralnyi metod otsiniuvannia dynamichnykh parametrov analoho-tsyfrovykh peretvoriuvachiv / G.G. Bortnyk, M.V. Vasylykivskiy, O.G. Bortnyk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2016. – № 1. – S. 63-67.
7. Bortnyk G.G. Metodu ta zasobu analogo-cifrovogo peretvoreny vusokochastotnih signaliv / G.G. Bortnyk, S.G. Bortnyk, V.M. Kuchak. – Vinnytsya: VNTU, 2013. – 128 s. – ISBN 978-966-641-537-3.
8. Levyn B.R. Teoretycheskye osnovy statystycheskoi radyotekhniky / B.R. Levyn. – M.: Radyo y sviaz, 1989. – 656 s.

Рецензія/Peer review : 8.5.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

О.Б. В'ЮНЕНКО, А.В. ТОЛБАТОВ

Сумський національний аграрний університет

В.А. ТОЛБАТОВ

Сумський державний університет

С.В. ТОЛБАТОВ

Netcracker, м. Суми

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

З кожним роком зростає число ВНЗ, які використовують хмарні технології. Тому для реалізації подібних проектів доцільне використання інформаційних технологій з формуванням єдиного інформаційного середовища ВНЗ. Все це може бути реалізовано на базі хмарових сервісів, що забезпечує контент автоматизованої навчальної системи, яка функціонує спільно з багаторівневим послідовно-фреймовим тьютором, комплексом електронних навчальних курсів з можливістю дистанційного і мобільного отримання знань.

Ключові слова: інформаційні технології, дистанційне навчання, віртуальний університет, хмарні технології.

O.B. VIUNENKO, A.V. TOLBATOV

Sumy National Agrarian University, Ukraine

V.A. TOLBATOV

Sumy State University, Ukraine

S.V. TOLBATOV

Netcracker, Ukraine

CLOUD-BASED TECHNOLOGIES FOR INTERGRATED INFORMATION ENVIROMENT OF EDUCATIONAL INSTITUTES

Nowadays cloud-based technologies are more commonly used by educational institutes. Hence information technologies for integrated information enviroment of educational institutes should be used for such projects. Automated learning system content can be implmented through cloud-based services. This system operates along with multi-layer series-frame tutor and e-learning courses complex with possibility of remote education.

Keywords: information technology, remote eduncation, virtual university, cloud-based technologies.

Вступ

Сучасне середовище дистанційної освіти (ДО) можна інтерпретувати як віртуальний, соціально визначений і розроблений соціальний простір, в якому є своя структура, властивості, принципи побудови, середовище взаємодії, система взаємозв'язків і взаємовідносин [1–17]. На сьогодні найбільш вживаними є 3 моделі організації освітнього процесу із застосуванням дистанційних технологій: кейсова, трансляційна і мережева. В **моделі ДО з використанням кейсів** можливі два варіанти: із застосуванням веб-сайту (системи дистанційного навчання - СДН) для розміщення навчально-методичних матеріалів і без нього, але без впровадження СДН неможливо налагодити ефективний зворотний зв'язок учасників процесу навчання, тому що студент, отримавши набір матеріалу, вивчає всі самостійно. До переваг даної моделі можна віднести швидкість впровадження і невеликі фінансові витрати вищого навчального закладу (ВНЗ) в порівнянні з іншими видами ДО. Хоча тут основне навантаження припадає на розробників кейсів, але в даній моделі можливе створення колекції електронних освітніх ресурсів, використовуючи готові програмні продукти, сайти, тренажери та інше. Для даної моделі необхідно: провести навчання розробників, постійно координувати тьюторів і стимулювати взаємодію організаторів і студентів, щоб утримати вмотивованість навчання. Якщо у ВНЗ використовується спеціалізований веб-сайт - СДН, то тут також можливе використання кейсів. До переваг даної моделі можна віднести: невелике фінансування, тому що залучення викладачів мінімальне, а основне навантаження лягає на технічний персонал, а спілкування з тьюторами проходить в відведений час шляхом організації консультацій.

Модель із використанням трансляційної технології (відеотрансляція записаних кейсів через систему Internet). Така модель схожа на роботу по кейсовій технології, але навчальні матеріали спочатку записуються у вигляді відеоматеріалів і транслюються або розсилаються студентам. Ця модель теж не передбачає інтерактивного спілкування з тьютором, тому її ефективність також буде відносно невисокою.

Модель із застосуванням мережевої технології - більш трудомістка і затратна, вона передбачає застосування СДН. Для проведення навчання тьютор сам повинен досконально володіти особливостям застосування електронного навчання, засвоїти інструментарій сайту, навчитися створювати свій курс самостійно. При мережевої технології тьютор виступає і в ролі автора, і в ролі супроводжуючого консультанта, і в ролі викладача. Спілкування студента і тьютора на сайті проходить постійно протягом всього терміну навчання. Студент отримує консультацію у будь-який час, основою навчання залишається самостійна робота студентів, хоча також можлива організація колективної і парної роботи студентів. Загалом можлива інтеграція кейсової та мережевої технології: різні способи взаємодії в СДН, наприклад, одні дисципліни (або частина курсу) готують як кейс, інші - для вивчення он-лайн.

Виклад основного матеріалу дослідження

Найбільш продуктивною для ВНЗ можна вважати **модель віртуального університету**, який являє

собою портал з розгалуженою структурою, який включає інформаційну частину, майданчик для навчання і спілкування, можливість взаємодії з підрозділами і представниками різних підрозділів: бібліотекою, деканатом, відділом кадрів, а також зворотній зв'язок з деканатом та інше. Така модель передбачає різні варіанти онлайн-спілкування (конференція, вебінар, чат) і дистанційного навчання (використання електронних курсів, кейсів, тестування та інше). У віртуальний університет мають доступ всі учасники освітнього процесу, що дозволяє оперативно створювати і при необхідності змінювати розклад для відкритого відвідування занять, перегляду відео лекцій і курсів [1]. В залежності від поставлених завдань, курси можуть бути наступних видів: дистанційний курс як базовий курс по вивченню дисципліни; дистанційний курс як додатковий засіб навчання; курс для вдосконалення знань, формування практичних умінь; курс для організації колективної роботи; курс для організації контролю рівня знань; курси, що спрямовані на формування творчого характеру і вміння студентів застосовувати знання в складних ситуаціях; курс - майданчик для організації спілкування.

Моделей організації навчального процесу із застосуванням дистанційних освітніх технологій у ВНЗ досить, а наскільки продуктивно буде впроваджена обрана модель, залежатиме від багатьох чинників: ефективність взаємодії викладача і студента, ефективність розроблених навчально-методичних матеріалів і методів їх доставки, ефективність зворотного зв'язку, визначення набору інструментів для формування персональних учбових середовищ (Рис. 1) [2]. Технічна реалізація зазначених моделей має базуватися на хмарових сервісах, що надає додаткові переваги для дистанційної підтримки отримання знань для користувачів.

Національний інститут стандартів і технологій США (National Institute of Standards and Technology NIST) в документі «NIST Definition of Cloud Computing» [3] визначив хмарні обчислення як «модель надання повсюдного і зручного мережевого доступу (в міру необхідності) до загального пулу конфігурованих обчислювальних ресурсів (наприклад, мереж, серверів, систем зберігання, додатків і сервісів), які можуть бути швидко надані і звільнені з мінімальними зусиллями в управлінні та необхідністю взаємодії з провайдером послуг». Таким чином, хмарні сервіси пропонують користувачам через мережу Internet доступ до своїх ресурсів за допомогою безкоштовних або умовно безкоштовних хмарних додатків, програмні і апаратні вимоги яких не припускають наявності у клієнтів високопродуктивних комп'ютерів. До основних властивостей хмарних технологій відносять [4]:

1. Самообслуговування на вимогу (Ondemand self-service); у споживача є можливість отримати доступ до обчислювальних ресурсів в односторонньому порядку по мірі потреби, автоматично, без необхідності взаємодії з співробітниками постачальника послуг.

2. Широкий мережевий доступ (Broad network access); обчислювальні ресурси доступні по мережі через стандартні механізми для різних платформ, тонких і товстих клієнтів, мобільних телефонів, планшетів, ноутбуків, робочих станцій та інше.

3. Об'єднання ресурсів в пули (Resource pooling); обчислювальні ресурси провайдера об'єднуються в пули для обслуговування багатьох споживачів по багатоарендній (multi-tenant) моделі, прикладами таких ресурсів можуть бути системи зберігання, обчислювальні потужності, пам'ять, пропускна здатність мережі.

4. Миттєва еластичність (Rapid elasticity); ресурси можуть бути легко виділені і звільнені, в деяких випадках автоматично, для швидкого масштабування пропорційно попиту, для споживача можливість надання ресурсів є необмеженими, тобто вони можуть бути присвоєні в будь-якій кількості і в будь-який час.

5. Вимірюваний сервіс (Measured service). Хмарні системи автоматично керують і оптимізують ресурси за допомогою засобів вимірювання, реалізованих на різних рівнях абстракції стосовно для різного роду сервісів (наприклад, керування зовнішньою пам'яттю, обробкою, пропускною здатністю), використані ресурси можна відстежувати і контролювати, що забезпечує прозорість як для постачальника, так і для споживача, який використовує цей сервіс.

Розрізняють хмари в залежності від форми надання послуг - публічні, приватні та гібридні. Публічні хмари в основному застосовуються в повсякденному житті, де немає необхідності в конфіденційності інформації, приватні - в локальних корпоративних мережах, а гібридні - одночасно використовують і публічні і приватні хмари.

В даний час на вітчизняному ринку хмарні послуги надаються в залежності від обслуговування в наступних моделях сервісу:

1. AaaS (Architecture as a Service) - архітектура як сервіс.
2. BaaS (Business as a Service) - бізнес як сервіс.



Рис. 1. Набір інструментів персонального навчального середовища

3. CaaS (Communication-aaS) - послуги зв'язку як сервіс.
4. DaaS (Data/Documents/Database as a Service) - дані/документи/бази даних як сервіс.
5. DISaaS (Data Integration System as a Service) - інтеграція даних як сервіс.
6. EaaS (Ethernet as a Service) - Ethernet як сервіс.
7. FaaS (Framework as a Service) - конструкції для розробки і впровадження додатків, які поставляють як сервіс.
8. GaaS (Globalization as a Service) - глобалізація як сервіс.
9. HaaS (Hardware-aaS) - апаратура як сервіс.
10. HaaS (Hardware as a Service) - апаратне забезпечення як сервіс.
11. IaaS (Integration as a Service) - інтеграція як сервіс.
12. IaaS (Infrastructure/Information as a Service) - інфраструктура/інформація як сервіс.
13. IDaaS (Identification as a Service) - ідентифікація як сервіс.
14. MGaaS (Management/Governance as a Service) - адміністрування і управління як сервіс.
15. OaaS (Organization/Optimization/Operations as a Service) - організація/оптимізація/операції як сервіс.
16. PaaS (Platform as a service) - платформа як сервіс.
17. SaaS (Security as a Service) - безпека як сервіс.
18. SaaS (Software as a Service) - програмне забезпечення як сервіс.
19. TaaS (Technology as a Service) - технології як сервіс.
20. TaaS (Testing as a Service) - тестування як сервіс.
21. VaaS (Voice as a Service) - голос як сервіс.
22. WaaS (Workplace as a Service) - робоче місце як сервіс, або DaaS (Desktop as a Service).
23. XaaS – все інше.

Наведений список може розширюватися, так як не виключена поява нових технологічних тенденцій, різноманітних гібридних рішень. Загальним в таких тенденціях є впевненість, що Internet здатний задовольнити всі потреби користувача по обробці даних. Аналіз динаміки зростання хмарних послуг показує, що на 2018 рік ринок хмарних послуг має тенденцію зміни в бік зростання щодо SaaS моделі послуг. Споживачеві хмарних послуг все більше надаватиметься можливість використання прикладного програмного забезпечення провайдера, який працює в хмарній інфраструктурі та доступного з різних клієнтських пристроїв. Але на даний момент ця технологія слабо стандартизована, особливо в питанні безпеки.

До основних переваг застосування технології хмарних обчислень у ВНЗ можна віднести наступні:

- 1) доступ до документів незалежно від часу і місця розташування;
 - 2) доступність з різних пристроїв або платформ;
 - 3) сумісність з більшістю операційних систем;
 - 4) покращена сумісність форматів документів;
 - 5) зменшення витрат на програмне забезпечення
 - 6) постійне оновлення програм;
 - 7) необмежений обсяг даних для зберігання;
 - 8) простота спільної роботи для груп користувачів;
 - 9) стійкість даних до втрати або крадіжки обладнання;
 - 10) можливість використання недорогих комп'ютерів для користувачів;
 - 11) збільшення продуктивності комп'ютерів користувачів;
 - 12) менше проблем з обслуговуванням апаратного забезпечення;
 - 13) збільшення доступних обчислювальних потужностей;
 - 14) зменшення витрат і збільшення ефективності IT інфраструктури;
 - 15) масштабованість;
 - 16) гнучкість;
 - 17) високий рівень абстракції;
 - 18) зростання рухливості;
 - 19) перерозподіл ресурсів;
 - 20) демократичне середовище;
 - 21) хмарні обчислення є найбільш економічно ефективним способом для використання, підтримки і модернізації інформації, вимагає менше витрат на IT-інфраструктуру, в порівнянні з традиційними;
 - 22) відмовостійкість, резервне копіювання і відновлення, резервне копіювання і відновлення проводиться набагато простіше, ніж при застосуванні інших традиційні методів зберігання даних;
 - 23) автоматична інтеграція програмного забезпечення відповідно до вимог споживачів.
- В свою чергу до недоліків можна віднести:
- 1) необхідність постійного з'єднання з мережею Internet;
 - 2) незадовільна робота з повільним Internet-доступом;
 - 3) ряд програм можуть працювати повільніше ніж на локальному комп'ютері і не всі їх властивості доступні віддаленим користувачам;
 - 4) якщо клієнтські дані в "хмарі" втрачені, вони втрачені назавжди;
 - 5) в умовах доступності інформації система може мати значні дисфункції, пов'язані в постачанні хмарних сервісів;
 - 6) безпека і конфіденційність інформації в хмарі не має повної законодавчої підтримки;
 - 7) схильність до атак, зберігання інформації в хмарі може зробити ВНЗ вразливим до зовнішніх атак

і погроз;

- 8) приховування конфіденційних даних ускладнюється;
- 9) значна залежність від іноземних постачальників;
- 10) розрахунок і взаєморозрахунок за Internet-послуги з іноземними партнерами - операторами постачальника послуг.

Також викладачі, розробники електронних освітніх ресурсів, організатори навчального процесу стикаються з рядом негативних тенденцій в освітньому процесі з застосуванням ДО:

- 1) в навчальних закладах відсутня єдина стратегія впровадження нових інформаційних технологій, використання електронних засобів слабо співвідноситься з навчальними планами;
- 2) зростає інтенсивність і трудомісткість реалізації навчального процесу внаслідок необхідності постійного перегляду поточної інформації на форумах, соціальних мережах, консультування в режимі on-line;
- 3) реорганізація традиційних форм інтелектуальної діяльності зустрічає негативне ставлення професорсько-викладацького складу до впровадження в навчальний процес нових технологій і методів роботи;
- 4) відсутність відповідної мотивації і стимулювання праці професорсько-викладацького складу по використанню інформаційних технологій і особливо по оновленню та захисту авторських прав на електронні освітні ресурси;
- 5) відсутність адаптивного регламенту взаємодії кожного викладача і з організаторами навчального процесу;
- 6) нестача технологій супроводу освітнього процесу для підвищення інформаційної компетенції всіх суб'єктів освітнього процесу.

Важливим фактором, в поточному році, що сприяв розвитку хмарних технологій в нашій країні, стала девальвація гривні. Раніше, коли компанії порівнювали вартість переходу в хмару і придбання свого апаратного забезпечення, вигода переходу на хмарні технології була не завжди очевидна. Сьогодні ж через падіння курсу гривні бюджет багатьох установ не дозволяє вирішувати поточні задачі із використанням власної фізичної інфраструктури. Невеликим ВНЗ просто не залишається іншого виходу, крім як перехід в хмару, при цьому, як правило, ефективність роботи інфраструктури від такого переходу тільки підвищується.

Проблемами в області інформаційних технологій та індустрії програмних засобів, які призвели до виникнення і бурхливого розвитку хмарних обчислень, є наступні:

- 1) до 85% обчислювальних потужностей організацій не використовуються і простоюють;
- 2) спостерігається щорічний 50% зростання ємностей для зберігання даних;
- 3) в середньому 70% бюджету організації, що виділяється на інформаційні технології, йдуть на підтримку існуючої IT-інфраструктури замість розширення її можливостей.

Існує ряд складних проблем, які постають перед розробниками і користувачами хмарних сервісів:

- 1) розподіл і використання ресурсів; так при організації обчислювальних процесів в мережах з хмарної інфраструктурою об'єктами є віртуальні машини, сервіси, програми, набори даних, заявки, при цьому розглядається інтенсивність запитів, ступінь завантаження центральних пристроїв та інше;
- 2) проблеми безпеки; в хмарному інформаційному середовищі виникають численні проблеми інформаційної безпеки: поширення шкідливого ПЗ, його виявлення, а також виявлення ПЗ, яка не є шкідливою, але містить в собі помилки, які можуть призвести до виникнення деструктивних процесів;
- 3) проблеми прив'язки хмарної технології до існуючих інфраструктурних рішень (GRID, Web-сервіси);
- 4) проблеми мережевого зберігання даних і хмарних баз даних;
- 5) проблеми віртуалізації;
- 6) проблеми проектування і модернізації хмарних сервісів;
- 7) проблеми стандартизації.

При переносі більшої частини ресурсів на хмарні системи, які розроблені сторонніми організаціями, виникає проблема забезпечення безпеки інформації, яку користувачі зберігають або якою обмінюються з хмарною системою, а також проблема відновлення хмарних систем після збоїв. Забезпечення безпеки хмарної платформи полягає в використанні наступних технологій і методів [5]:

- 1) зонування мереж (network zoning);
- 2) аутентифікація в файлової системі, віртуальної приватної мережі (VPN) і ОС;
- 3) ізоляція віртуальних машин, операційних систем і віртуальних локальних мереж VLAN;
- 4) використання рівня захищених сокетів (SSL) і брандмауерів.

Тобто, для користувача існує два способи зайти в систему: доступ через веб-інтерфейс або доступ до проекту на віртуальній машині. У першому випадку потрібно ввести свій ідентифікаційний номер і пароль. У другому ж випадку доступ забезпечується через приватну віртуальну мережу (VPN).

При цьому взаємодія віртуальних машин в хмарі організовується за наступними правилами [6]:

- 1) кожен проект повинен мати одну і тільки одну віртуальну мережу, в якій знаходиться віртуальна машина;
- 2) кожен віртуальний сервер розташовується в певній зоні мережі, проте це не надає йому доступ до інших серверів тієї ж зони до тих пір, поки це явно не вказується.

Часто користувачі бувають стурбовані фізичною цілісністю серверів, вирішення цієї проблеми повністю лягає на плечі провайдера. Одним з рішень, які може зробити ВНЗ, є рішення про зберігання даних в своїй внутрішній інфраструктурі та одночасному використанні додатків, які перебувають в хмарі. Розташування ж всієї інфраструктури в хмарі підвищує ефективність і дозволяє масштабувати систему,

однак в той же час піддає дані ризику [6].

На сучасному ринку хмарних технологій існує досить високий рівень конкуренції між постачальниками програмного забезпечення, тому в цілях орієнтації на майбутніх випускників, які вже знайомі з хмарними сервісами, такі сервіси для освітніх організацій надаються на безоплатній основі. На даний момент серед ряду постачальників хмарних технологій (слід виділити Google Apps for Education і Microsoft Live@Edu), які дозволяють освітнім установам використовувати вбудовані сервіси на безкоштовній основі. Використання хмарних сервісів даних компаній здатне забезпечити вирішення наступних задач [7]:

- 1) створення навчальних груп на базі кожного лекційного потоку;
- 2) організація календаря навчальних завдань на семестр з можливістю автоматичного оповіщення членів групи;
- 3) проведення обговорення тем лекційних занять;
- 4) виконання групових проектів;
- 5) розміщення навчальних матеріалів з можливістю їх поновлення в поточному файлі;
- 6) отримання студентами завдань і звітність про їх виконання;
- 7) організація різних форм контролю;
- 8) моніторинг виконання навчальних завдань на протязі всього семестру.

Однак на сьогоднішній день недостатньо опрацьовані методичні та технологічні аспекти застосування хмарних технологій в освітньому процесі, їх використання не регламентується міжнародними стандартами або законодавчою базою, а функціональні можливості ще обмежені і не дозволяють остаточно конкурувати з локальними аналогами.

З кожним роком зростає число ВНЗ, які використовують хмарні технології. Не всі організації відразу повністю переїжджають в хмару, але статистика говорить і про те, що все більше ВНЗ сьогодні використовують відразу декілька хмарних середовищ, в залежності від поставлених завдань. Також сучасні віртуальні пристрої сприяють все більшому проникненню ідеї BYOD (Bring Your Own Device), а технології контейнерної віртуалізації під патронажем великих гравців ринку неодмінно підуть в маси. BYOD - це варіант організації робочого місця користувача, при якому він використовує власні пристрої для роботи з ресурсами ВНЗ. Наприклад, він може прийти з домашнім ноутбуком, підключитися до мережі Wi-Fi і почати роботу з електронними курсами. Ця ідея давно набула популярності за кордоном завдяки бажанню людей працювати зі звичними пристроями. Що стосується обладнання, то в якості термінальних клієнтів можуть використовуватися навіть смартфони. Це може стати наступним великим кроком в середовищі ВНЗ. Вже сьогодні існують постачальники, які пропонують віртуальну мобільну інфраструктуру (VMI). Тут мобільний телефон користувача виступає в ролі «тонкого клієнта», а ОС працює на віддаленому сервері.

Для реалізації подібних проектів може бути доцільним використання інформаційних технологій, таких як знанняпроводні мережі (ЗПМ). ЗПМ - це комплекс мережевих освітніх технологій і хмарних сервісів, які покращують якість навчання за рахунок використання алгоритму розв'язання винахідницьких задач в області електронного навчання [8]. Все це може бути реалізовано на базі хмарових сервісів, що забезпечує контент автоматизованої навчальної системи [9], що функціонує спільно з багаторівневим послідовно-фреймовим тьютором, комплексом електронних навчальних курсів і можливістю дистанційного і мобільного отримання знань. В цьому випадку результати навчання фіксуються за допомогою електронних документів як рейтинг, досягнутий під час навчального процесу [10–17]. Таким чином, користувачі отримують корпоративні «хмарні» послуги, попит на які в силу складаються сучасних тенденцій зростатиме. ВНЗ можуть з часом відмовитись від організації зберігання даних у себе, вважаючи за краще отримувати сервіси ззовні. Сьогодні замовників цікавлять приватні «хмари» і «хмари» в Data-центрах, але в найближчий час з'явиться тенденція до їх об'єднання в єдину хмарну інфраструктуру. ЗПМ як і система електронного навчання університету, яка реалізована на хмарній платформі, має в своєму складі наступні компоненти:

- 1) Data-центр електронних навчальних курсів - електронну бібліотеку, хмару (колективний ресурс);
- 2) дистанційне навчання – додатки (сервіс) для віддаленої роботи, в тому числі з використанням смартфонів;
- 3) аудиторні заняття - реалізуються за допомогою автоматизованої навчальної системи і багаторівневого послідовно-фреймового тьютора (апаратно-програмний ресурс).

ВНЗ є своєрідною екосистемою (цілісною і самодостатньою), а електронна бібліотека - один з її головних компонентів. Заповнення бібліотеки контентом – найбільш складне завдання, бібліотека є акумулятором передових інформаційних технологій, вона виконує функції інструменту для створення презентацій і сховища даних з функціями файлообміну.

Тема економічного обґрунтування переходу в хмари залишається актуальною зважаючи на те, що і в спеціалізованій літературі, і в Internet-ЗМІ про неї зазвичай пишуть недостатньо. З одного боку, сама по собі модель техніко-економічних розрахунків досить проста і зводиться до звичайної калькуляції одноразових і експлуатаційних витрат. З іншого, зібрати точні вхідні дані для коректного розрахунку – досить складне завдання. Загалом техніко-економічні розрахунки носять орієнтовний характер, їх варто проводити, якщо виникла проблема обґрунтувати доцільність модернізації IT-інфраструктури ВНЗ і вибрати найбільш ефективний (в тому числі з економічних позицій) варіант реалізації IT-інфраструктури з числа можливих альтернатив. Необхідність зробити техніко-економічне обґрунтування переходу в хмару зазвичай виникає в двох випадках:

- 1) назріло питання модернізації існуючої інфраструктури;

2) потрібні нові ресурси під проект, планове розширення або планується створення ІТ-інфраструктури з нуля.

Саму ІТ-інфраструктуру можна поділити на три частини: майданчик розміщення, обладнання і середовище віртуалізації. Кожну з цих частин можна віддати на аутсорсинг разом з завданнями нижчого рівня. Основними варіантами для порівняння з точки зору можливості використання хмари (або аутсорсингу) можуть виступати:

- 1) закупівля обладнання і розміщення його у власній серверній;
- 2) закупівля обладнання і розміщення його в Data-центрі;
- 3) оренда обладнання в Data-центрі;

4) оренда віртуальних потужностей в Data-центрі (хмара в моделі IaaS). В рамках перерахованих варіантів можливі різні архітектурні рішення, що забезпечують, відповідно, різний коефіцієнт готовності ІТ-інфраструктури при різній вартості. Тому порівнювати економічну ефективність різних варіантів інфраструктури «as-is» некоректно, для цього потрібно визначити необхідний для роботи коефіцієнт готовності ІТ-інфраструктури і привести кожен з варіантів до бажаного значення цього параметра.

Отже, незважаючи на велику різноманітність засобів інформаційно-комунікаційних технологій, що використовуються в освіті, і багатоваріантності побудови освітнього середовища ВНЗ, значущими з точки зору викладачі стають СДН, які побудовані з використанням хмарних сервісів. І якщо традиційні системи управління освітнім процесом являють собою «вертикальну» освітню технологію, яка відображатиме традиційну модель навчання в сучасному освітньому середовищі, то використання хмарних сервісів, реалізує вже «горизонтальну» освітню технологію спільної діяльності мережевої спільноти. Таким чином, поряд з інформаційно-освітнім середовищем ВНЗ, викладач отримує можливість проводити моделювання і побудову власного предметно-орієнтованого інформаційного середовища, яке найбільшою мірою відповідає завданням вивчення його дисципліни, і при цьому використовувати нові методи навчання, взаємодії зі студентами та управління навчальною діяльністю.

Висновки

З огляду на все вище зазначене, можна зробити висновок, що розвиток хмарних обчислень, незважаючи на виклики і ризики, все-таки є тенденцією. Тому доцільно брати участь в описаних вище процесах для того, щоб дійсно отримувати доступ до нових можливостей, які з'являються в зв'язку з розвитком хмарних обчислень та великих центрів даних.

Література

1. Вайндорф-Сысоева М.Е, Шитова В.А. О моделях применения дистанционных образовательных технологий в современном вузе [Текст] / М. Е. Вайндорф-Сысоева, В. А. Шитова // Вестник МГГУ, серия «Педагогика и психология». - № 4, - 2013. С. 29-34.
2. Tolbatov A. Information technologies in the educational process as the basis of modern distance learning [Text] / Oleksandr Viunenکو, Andrii Tolbatov, Svitlana Vyganyaylo, Volodymyr Tolbatov, Svitlana Agadzhanova, Sergii Tolbatov // IEEE TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 831–833.
3. Mell P., Grance P. The NIST Definition of Cloud Computing [Electronic Resource] // NIST: Information Technology Laboratory 10.07.2009. URL: <http://www.nist.gov/itl/cloud/upload/cloud-def-v15>.
4. Батура Т.В., Мурзин Ф.А., Семич Д.Ф. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития // Программные продукты, системы и алгоритмы. – Вып. 1 от 07.03.2014. <http://swsys-web.ru/cloudcomputing-basic-concepts-problems.html>
5. Zhu, J. Cloud Computing Technologies and Applications // Handbook of Cloud Computing – New York: Springer, 2010. – P. 21-47.
6. Rubin, E. Making The Cloud Secure For Your Enterprise [Electronic resource]/ E. Rubin // Cloudbook – 2010. – Vol. 1, Issue 3. – Режим доступу: <http://www.cloudbook.net>.
7. Ступина Мария Валерьевна Облачные технологии как основа формирования информационно-образовательной среды вуза в контексте смешанного обучения // КПЖ. 2015. №5-2 (112). С.290-293.
8. Рогольский Е. С. Роль электронного обучения в формировании современного образовательного пространства // Инновационные технологии в образовании : монография / Г. В. Яковлева, С. А. Павлова, Е. С. Рогольский [и др.]; под общ. ред. Н. В. Лалетина; Сиб. федер. ун-т ; Краснояр. гос. пед. Ун-т им. В. П. Астафьева. Красноярск : ООО «Центр информации», ЦНИ «Монография», 2013. С. 159–181.
9. Рогольский Е. С. Аспекты использования систем управления учебным процессом при внедрении сетевых обучающих технологий // Столичное образование сегодня. 2010. № 6. С. 113.
10. Рогольский Е. С. Практические подходы к решению задач электронной педагогики // Современные информационно-коммуникационные технологии в образовании: монография/ Е. С. Рогольский, Е. В. Елисеева, С. Н. Злобина [и др.]; под общ. ред. Н. В. Лалетина; Сиб. федер. ун-т; Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева [и др.]. Красноярск: Центр информации, 2012. 220 с.
11. В'юненко, О.Б. Використання інтелектуальних агент-менеджерів для побудови адаптивних систем дистанційного навчання [Текст]/ О.Б. В'юненко // З досвіду організації дистанційного навчання з використанням LMS Moodle : Матеріали міжвузівського науково – методичного вебінара, 27 лютого 2013 р. – Харків: РВВ ХТЕІ КНТЕУ, 2013. – С. 10.
12. Толбатов, А.В. Досвід впровадження технологій дистанційного навчання у вищій аграрній школі [Текст] / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, С.В. Агаджанова, К.Х. Агаджанов-Гонсалес, Н.Л. Барченко, О.И. Зоренко, В.Г. Логвіненко, С.В. Толбатов/ Инновационные подходы к развитию образования и

воспитания. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2015. Глава 3. – С. 45–59.

13. Tolbatov, A.V. Modern technologies of distance learning in agrarian higher school / S.V. Ahadzhanova, K.H. Ahadzhanov-Gonsales, A.V. Tolbatov, O.I. Zorenko, V.H. Lohvinenko, N.L. Barchenko, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov // SW Journal Pedagogy, Psychology and Sociology. Scientific world, Ivanovo, 2015. – Volume J21508 (9). [November 2015]. – P. 109–114. – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/j21508.pdf>

14. Tolbatov, A.V. Information technology for data exchange between production purpose integrated automated systems [Текст] / P.M. Pavlenko, A.V. Tolbatov, V.V. Tretiak, S.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, H.A. Smolyarov, O.B. Viunetko // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2016. – №1 –С.86–89.

15. Tolbatov, A. Data Representing and Processing in Expert Information System of Professional Activity Analysis [Text] / Oleh Zaritskiy, Petro Pavlenko, Andriy Tolbatov // IEEE TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 718–720.

16. Толбатов, А.В. Використання персональних навчальних середовищ для організації дистанційної форми навчання [Текст] / А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко // Інформатика, математика, автоматика (ІМА : 2016) : матеріали та програма наук.-техн. конф., 18–22 квітня 2016 р. – Суми : СумДУ, 2016. – С. 159.

17. В'юненко, О.Б. Використання сучасних інформаційних технологій та хмарових сервісів для організації електронного деканату ВНЗ [Текст] / О.Б. В'юненко, А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, С.В. Толбатов // Матеріали XVI міжнародної науково-технічної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (VOTTP-16-2016)” (10-15 червня 2015 р.). – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2016. – С. 205–207.

References

1. Vayndorf-Syisoeva M.E, Shitova V.A. O modelyah primeneniya distantsionnykh obrazovatelnykh tehnologiy v sovremennom vuze [Tekst] / M. E. Vayndorf-Syisoeva, V. A. Shitova // Vestnik MGGU, seriya «Pedagogika i psihologiya». - № 4, - 2013. S. 29-34.

2. Tolbatov A. Information technologies in the educational process as the basis of modern distance learning [Text] / Oleksandr Viunenko, Andrii Tolbatov, Svitlana Vyganyaylo, Volodymyr Tolbatov, Svitlana Agadzhanova, Sergii Tolbatov // IEEE TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 831–833.

3. Mell P., Grance P. The NIST Definition of Cloud Computing [Electronic Resource] // NIST: Information Technology Laboratory 10.07.2009. URL: <http://www.nist.gov/itl/cloud/upload/cloud-def-v15>.

4. Batura T.V., Murzin F.A., Semich D.F. Oblachnyie tehnologii: osnovnyie ponyatiya, zadachi i tendentsii razvitiya // Programmnyie produkty, sistemy i algoritmy. – Vyip. 1 ot 07.03.2014. <http://swsys-web.ru/cloudcomputing-basic-concepts-problems.html>

5. Zhu, J. Cloud Computing Technologies and Applications // Handbook of Cloud Computing – New York: Springer, 2010. – P. 21-47.

6. Rubin, E. Making The Cloud Secure For Your Enterprise [Electronic resource] / E. Rubin // Cloudbook – 2010. – Vol. 1, Issue 3. – Режим доступу: <http://www.cloudbook.net>.

7. Stupina Mariya Valerevna Oblachnyie tehnologii kak osnova formirovaniya informatsionno-obrazovatelnoy sredy vuza v kontekste smeshannogo obucheniya // KPZh. 2015. №5-2 (112). S.290-293.

8. Rogalskiy E. S. Rol elektronnoy obucheniya v formirovaniy sovremennogo obrazovatelnoy prostranstva // Innovatsionnyie tehnologii v obrazovanii : monografiya / G. V. Yakovleva, S. A. Pavlova, E. S. Rogalskiy [i dr.]; pod obsch. red. N. V. Laletina; Sib. feder. un-t; Krasnoyarsk gos. ped. Un-t im. V. P. Astafeva. Krasnoyarsk : OOO «Tsentr informatsii», TsNI «Monografiya», 2013. S. 159–181.

9. Rogalskiy E. S. Aspektyi ispolzovaniya sistem upravleniya uchebnym protsessom pri vnedrenii setevykh obuchayuschiy tehnologiy // Stolichnoe obrazovanie segodnya. 2010. № 6. S. 113.

10. Rogalskiy E. S. Prakticheskie podhody k resheniyu zadach elektronnoy pedagogiki // Sovremennyye informatsionno-kommunikatsionnyie tehnologii v obrazovanii: monografiya/ E. S. Rogalskiy, E. V. Eliseeva, S. N. Zlobina [i dr.]; pod obsch. red. N. V. Laletina; Sib. feder. un-t; Krasnoyarsk gos. ped. un-t im. V. P. Astafeva [i dr.]. Krasnoyarsk: Tsentr informatsii, 2012. 220 s.

11. V'iuenko, O.B. Vykorystannia intelektualnykh ahent-menedzheriv dlia pobudovy adaptivnykh system dystantsiinoho navchannia [Tekst] / O.B. V'iuenko // Z dosvidu orhanizatsii dystantsiinoho navchannia z vykorystanniam LMS Moodle : Materialy mizhvuzivskoho naukovo – metodychnoho vebinara, 27 liutoho 2013 r. – Kharkiv: RVV KhTEI KNTEU, 2013. – С. 10.

12. Tolbatov, A.V. Dosvid vprovadzhennia tekhnolohii dystantsiinoho navchannia u vyshchyi ahrarnii shkoli [Tekst] / A.V. Tolbatov, V.A.Tolbatov, S.V. Ahadzhanova, K.Kh. Ahadzhanov-Honsales, N.L. Barchenko, O.Y. Zorenko, V.H. Lohvinenko, S.V. Tolbatov / Ynnovatsyonnye podkhody k razvitiyu obrazovaniya y vospytaniya. – Odessa: KUPRYENKO SV, 2015. Hlava 3. – S. 45–59.

13. Tolbatov, A.V. Modern technologies of distance learning in agrarian higher school / S.V. Ahadzhanova, K.H. Ahadzhanov-Gonsales, A.V. Tolbatov, O.I. Zorenko, V.H. Lohvinenko, N.L. Barchenko, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov // SW Journal Pedagogy, Psychology and Sociology. Scientific world, Ivanovo, 2015. – Volume J21508 (9). [November 2015]. – P. 109–114. – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/j21508.pdf>

14. Tolbatov, A.V. Information technology for data exchange between production purpose integrated automated systems [Текст] / P.M. Pavlenko, A.V. Tolbatov, V.V. Tretiak, S.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, H.A. Smolyarov, O.B. Viunetko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmelnytskyi, 2016. – №1 –С.86–89.

15. Tolbatov, A. Data Representing and Processing in Expert Information System of Professional Activity Analysis [Text] / Oleh Zaritskiy, Petro Pavlenko, Andriy Tolbatov // IEEE TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 718–720.

16. Tolbatov, A.V. Vykorystannia personalnykh navchalnykh seredovyshch dlia orhanizatsii dystantsiinoy formy navchannia [Tekst] / A.V. Tolbatov, O.B. V'iuenko // Informatyka, matematyka, avtomatyka (ІМА : 2016) : materialy ta prohrama nauk.-tekh. konf., 18–22 kvitnia 2016 r. – Sumy : SumDU, 2016. – С. 159.

17. V'iuenko, O.B. Vykorystannia suchasnykh informatsiynykh tekhnolohii ta khmarovykh servisiv dlia orhanizatsii elektronnoho dekanatu VNZ [Tekst] / O.B. V'iuenko, A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov // Materialy XVI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii “Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh (VOTTP-16-2016)” (10-15 chervnia 2015 r.). – Odesa–Khmelnyskiy : KhNU, 2016. – S. 205–207.

Рецензія/Peer review : 19.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РОСЛИННИЦТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОТОЧНОГО ТА ПРОГНОЗОВАНОГО АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

Запропонована динамічна модель керування якістю виконання технологічних операцій із використанням інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпечення керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь із використанням поточного та прогнозованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. Належне керування агробіологічним станом ґрунтового середовища не можливе без прогнозування динаміки зміни його стану. На сучасному етапі найбільш широко використовують традиційні системи моніторингу, на основі лабораторного аналізу. Проте навіть володіння такою інформацією не може забезпечити належну якість виконання технологічних операцій відповідно до агробіологічного стану ґрунтового середовища. Саме тому виникає необхідність у розробці динамічної моделі керування якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпечення керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь із використанням прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу.

Ключові слова: технічна система оперативного моніторингу, прогностично-компенсаційна технологія, якість виконання технологічного процесу, агробіологічний стан, технологічний процес.

О.О. БРОВАРЕЦЬ

National University of Life and Environmental Science of Ukraine

INFORMATIVE-TECHNICAL SYSTEMS OF QUALITY MANAGEMENT OF IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN PLANT-GROWER WITH THE USE OF CURRENT AND FORECAST AGROBIOLOGICAL STATUS OF AGRICULTURAL LANDS

The offered dynamic case frame by quality of implementation of technological operations with the use of the informative-technical systems of the operative monitoring in the plant-grower for by providing of the guided agrobiological state of agricultural lands with the use of current and forecast agrobiological status of agricultural lands. The proper management by the agrobiological state of the ground environment is not possible without prognostication of dynamics of change of his state. On a modern stage the traditional systems of monitoring are most widely used, on founded to laboratory analysis. However even the domain by such information can not provide the proper by quality of implementation of technological operations according to the agrobiological state of the ground environment. For this reason there is a necessity in development of dynamic case frame by quality of implementation of technological operations with the use of the technical systems of the operative monitoring in the plant-grower for by providing of the guided agrobiological state of agricultural lands with the use of prognostic-compensative technology of the differentiated bringing of technological material.

Keywords: technical system of the operative monitoring, compensative technology, quality of vicoannya technological process, agrobiological state, technological process.

Вступ

Мета дослідження - інформаційно-технічні системи керування якістю виконання технологічних процесів у рослинництві з використанням поточного та прогнозованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Сьогодні досягти істотного підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва лише удосконаленням конструкції машинно-тракторних агрегатів неможливо. Тому вельми нагальною необхідністю є підвищення якості виконання технологічних операцій, за рахунок проведення моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Традиційні системи моніторингу стану сільськогосподарських угідь не забезпечують належної продуктивності та якості моніторингу. Тому виникає необхідність розробки нових сенсорних систем моніторингу стану сільськогосподарських угідь. Найбільшу ефективність моніторингу варіабельності параметрів ґрунтового середовища на сучасному етапі показали сенсорні системи вимірювання електропровідності та електромагнітної індукції стану сільськогосподарських угідь та системи технічного зору (реалізація за допомогою спектрометрів). Показники отримані з використанням даних таких систем можна використовувати, як опосередковані дані про варіабельність параметрів стану ґрунтового середовища [1-10].

Швидкий опис мінливості сільськогосподарських угідь - важливий компонент для зональних методів управління. Точне сільське господарство вимагає точних даних про вміст поживних речовин, яких бракує у ґрунті, щоб досягти максимального прибутку при найменших затратах. Очевидно, що датчик ґрунтової електропровідності - корисний інструмент в картографії ґрунтів, щоб ідентифікувати області варіабельності ґрунтових властивостей [2].

Основний текст статті

У процесі синтезу рішень щодо динамічної моделі керування якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпечення

керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь із використанням прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу необхідно визначити послідовність дій по управлінню об'єктом (агробіологічним станом ґрунтового середовища), які мають забезпечити максимум або мінімум заданої сукупності критеріїв, що забезпечують якість функціонування об'єкта управління, тобто сільськогосподарською машиною, яка виконує заданий технологічний процес [1-2].

У загальному випадку має довільну систему обмежень при відкритій множині об'єктів спостереження. У такому разі просторі обмежень перетворюється у простір рішення, в якому необхідно синтезувати ланцюжок дій, що за умов цілеспрямованості забезпечать управління об'єктом управління в умовах забезпечення можливості управління [3-6].

Система керування інформаційно-технічними системами (ІТС) керування якістю виконання технологічних процесів у рослинництві може функціонувати в автоматичному та автоматизованому режимах управління. Для автоматизованого режиму управління ІТС маємо ланцюжок «людина-середовище-об'єкт управління» [6].

Проаналізуємо властивості ІТС, які забезпечують керований вплив на якість виконання технологічного процесу з використанням поточного та прогнозованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

У загальному випадку динаміку просторової зміни агробіологічного стану сільськогосподарських угідь за рахунок керованого впливу на якість виконання технологічного процесу з використанням поточного та прогнозованого можна описати системою диференціальних

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= f_1(x_1, \dots, x_n, t, u_1, \dots, u_{n-r}) \\ \frac{dx_r}{dt} &= f_r(x_1, \dots, x_n, \dots, u_1, \dots, u_{n-r}) \\ x_{r+1} &= u_{r+1}(x_1, \dots, x_n, t) \\ x_n &= u_n(x_1, \dots, x_n, t) \end{aligned} \quad (1)$$

Визначимо множину векторів агробіологічного стану сільськогосподарських угідь стану $X(t)$ та управляючих впливів ІТС $U(t)$ для забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів у рослинництві:

$$\begin{aligned} X(t) &= \{x_1, \dots, x_n, t\} \\ U(t) &= \{u_1, \dots, u_{n-r}, t\} \end{aligned} \quad (2)$$

де n - кількість змінних, які описують поточний агробіологічний стану сільськогосподарських угідь, r - кількість впливів управління ІТС.

Шляхом певних математичних перетворень системи (1) маємо отримати нову систему рівнянь, яка є інваріантною до вектора зовнішніх збурень, лінеаризувати отриману систему рівнянь та за умов певних припущень звести її до системи алгебраїчних рівнянь. Вектор рішень такої системи алгебраїчних рівнянь дозволить приблизно визначити поведінку динамічного об'єкта під управлінням ергатичної системи управління в тих чи інших умовах її функціонування.

Зазначений підхід до рішення задачі управління агробіологічним станом сільськогосподарських угідь з використанням поточного та прогнозованого стану на поточний час не використовується розробниками систем управління динамічними об'єктами [8, 10]. Поширеними є методи та критерії, за якими здійснюється аналітичне конструювання регуляторів систем автоматичного та автоматизованого (ергатичного, ручного) управління динамічними об'єктами.

Синтезуємо математичну модель управління динамічним об'єктом, яка є інваріантною до поточного агробіологічного стану ґрунтового середовища та забезпечує керований вплив із використанням інформаційно-технічних систем керування якістю виконання технологічних процесів у рослинництві.

Згідно із співвідношенням (1), існує похідна система диференціальних рівнянь відносно множини керованого управління динамічним об'єктом Φ_u :

$$\dot{X} = \Phi_u(X, t, F(t)) \quad (3)$$

$$\text{де } \dot{X} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dots \\ \dot{x}_n \end{pmatrix}, X = (x_1, \dots, x_n), F(t) = (f_1(t), \dots, f_n(t)), \Phi_u = (\Phi_u', \dots, \Phi_u^n).$$

Виходячи з методу нелінійної інтегральної інваріантності [5], похідну систему рівнянь (1) з урахуванням співвідношення (3) перетворимо таким чином, щоб теоретично повністю виконувались умови інваріантності.

Таким чином, отримаємо систему рівнянь:

$$\frac{dx_1}{dt} = \Phi'_1(x_1, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \quad (4)$$

$$\frac{dx_n}{dt} = \Phi'_n(x_1, \dots, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

У зв'язку з тим, що для системи рівнянь (4) складно досягти вимоги щодо точності виконання умов інваріантності, отримуємо систему рівнянь:

$$\frac{dx_1}{dt} = \overline{\Phi}'_1(x_1, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \quad (5)$$

$$\frac{dx_n}{dt} = \overline{\Phi}'_n(x_1, \dots, x_n, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

де $\overline{\Phi}_u = (\overline{\Phi}'_1, \dots, \overline{\Phi}'_n)$ - множина гарантованого управління динамічним об'єктом $\overline{\Phi}_u$, яка враховує ε -оکیل припустимих значень рішення системи (3).

Слід зазначити, що в системі рівнянь (5) вектор X не є інваріантним до вектора зовнішніх збурень $F(t)$. Разом з тим при цьому існують припустимі відхилення на величину ε поведінки отриманої системи (5) від похідної системи (1).

Якщо компоненти вектора X є обмеженими функціями, для оцінювання рішення системи (1) в ε -околі припустимих значень рішення системи (3), згідно із співвідношенням (2), можна визначити вектор $U(t)$, кожен елемент якого задовольняє умові

$$u_i(t) \geq |x_i^a - x_i| \forall u_i(t) \in U(t) \quad (6)$$

де x_i^a - рішення системи (3), x_i - справжнє значення рішення системи (3).

Співвідношення (6) має задовольнятися на всьому діапазоні значень часу управління динамічним об'єктом:

$$t \in [t_n, t_k] \quad (7)$$

де t_n та t_k - відповідно час початку та закінчення управляючих впливів на динамічний об'єкт.

У такому разі на множині (7) маємо множину управляючих впливів (6), які є рішеннями системи (5), що мають знаходитись у множині простору обмеження параметрів систем (1) та (3).

Границі простору обмежень на значення істотних параметрів управління динамічним об'єктом визначаються рішеннями сукупностей систем диференційних рівнянь для кожної змінної $x_i(t) \in X_i$:

$$\frac{dx_1^a}{dt} = \Phi'_u(x_1^a, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

$$\frac{dx_1}{dt} = \overline{\Phi}'_u(x_1^a, x_2, \dots, x_n, t, f_1(t), \dots, f_n(t)) \quad (8)$$

$$\frac{dx_n^a}{dt} = \Phi'_u(x_n^a, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

$$\frac{dx_n}{dt} = \overline{\Phi}'_u(x_1, \dots, x_n^a, t, f_1(t), \dots, f_n(t))$$

Виходячи з результатів рішення сукупностей систем диференційних рівнянь (8), згідно із співвідношенням (6), визначимо сукупності

$$\begin{aligned} u_i^{\max} &= \sup(u_i(t)) \\ u_i^{\min} &= \inf(u_i(t)) \end{aligned} \quad (9)$$

У такому разі X_i визначає область фазового потоку параметра $x_i(t)$, а співвідношення (9) визначає границі фазового потоку управління $u_i(t)$ ОУ. Слід зазначити, що фазовий простір параметрів для співвідношення (1) є безперервним, а точки перетину з осями координат перерізів фазового простору за обраними парами параметрів не є точками біфуркації параметрів і можуть розглядатись як сідлові точки.

Для кожної змінної $x_i(t)$ визначимо першу похідну функції управління динамічним об'єктом:

$$\frac{du_i(t)}{dt} = L_i(u_i(t), t) + f_i(t) \quad (10)$$

Вид функції $L_i(u_i(t), t)$ обирається з умов інваріантності управління ОУ. Функція $\varphi_i(t)$ визначається за параметрами похідної системи і враховує особливості динаміки ІТС керування якістю виткоання технологічних операцій у рослинництві.

Слід зазначити, що в загальному випадку задача Коші для співвідношення (10) може бути задана з ненульовими початковими умовами.

У загальному випадку функції $L_i(u_i(t), t)$ та $\varphi_i(t)$ визначаються відповідно до системи (3) згідно з умовою

$$L_i(u_i(t), t) = 0, \{\forall i \in [1, n] u_i(t) \geq 0\} \quad (11)$$

Враховуючи співвідношення (10) і (11), функції $L_i(u_i(t), t)$ та $\varphi_i(t)$ можна визначити таким чином:

$$K_i^L = \text{sign}(x_i^a - x_i)$$

$$L_i(u_i(t), t)^3 K_i^L [\Phi_u^i(x_i^a, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t)) - \Phi_u^i(x_i, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t))] = 0$$

$$\varphi_i(t) \geq [\Phi_u^i(x_i^a, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t)) - \Phi_u^i(x_i, t, f_1(t), \dots, f_{i-1}(t), f_{i+1}(t), \dots, f_n(t))] \quad (13)$$

Співвідношення (12) і (13) характеризують властивості отриманої інваріантності та ступінь наближення рішень системи (1) до теоретично можливих рішень у класі функціональних просторів, що визначають множину значень параметрів, при яких можливе рішення системи (1).

Розглянутий метод рішення системи (1) є практично можливим за умови її дифеоморфізму системі (5), що дозволяє розглядати інваріантність області (поля) рішення похідної системи (1) з рішеннями інваріантної системи (5). В такому разі рішення системи (1) з урахуванням співвідношень (12) і (13) можна замінити рішеннями інваріантної системи (5). В такому разі області обмежень параметрів залишаться такими, як і для системи (1).

Таким чином виникають дві задачі:

- розробити методи розрахунку області значень параметрів системи (1) з метою визначення області керованих станів динамічного об'єкта в евклідовому просторі спостереження та пошуку;
- при даному дифеоморфізмі системи (1) знайти область її рішення у вигляді лінійних алгебраїчних рівнянь з метою дослідження таких динамічних властивостей фізичного об'єкта, як керованість, стійкість тощо.

Перша задача досить просто вирішується в аналітичній формі для систем, які вміщують на більше двох рівнянь. Для систем, які вміщують більше двох рівнянь, застосовують ітераційні обчислювальні процедури, що дозволяють визначити області активних керованих станів динамічного об'єкта. При цьому необхідно визначити збіжність процесу обчислень, час обчислень, можливості та засоби визначення точності, умову завершення ітераційного процесу, що є притаманним «ефекту доміно» та «прокляття розмірності». Слід відмітити, що зазначені проблеми пов'язані між собою і вимагають комплексного підходу при їх вирішенні.

За своєю сутністю рівняння, які входять до систем (1), (3)-(5), (8), є Гамільтоновими функціями, а керуючі впливи $U(t)$ змінюють стан фазового простору існування динамічного об'єкта. У такому разі співвідношення (12) і (13) визначають принцип найменшої (стаціонарної) дії рівняння Гамільтона. Співвідношення (8), (10) і (11) описують гамільтоніан, який при застосуванні дужок Пуассона дозволяє використовувати дужки Лі в алгебрі Пуассона, що вирішує другу задачу, а саме можливості використання алгебраїчних рівнянь замість диференціальних, що значно спрощує знаходження рішення системи (1). Слід зазначити, що рівняння Гамільтона у класичній механіці є аналогом рівняння Гейзенберга у квантовій механіці і дозволяє враховувати ймовірну невизначеність обмежень і властивостей простору спостереження та пошуку, в якому здійснюється переміщення динамічного об'єкта.

Виходячи з початкових умов для рішення системи (1), можна визначити функції для обчислення границь перерізів фазового простору ОУ площинами в ортогональній евклідовій n -мірній системі координат [1,2]:

$$z_i^j = A \cdot x_i + B \cdot x_j, \quad i \in [1, \dots, n], \quad j \in [1, \dots, n], \quad i \neq j \quad (14)$$

Границю фазового простору в перерізі площиною (14) визначимо параметрично заданою функцією

$$x_i = u_i(x_1, \dots, x_n, t), \quad (15)$$

$$x_j = u_j(x_1, \dots, x_n, t)$$

яка визначає граничний цикл або аттрактор перерізу фазового простору:

$$x_i = x_i(x_j) \quad (16)$$

Атрактор за співвідношеннями (15) та (16) є замкненою кривою на площині, до якої асимптотично притягаються усі навколишні траєкторії, які виходять з різних початкових точок всередині і зовні граничного циклу.

Слід зазначити, що позитивним аспектом є те, що більшість диференціальних рівнянь системи (1), які виходять з різних початкових умов, показують схожу поведінку рішень. Зокрема, при $t \rightarrow \infty$ цілі сімейства рішень асимптотично наближаються до атракторів, які є стаціонарними точками фазового простору, або до певних замкнених кривих, а саме граничних циклів.

Для визначення параметрів системи (1), які мають взаємний істотний вплив на рішення, скористаємося канонічними рівняннями Гамільтона:

$$\begin{aligned} \dot{p}_j &= \frac{dp_j}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_{jq}} \\ \dot{q}_j &= \frac{dq_j}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial p_j} \end{aligned} \quad (17)$$

У системі (17) p_j є значенням узагальнених координат параметрів, які визначають точки фазового простору, а q_j є значенням узагальнених координат керуючих впливів (імпульсів) на ОУ.

Тобто маємо функцію Гамільтона:

$$H(p, q, t) = \sum \dot{q}_i p_i - L(q, \dot{q}, t) \quad (18)$$

У співвідношенні (18) лагранжیان $L(q, \dot{q}, t)$ є функцією узагальнених координат та відповідних швидкостей.

За рівняннями Ейлера-Лагранжа, згідно з теоремою Бобильова [16], маємо

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0 \quad (19)$$

Для співвідношення (19) визначимо узагальнені керуючі впливи (імпульси) як

$$p = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \quad (20)$$

З урахуванням співвідношення (20) визначимо узагальнені сили, які впливають на переміщення динамічного об'єкта:

$$F = \frac{dL}{dq} \quad (21)$$

Таким чином, отримуємо рівняння Ейлера-Лагранжа:

$$\frac{dp}{dt} = F \quad (21)$$

У такому разі співвідношення (22) визначає для співвідношення (19) узагальнену форму другого закону Ньютона з точністю до повної похідної у часі від довільної функції координат динамічного об'єкта в ПСП. Додавання такої функції у співвідношення (19) не впливає на рівняння переміщення ОУ.

Слід зазначити, що, згідно з гамільтоною механікою, переміщення динамічного об'єкта пов'язане з забезпеченням принципу найменшої дії:

$$S[p, q] = \int \sum_i (p_i \dot{q}_i - H(p, q, t)) dt \quad (23)$$

Для першої варіації дії (23) за умов стаціонарності можна визначити умову найменшої дії:

$$S[p, q] = 0 \quad (24)$$

Згідно із співвідношенням (24), визначаємо:

$$H(p, q, t) = \int \sum_i (p_i \dot{q}_i) dt \quad (25)$$

Таким чином, співвідношення (25) дозволяє кількісно визначити затрати енергії на виконання технологічної операції. При цьому слід зауважити, що термінальне управління для точки простору стану

динамічного об'єкта визначається за співвідношенням (9).

Отже, можна визначити область керованості власне нестійкого динамічного об'єкта за умови опису його просторового переміщення у тривимірному евклідовому просторі. В такому разі управління переміщенням динамічного об'єкта розглядається у трьох ортогональних перерізах простору гарантованого управління динамічним об'єктом у зв'язаній системі координат.

Для похідних параметрів x_i та x_j згідно із співвідношенням (9), можна визначити лінії обмежень

u_i^{\max} , u_i^{\min} , u_j^{\max} та u_j^{\min} , які визначають область C_i^j керованості динамічного об'єкта у площині

змінних. Здійснивши зворотне перетворення області C_i^j з площини змінних $\frac{dx_i}{dt}$ і $\frac{dx_j}{dt}$ у площину

перерізу простору фізичних параметрів x_i та x_j , отримаємо переріз простору параметрів, які відображають переріз простору гарантованого управління динамічним об'єктом.

Висновки

Динамічне управління якістю виконання технологічних операцій із використанням технічних систем оперативного моніторингу у рослинництві для забезпечення керованого агробіологічного стану сільськогосподарських угідь шляхом реалізації прогностично-компенсаційної технології диференційованого внесення технологічного матеріалу може функціонувати в автоматизованому режимі. Для забезпечення керування системою в автоматизованому режимі маємо систему «машина-моніторинг-поле».

Проблема керованості нелінійними динамічними об'єктами на поточний час є не вирішеною. Особливо складною ця проблема є при синтезі рішень щодо управління нелінійними та власно нестійкими динамічними об'єктами (агробіологічним станом ґрунтового середовища) і системами, області керованості яких мають обмеження на управління, а фазовий простір має границю.

За результатами дослідження математичної моделі просторового переміщення динамічного об'єкта запропоновано математичну модель розрахунку простору гарантованого управління окремим динамічним об'єктом. Виходячи з початкових умов для рішення системи диференціальних рівнянь математичної моделі просторового переміщення динамічного об'єкта та принципу інваріантності, визначені функції для обчислення границь перерізів фазового простору площинами в ортогональній евклідовій n -мірній системі координат.

Отримані результати щодо побудови границі області керованості нелінійною динамічною системою мають загальний вигляд та аналогічні принципи максимуму Л.С. Понтрягіна.

Результати імітаційного моделювання показали збіжність з даними, які були отримані при розрахунку основних характеристик динамічного об'єкта, зі сталою структурою системи управління на прикладі літального апарата.

За допомогою даної моделі можна вирішити проблему оптимального використання технологічного та агробіологічного ресурсу для досягнення максимального ефекту при виборі при умові обмеженого використання цих ресурсів.

Література

1. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. Lund ED ; Wolcott MC ; Hanson GP, Thescientificworldjournal [ScientificWorldJournal] 2001 Oct 16; Vol. 1 Suppl 2, pp. 767-76. Date of Electronic Publication: 2001 Oct 16.
2. Адамчук В.В., Мойсеєнко В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. / В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”. – 2002. – Вип. 86. – С. 20-32.
3. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В.І. Кравчука, М.І.Грицишина, С.М.Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.
4. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві. Монографія, НАУ – К., 2005. – 271с.
5. Броварець О.О. Модель реалізації прогностично - компенсаційної технології змінних норм внесення технологічного матеріалу з використанням інформаційно-технічних систем моніторингу стану сільськогосподарських угідь // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2014. – Ч.2, Вип. 196. – С. 111–122.
6. Адамчук В.В., Мойсеєнко В.К., Кравчук В.І., Войтюк Д.Г. Техніка для землеробства майбутнього. / В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ „ІМЕСГ”. – 2002. – Вип. 86. – С. 20-32.
7. Myronenko V., Dubrovin V. Rizeni pracovnich procesu ekologicke techniky. Sbornik prednasek VUZT “Zemedelska technika a biomasa 2004”. Том 5,- Praha, 2004.-С.71-75.
8. Мироненко В.Г. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у

рослинництві. Монографія, НАУ – К.,2005. – 271с.

9. Броварець О.О. Інформаційні технології та технічні засоби нового покоління для моніторингу й забезпечення якості виконання технологічних процесів при вирощуванні сільськогосподарських культур / О.О. Броварець // Научно-практический журнал «Хранение и переработка зерна». – 2013. – № 6 (171). – С. 37-42.

References

1. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. Lund ED ; Wolcott MC ; Hanson GP, Thescientificworldjournal [ScientificWorldJournal] 2001 Oct 16; Vol. 1 Suppl 2, pp. 767-76. Date Electronic Publication: 2001 Oct 16.
2. Adamchouc V.V., Moyseenco V.C., Cravchouc V.I., Voytyoc D.G. Technique for agriculture of future. / In zb.: Mechanization and electrification of agriculture. – Glevaha: NNTs „IMESG”. – 2002. – Vip..86. – S. 20-32.
3. Modern tendencies of development of constructions of agricultural technique / After red. V.I. Cravchouca, M.I.Gritsishina, S.M.Covalya. – С.: Agrarian science, 2004. – 398 s.
4. The Mironenco V.G. hardwares of providing of quality of implementation of technological processes in the plant-grower. Monograph, NAOu – С.,2005. – 271с.
5. Brovarets O.O. Model of realization prognostichno - compensative technology of variable norms of bringing of technological material with the use of the informative-technical systems of monitoring of the state of agricultural lands // Scientific announcer of the National university of biosoursov and prirodocoristouvannya of Ukraine. – С., 2014. – Ch.2, Vip. 196. – S. 111–122.
6. Adamchouc V.V., Moyseenco V.C., Cravchouc V.I., Voytyoc D.G. Technique for agriculture of future. / In zb.: Mechanization and electrification of agriculture. – Glevaha: NNTs „IMESG”. – 2002. – Vip..86. – S. 20-32.
7. Myronenko V., Dubrovin V. Rizeni pracovnich procesu ekologicke techniky. Sbornik prednasek VUZT “Zemedelska technika and biomasa 2004”. Tom 5, - Praha, 2004.-С.71-75.
8. Mironenco V.G. Tehnichni facilities of providing of quality of implementation of technological processes in the plant-grower. Monograph, NAOu – С.,2005. – 271с.
9. Brovarets O.O. Information technologies and hardwares of a new generation for monitoring and providing of quality of implementation of technological processes at growing of agricultural cultures / О.О. Brovarets // The Nauchno-ppactichesciy magazine of «Хранение I perepabotka corn». – 2013. – № 6 (171). – S. 37-42.

Рецензія/Peer review : 19.5.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗБОРУ ДАНИХ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОФІСНИХ ДОДАТКІВ MICROSOFT**

Сучасні системи збору даних для диспетчеризації технологічних процесів або займають достатньо багато часу для розробки (при використанні безкоштовного програмного забезпечення), або ж достатньо дорогі (при використанні готових систем SCADA). Тому актуальним є використання офісних додатків Microsoft для реалізації даної задачі. В роботі запропоновано принцип побудови систем збору даних для їх впровадження в офісних додатках Microsoft, що дозволяє здійснювати аналіз даних в реальному часі, їх статистичну обробку без спеціалізованого програмного забезпечення.

Ключові слова: система збору даних, офісний додаток, обмін даними, реальний час.

S.M. LEVITSKIY, M.P. ROZVODIUK
Vinnytsia National Technical University

**THE AUTOMATION OF DATA ACQUISITION FROM
ELECTROMECHANICAL COMPUTERIZE SYSTEMS FOR MICROSOFT OFFICE APPLICATIONS**

Abstract – Modern data acquisition system for dispatching processes take a lot of time for develop (using free legacy software) or quite expensive (when using ready-made SCADA). So important thing is using the Microsoft Office applications for the implementation of this task. The paper presents the principle of building data acquisition systems for implementation in Microsoft Office applications, allowing to analyze data in real time, their statistical processing without special software.

Keywords: data acquisition system, desktop application, data exchange, real time clock.

Вступ

Сучасні системи збору даних представлені як системи диспетчеризації, розробка яких має досить громіздкий та тривалий процес при використанні безкоштовного програмного забезпечення (legacy software development), або є достатньо капіталомістким продуктом при використанні готових систем SCADA [1-3]. Більшість з комунальних систем збору даних призначено для нагляду за станом технологічного обладнання індивідуальних теплових пунктів та котельні, засобів електроенергообліку і дозволяють: забезпечити служби підприємства актуальними й достовірними даними про роботу обладнання; забезпечити оперативно-технологічний і управлінський персонал підприємства інформацією про хід технологічного процесу і поточний стан обладнання; контролювати вихід інструментальних і технологічних параметрів за граничні аварійні значення; створити передумови для організації єдиної системи WEB-доступу до технологічних параметрів та стану роботи обладнання. Практично на кожному персональному комп'ютері чи ноутбуку використовується офісні додатки Microsoft. Тому доцільно було б використати їх можливості для реалізації даних задач, не витрачаючи додаткових зусиль та коштів на розробку нових чи закупку готових систем SCADA.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка принципу побудови систем збору даних в реальному часі для стандартних офісних додатків персональних комп'ютерів.

Матеріал і результати дослідження

Принцип побудови системи збору даних будемо реалізовувати на прикладі мережевого керування перетворювачем частоти (ПЧ) Altivar 71 фірми Schneider Electric [4].

Для управління ПЧ Altivar 71 в мережі Ethernet використовується комунікаційна карта VW3A3310. Конфігурація комунікаційної карти здійснюється через меню ПЧ, як наведено на рис. 1 [5].

Для моніторингу та управління ПЧ необхідно здійснювати читання / запис наступних реєстрів (табл. 1).

Вказана таблиця реєстрів пристрою є зразком, а при узагальненому підході до побудови систем збору даних пам'ять пристроїв представляється як масив реєстрів, де зберігаються дані як оперативні (наприклад, струм, потужності, частота в електричних лічильниках або температура та витрати в теплових лічильниках), так і накопичувальні (спожита електрична або теплова енергія, спожиті об'єми води, газу, теплоносія тощо). Крім того виробники в реєстрах зазначають ідентифікаційні дані пристроїв (серійний номер, дату випуску, номер партії тощо), які за необхідності також включають до систем збору даних.

В запропонованому підході надання даних до офісного додатку має здійснюватися проміжною програмою-сервером, яка надаватиме дані головній програмі (хост-програмі). Основна задача серверу полягає в отриманні даних з пристрою(ів) за допомогою вбудованого драйвера Ethernet TCP/IP протоколу та



Рис. 1. Налаштування комунікаційної карти ПЧ

Інформаційно-вимірювальні та обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах
 діагностуванні зв'язку з пристроєм(ями), такі програмні сервери мають назву OPC-серверів (OLE for Process Control). Задача хост-програми – відображення, архівування даних, формування команд пристроям відповідно до дій оператора.

Таблиця 1

Список регістрів ПЧ для моніторингу та управління

Регістр (код)	Адреса (dec)	Адреса (hex)	Функція
Команда (CMDD)	8601	0x2199	запис / читання
Завдання (LFRD)	8602	0x219A	запис / читання
Статус (ETAD)	8603	0x219B	читання
Швидкість (RFRD)	8604	0x219C	читання (об/хв)
Напруга (UOP)	3201	0x0C81	читання (В)
Струм (LCR)	3204	0x0C84	читання (0,1 А)

В якості сервера в прикладі використано OPC-сервер MasterOPC Universal Modbus Server [5]. Послідовність налаштування сервера наступна: створення комунікаційного вузла з вказаною IP-адресою та портом; створення пристрою з вибраним протоколом обміну даними; створення групи тегів для пристрою з назвою-ідентифікатором; створення списку тегів відповідно до адрес регістрів. Вказана послідовність наведена на рис. 2-4.

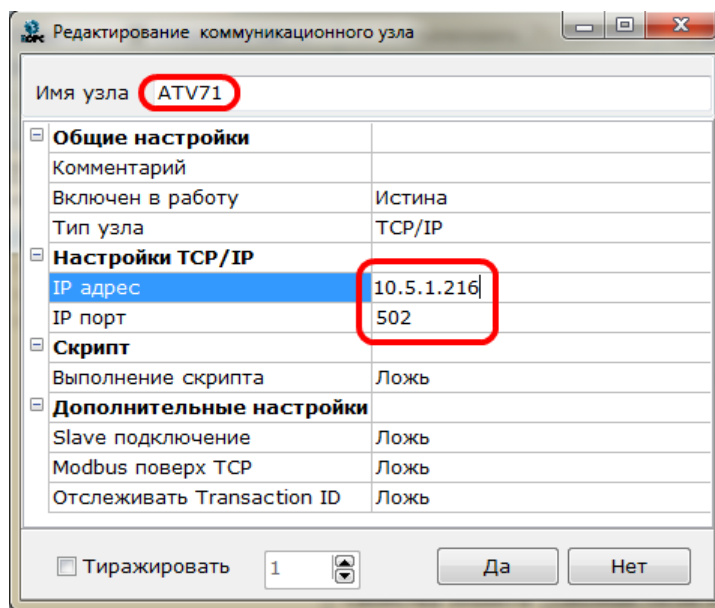


Рис. 2. Налаштування комунікаційного вузла OPC-сервера

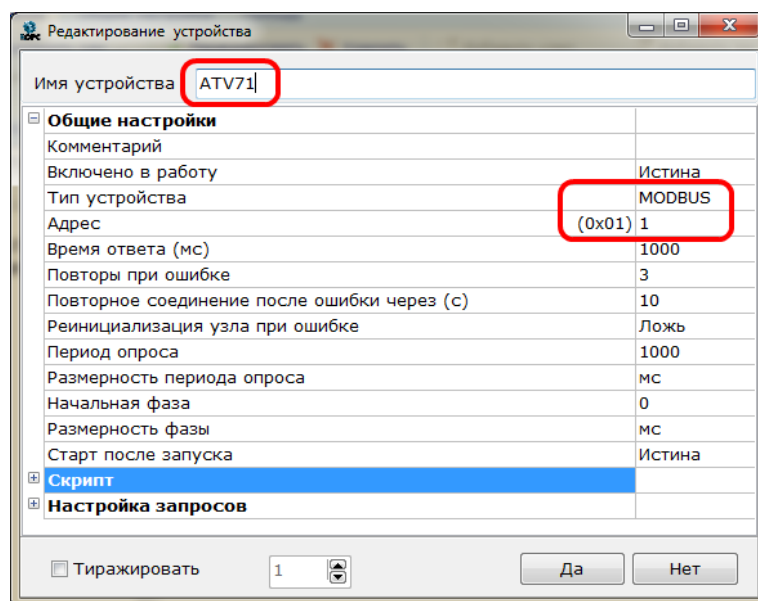


Рис. 3. Налаштування пристрою – джерела даних OPC сервера

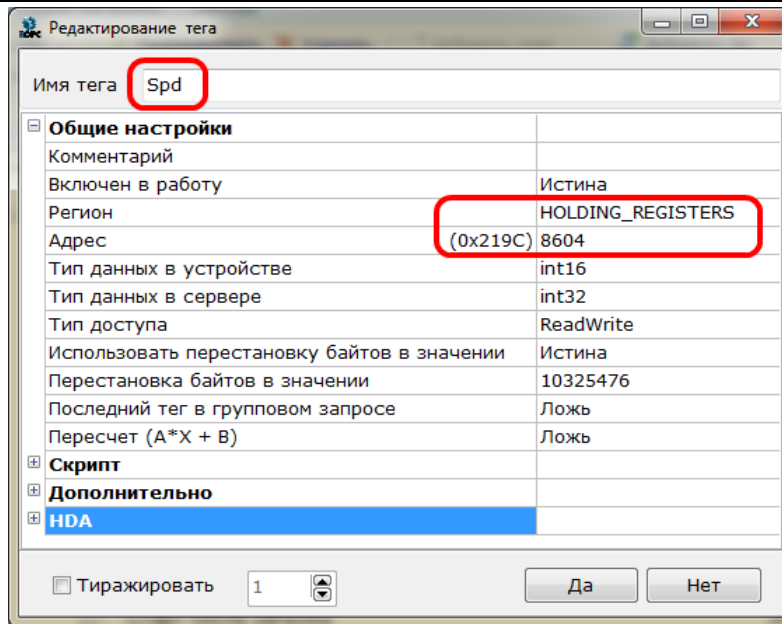


Рис. 4. Налаштування тегів OPC сервера

Після проведених налаштувань відповідно до табл. 1 конфігурація сервера зберігається і його можна запустити для тестування зв'язку з ПЧ. Запущений сервер в роботі при відсутності помилок зв'язку відповідає вигляду вікна на рис. 5.

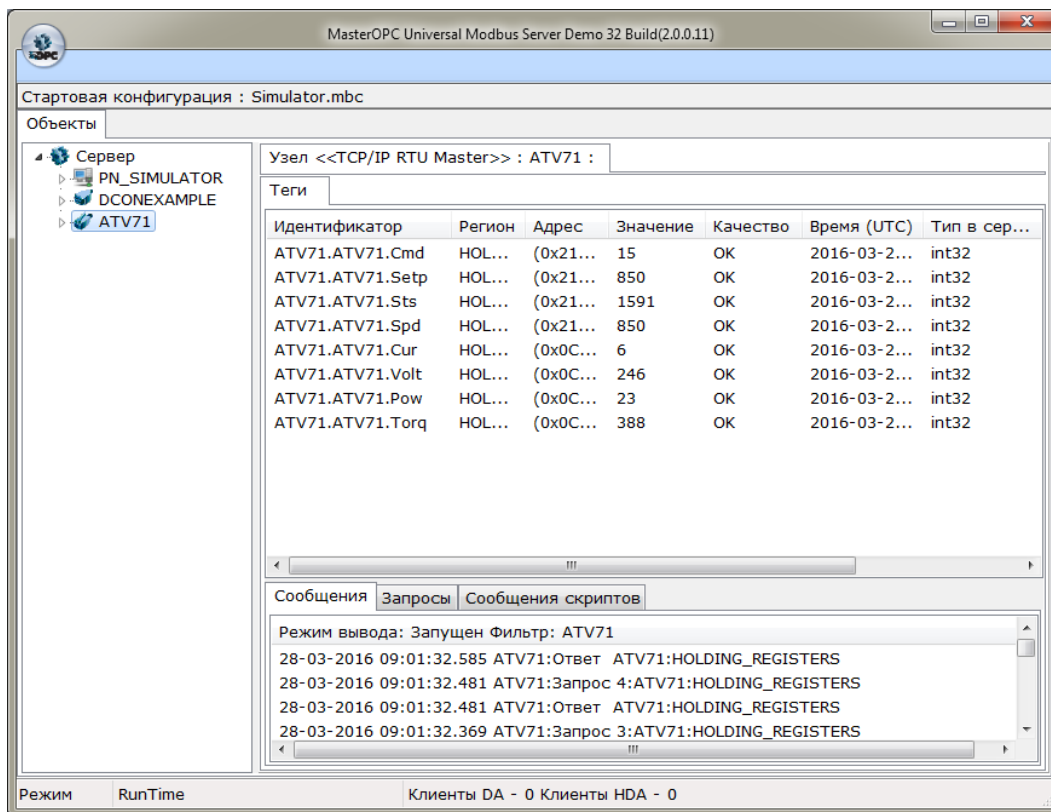


Рис. 5. OPC сервер в режимі роботи

В якості хост-програми використаємо додаток MS Excel. Отримання даних з OPC в реальному часі в додатку відбувається шляхом періодичного виклику макросу зв'язку з OPC-сервером. Структура макросу відповідає запропонованому алгоритму на рис. 6.

Перед розробкою коду програми створюється файл в офісному додатку, в якому і будуть зберігатись зібрані з допомогою OPC-сервера дані. Для запропонованого прикладу з ПЧ зразок конфігурації файлу наведено на рис. 7. В додатку використано елементи Button та ScrollBar з форм керування.

Відповідно до розробленого алгоритму, в вбудованому редакторі Visual Basic for Application розробляється код основної програми. Перед розробкою слід підключити до проекту бібліотеку обміну даними з OPC під назвою OPCDAAuto.dll (OPC Data Access dynamic library) за зразком на рис. 8.

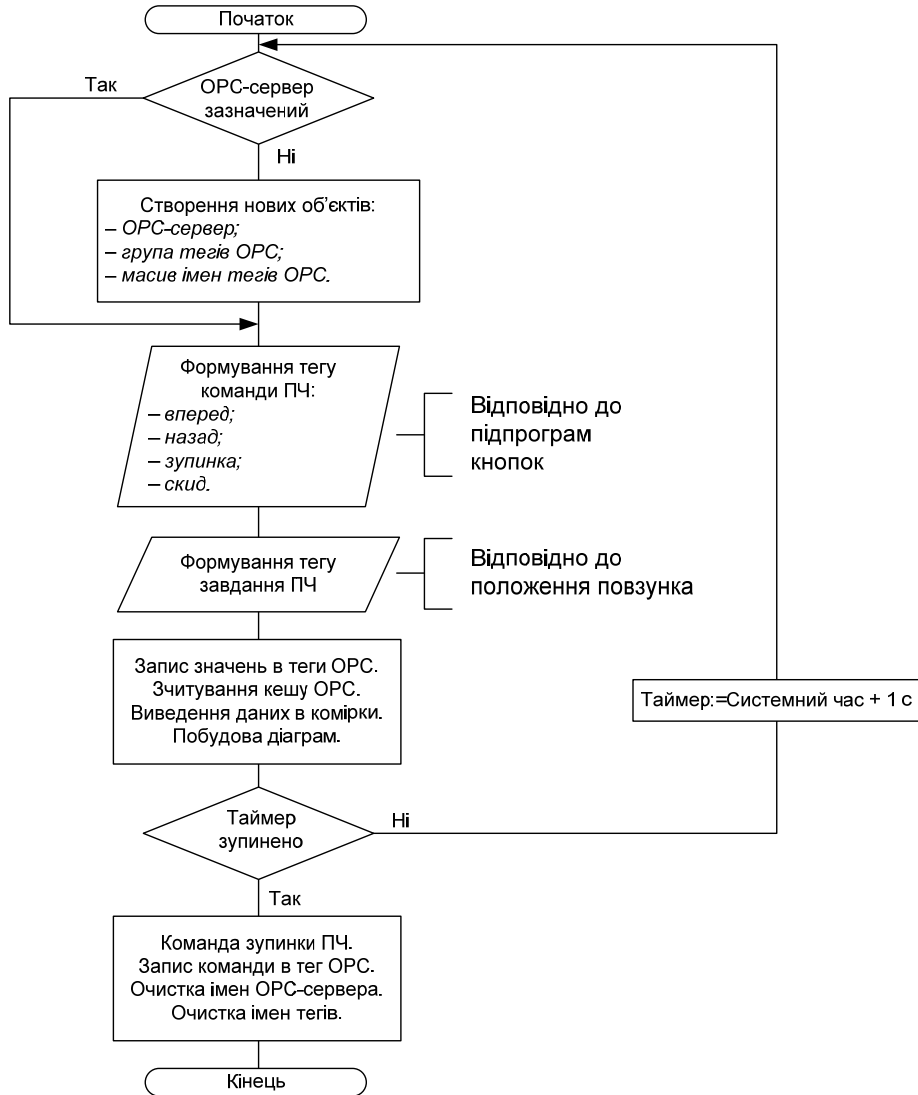


Рис. 6. Алгоритм макросу хост-програми обміну даними з OPC-сервером

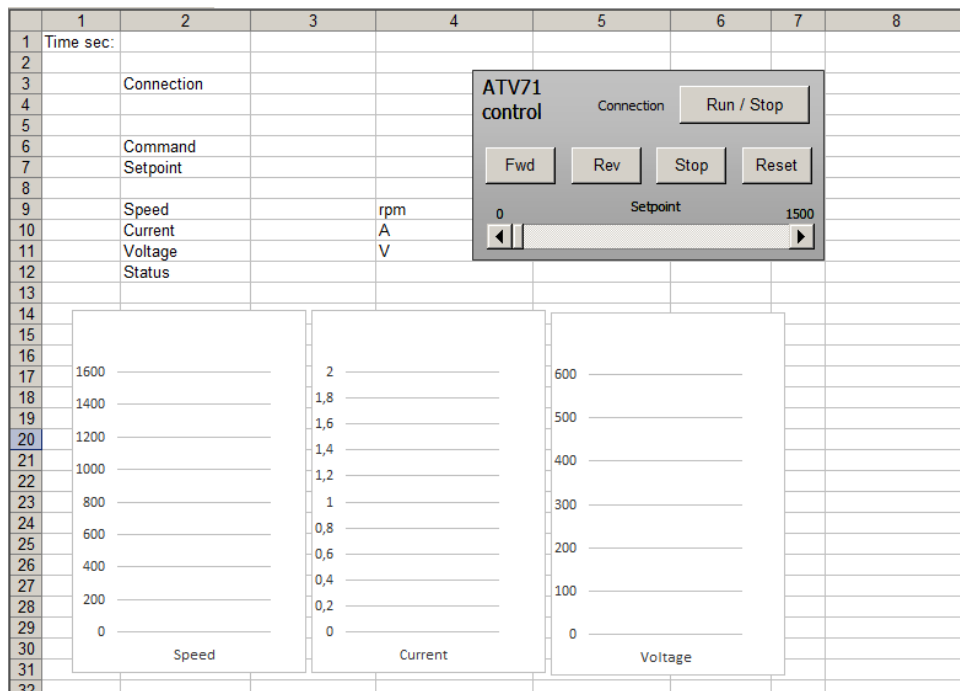


Рис. 7. Файл додатку системи збору даних на прикладі ПЧ

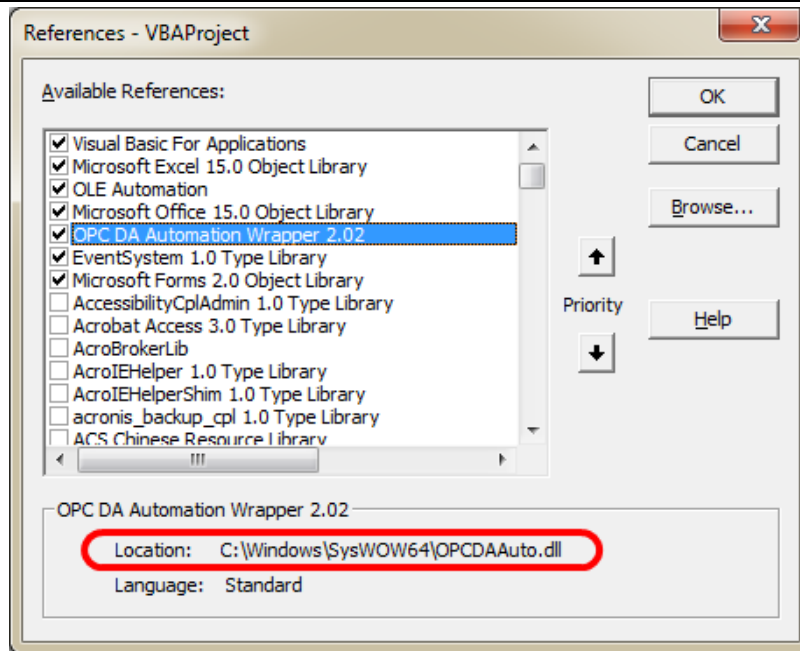


Рис. 8. Включення динамічних бібліотек в макрос додатку

Якщо вказані бібліотеки вже додано до списку, то наступним етапом являється розробка коду програми (названа Connect(), яка працює в фоновому режимі при відкритому додатку). Код програми наведено нижче.

```

Public Server As OPCServer           ' OPC-сервер (OLE for Process Control)
Public Group As OPCGroup
Public StopConnect As Boolean        ' Старт / Стоп з'єднання
Public tagname(7) As String, OPCTags(7) As OPCItem ' імена тегів OPC
Public Value, Quality, TimeStamp As Variant ' параметри тегів OPC
Public i, j, TimeCount As Integer
Sub Connect()                        ' основна програма отримання даних
If Server Is Nothing Then
Set Server = New OPCServer           ' установка нового OPC-сервера
Server.Connect "InSAT.ModbusOPCServer.DA" ' ім'я нового OPC-сервера
Set Group = Server.OPCGroups.Add("ATV71") ' ім'я комунікаційного вузла OPC-сервера
For i = 1 To 6
tagname(i) = "ATV71.ATV71."         ' імена тегів "ім.вузла.ім.пристрою.ім.тега"

tagname(1) = tagname(1) & "Cmd"
tagname(2) = tagname(2) & "Setp"
tagname(3) = tagname(3) & "Spd"
tagname(4) = tagname(4) & "Cur"
tagname(5) = tagname(5) & "Volt"
tagname(6) = tagname(6) & "Sts"

Group.OPCItems.AddItem tagname(i), i ' додавання імен в список тегів OPC
Set OPCTags(i) = Group.OPCItems.Item(i) ' створення масиву тегів OPC
Next i
End If
If StopConnect = True Then          ' дія при роз'єднанні з OPC-сервером
OPCTags(1).Write Лист1.Cells(6, 3).Value ' команда зупинки ПЧ
Server.Disconnect                   ' відключення клієнта від сервера
Set Server = Nothing                ' очистка пам'яті з'єднання
Set Group = Nothing
Set OPCTags(7) = Nothing
Лист1.Cells(3, 3).Value = "OFF"     ' відображення стану з'єднання
Exit Sub                             ' вихід з основної програми
End If
For i = 1 To 6
OPCTags(i).Read OPCache, Value      ' зчитування кешу даних OPC
Next i

```

```

' ===== Write =====
OPCtags(1).Write Лист1.Cells(6, 3).Value      ' Запис команди ПЧ в OPC
OPCtags(2).Write Лист1.Cells(7, 3).Value      ' Запис завдання ПЧ в OPC
' ===== Read =====
Лист1.Cells(9, 3).Value = OPCtags(3).Value     ' Зчитування поточної швидкості (об/хв)
Лист1.Cells(10, 3).Value = OPCtags(4).Value / 10 ' Зчитування поточного струму (0,1 А)
Лист1.Cells(11, 3).Value = OPCtags(5).Value    ' Зчитування вихідної напруги (В)
Лист1.Cells(12, 3).Value = OPCtags(6).Value    ' Слово статусу ПЧ
DoEvents
Application.OnTime Now() + TimeSerial(0, 0, 1), "Connect" ' повт. виклик програми через 1 с
TimeCount = TimeCount + 1
  If TimeCount > 60 Then
    TimeCount = 0
  End If
Лист1.Cells(1, 2).Value = TimeCount            ' відображення роботи таймеру
Лист1.Cells(3, 3).Value = "ON"                ' відображення стану з'єднання
End Sub

```

Додаткові сценарії, які виконуються в додатку, призначені для управління зв'язком або формування команди оператора і призначаються для відповідних елементів керування – кнопок. Сценарій кнопки, яка призначена для запуску/зупинки обміну даними наведено нижче.

```

' ===== RUN/STOP Button =====
Sub Control_Connect()
j = j + 1
  If j > 2 Then
    j = 1
  End If
  Select Case j
Case 1
  Лист1.Cells(6, 3).Value = 7 ' Stop command
  StopConnect = True
Case 2
  StopConnect = False
  Application.Run ("Connect")
End Select
End Sub

```

Сценарій кнопки для пуску ПЧ в напрямку «Вперед» вимагає формування команди за значенням 15, що має бути записана у відповідний тег OPC. Однак для уникнення самовільного пуску ПЧ в тому випадку, коли оператор натиснув кнопку «Вперед», а обмін даними не був запущений, системою формується попереджувальне повідомлення і автоматичний скид команди.

```

Sub Fwd()
If StopConnect = False Then
  Лист1.Cells(6, 3).Value = 15
Else
  MsgBox "Start connection before", vbExclamation & vbOKOnly, "No
Connection"
End If
End Sub

```

За наведеними зразками розробляються сценарії для кнопок пуску ПЧ в напрямку «Назад» (команда = 2063), зупинка (команда = 7) та скид (команда = 6). Зразок прив'язки відповідного сценарію до кнопки наведено на рис. 9.

Зміна завдання формується через положення повзунка елементу керування ScrollBar. В його параметрах налаштування слід прив'язати положення до комірки Excel, що виділена під введення завдання швидкості ПЧ.

Після проведених налаштувань файл системи збору даних зберігається і після натиснення кнопки з прив'язаним макросом Control_Connect() отримуємо дані з ПЧ в додатку за зразком на рис. 10. Діаграми можна додати та налаштувати за вимогами оператора. Зразок додатку в роботі наведено на рис. 11, а відповідний стан ПЧ на рис. 12.

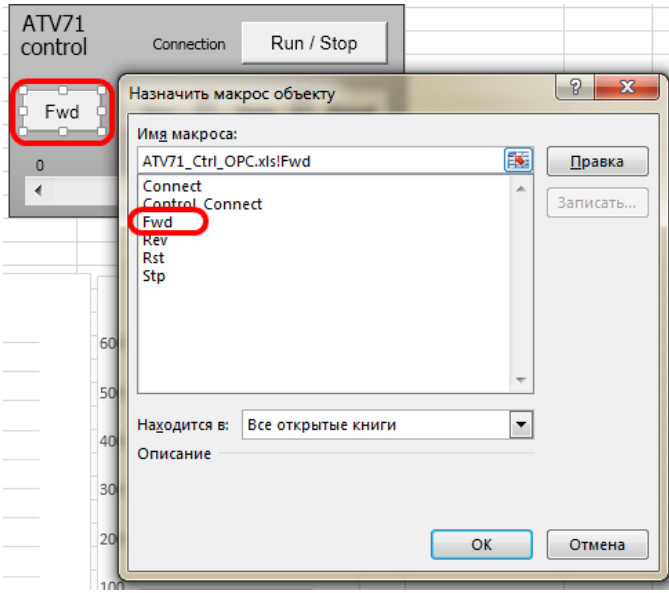


Рис. 9. Прив'язка елементів керування додатку до розроблених сценаріїв

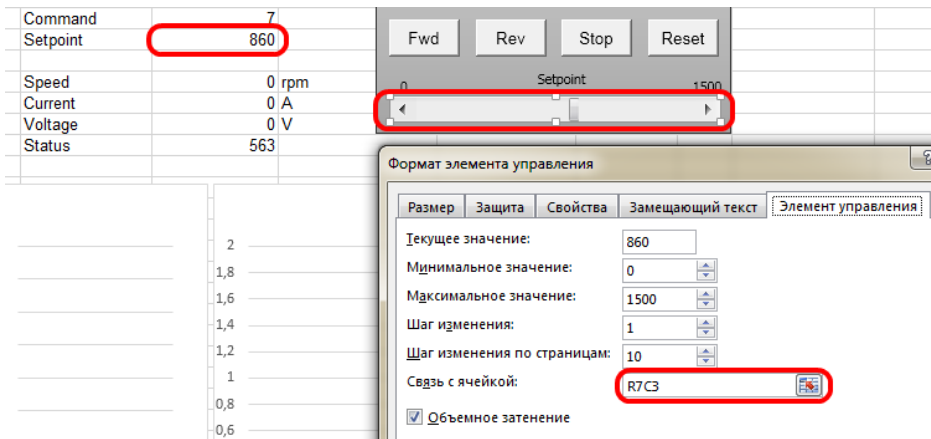


Рис. 10. Прив'язка елементу ScrollBar до комірки завдання швидкості ПЧ

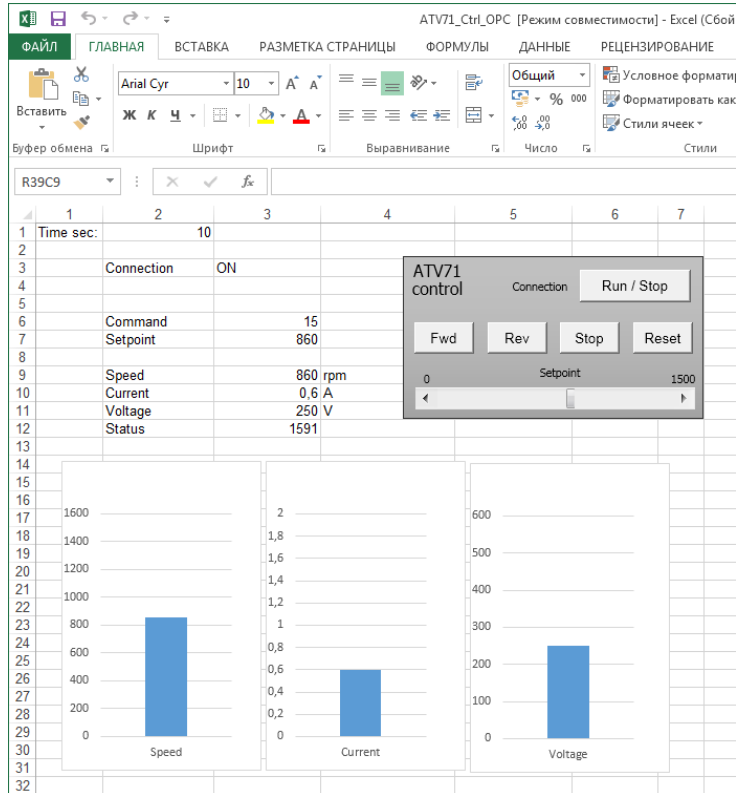


Рис. 11. Система збору даних в роботі

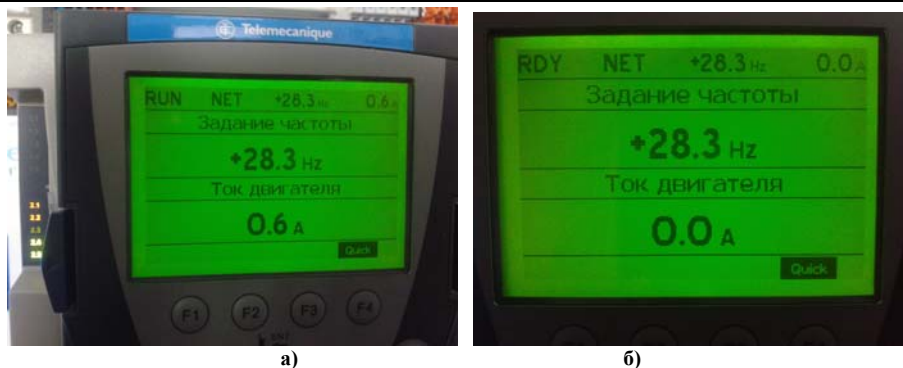


Рис. 12. Стан ПЧ при керуванні від додатку (а – запущено вперед, б – зупинка)

Висновки

Розроблено принципи побудови систем збору даних для їх впровадження в офісних додатках Microsoft, що дозволяють реалізувати аналіз даних в реальному часі, їх статистичну обробку без спеціалізованого програмного забезпечення.

Література

1. Системи диспетчеризації і система SCADA. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/11/11-7/11-70267.html>
2. ОБЛІК ТЕПЛА, ГАЗА, ЕЛЕКТРИКИ, ВОДИ -В ОДНІЙ ПРОГРАМІ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.navicount.com/ua/>
3. Книжник Є. Н. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНИТОРИНГУ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ [Електронний ресурс] / Є.Н. Книжник, А.Л. Перекрест, А.В. Маслівець // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. № 3/2013 (3). – Режим доступу: http://eetecs.kdu.edu.ua/2013_03/EETECSS2013_0302.pdf
4. Altivar 71. Преобразователи частоты для асинхронных электродвигателей. Руководство по программированию. – Schneider Electric, Telemecanique. – 12/2005. – 262 с.
5. Altivar 71. Modbus TCP/IP Ethernet card VW3A3310. User's manual. – Schneider Electric, Telemecanique. – atv71_Ethernet_EN_V1. – 05/2005. – 75 p.

References

1. Systemy dyspetcheryzatsii i systema SCADA. – [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: <http://um.co.ua/11/11-7/11-70267.html>
2. Oblik tepla, haza, elektryky, vody –V Odnij prohrami. – [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.navicount.com/ua/>
3. Knizhnik Ye.N. Informatsiine zabezpechennia dlia viddalenooho monitorynhu teploenerhetychnykh ob'ektiv [Elektronnyj resurs] / Ye.N. Knizhnik, A.L. Perekrast, A.V. Maslivets // Inzhenerni ta osvichni tekhnologii v elektrotekhnichnykh i kompiuternykh systemakh. – № 3/2013 (3). – Rezhym dostupu: http://eetecs.kdu.edu.ua/2013_03/EETECSS2013_0302.pdf
4. Altivar 71. Preobrazovateli chastoty dlia asynkhronnykh elektrodvyhatelej. Rukovodstvo po prohrammyrovanyiu. – Schneider Electric, Telemecanique. – 12/2005. – 262 s.
5. Altivar 71. Modbus TCP/IP Ethernet card VW3A3310. User's manual. – Schneider Electric, Telemecanique. – atv71_Ethernet_EN_V1. – 05/2005. – 75 p.

Рецензія/Peer review : 14.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Кухарчук В.В.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ

В статье рассмотрена общая методика определения временной сложности алгоритмов трассировки лучей и обобщенная архитектура рейтрейсинга. Оценки временной сложности алгоритмов трассировки лучей показывают большие временные затраты на их реализацию, что делает невозможным решение задачи синтеза фотореалистичных изображений в реальном времени без применения высокопроизводительных параллельных вычислительных систем аппаратной поддержки.

Ключевые слова: визуализация, изображение, синтез, трассировка лучей, ускоряющие техники, архитектура, временная сложность

S.A. ZORI

Donetsk national technical university, Pokrovsk

TO THE QUESTION OF RAY TRACING TIME COMPLEXITY DETERMINATION

The article describes the method of determination of the overall time complexity of ray tracing algorithms and generalized architecture of ray tracing. Estimates of the time complexity of ray tracing algorithms show time-consuming to implement them, which makes it impossible to solve the problem of photo realistic image synthesis in real time without the use of high-performance parallel computing hardware support.

Keywords: visualization, image synthesis, raytracing, accelerating technology, architecture, time complexity

Постановка задачи и анализ исследований и публикаций

Повышение скорости и качества систем 3D- синтеза и визуализации на основе методов трассировки лучей является актуальной и перспективной научной задачей.

За период с появления первого алгоритма трассировки лучей Уиттеда появилось огромное число алгоритмов класса трассировки лучей, позволяющих достичь самого высокого качества изображений. Несмотря на значительное число существующих методов решения проблемы глобальной освещенности, эта область продолжает активно исследоваться [1].

Следует заметить, что, обеспечивая очень высокое качество синтезируемых изображений, трассировка лучей как метод визуализации имеет большую временную сложность, и, как правило, применяется на финальных стадиях подготовки изображений (в большинстве случаев одна картинка может трассироваться в течение нескольких часов и даже суток [1, 2, 3, 4]). Программные движки, выполняющие трассировку (рей-трейсеры), нередко являются составной частью сложных систем геометрического моделирования, таких как, например, AliasPowerAnimator, Maya и др. [5], причем часто они используют закрытую алгоритмическую реализацию технологии и обязательную современную аппаратную поддержку синтеза на многоядерных центральных процессорах и графических мультипроцессорах.

При рассмотрении различных техник трассировки лучей представляет интерес вопрос определения их временной сложности. В литературе не удалось найти полноценных материалов, посвященных определению временной сложности процесса.

Основные временные затраты рейтрейсинга

Основные временные затраты и сложности, связанные с визуальными ошибками методов трассировки лучей, напрямую связаны с двумя основными моментами:

1. Поиск пересечения луча с объектами сцены.
2. Вычисление глобальной освещенности и определение эффектов освещения.

Поиск пересечений луча с геометрическими объектами выполняется наиболее часто и всегда является узким местом в трассировке лучей (до 75% общего времени). Для ускорения решения этой задачи используют ускоряющие структуры [6, 7, 8].

Выполнена классификация ускоряющих техник трассировки лучей, дан анализ особенностей и характеристики основных используемых ускоряющих техник (рис. 1).

Главным направлением из рассмотренных ускоряющих техник при этом является ускорение процедур поиска пересечений, так как оно не влечет за собой упрощений, которые могут привести к геометрическим неточностям или ухудшению качества синтеза.

В [6, 9] показано, что использование иерархических ускоряющих структур позволяет осуществлять поиск пересечений более эффективно, тем не менее возникают дополнительные затраты памяти на хранение данных структур и времени на их перестройку.

В качестве ускоряющих техник для повышения эффективности трассировки лучей сегодня в основном используют BVH структуры с AABB из-за простоты и скорости реализации или kd-tree структуры с SHA [6-9]. В [9, 10] автором подробно рассмотрен подход к оптимизации ускоряющей техники поиска пересечений луча с AABB и исследованы его характеристики.

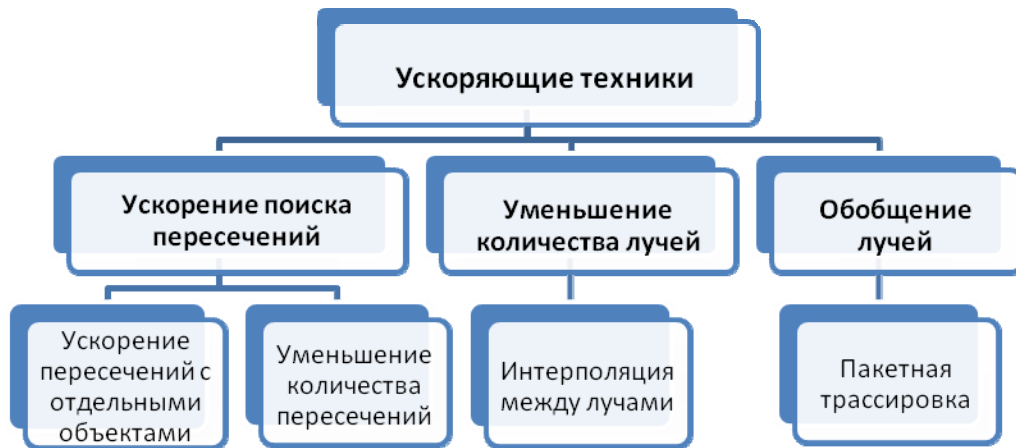


Рис. 1. Классификация ускоряющих техник трассировки лучей

Выполненный анализ теоретических основ определения глобальной освещенности для высококачественного фотореалистичного синтеза изображений методами трассировки лучей позволяет утверждать, что современные методы расчета глобальной освещенности основаны преимущественно на Монте-Карло интегрировании и алгоритме трассировки путей, который, несмотря на высокую вычислительную сложность, позволяет синтезировать большинство известных эффектов геометрической и волновой оптики [11]. Однако, их сверхвысокая временная сложность не позволяет проводить высококачественный синтез в реальном времени, и используются в основном для получения высококачественных изображений фотографического качества статических сцен [11, 12].

Вместе с тем, множество частных существующих реализаций этих методов показывают, что особенности освещения сцен и природа визуальных эффектов в специфических условиях могут быть использованы для внесения упрощений и значительного ускорения расчетов.

При рассмотрении различных техник трассировки лучей представляет интерес вопрос определения их теоретической временной сложности. В связи с этим предлагается обобщенная методика определения временной сложности алгоритмов трассировки лучей и общая архитектура рейтрейсинга в ней.

Временная сложность алгоритмов трассировки лучей

Рассмотренные методы и техники трассировки лучей позволяют выполнить обобщение процесса и определить временную сложность трассировки в общем случае.

Основные этапы синтеза изображений методами рейтрейсинга можно представить следующими этапами (рис. 2).

1. Создание модели и препроцессирование сцены (если необходимо).
2. Трассировка лучей.

2.1 Создание первичных лучей и определение пересечений лучей и объектов.

Для каждого пикселя экрана сформировать первичный луч и определить его пересечение со всеми объектами в сцене. Если пересечений больше, чем одно - выбрать ближайшее.

На этом этапе возможно применение ускоряющих техник.

2.2 Создание вторичных лучей и определение локального освещения

2.2.1 Если есть пересечение первичного луча с объектом - вычислить теневой луч (освещение) и лучи отражения и преломления.

Теневой луч проводится от точки пересечения к источнику(-ам) света. Его целью является определить, находится ли точка пересечения в тени конкретного источника света. Для каждого источника света должен быть свой теневой луч. Этот же теневой луч определяет локальное освещение (световой вектор), если луч на пути к источнику света не пересекается объектами сцены.

2.2.2 Рекурсивное повторение процедур 2.2.1 до достижения заданной степени точности или глубины пути.

2.3 Вычисление глобального освещения

После вычислений локального освещения в каждой точке пересечений лучей (п. 2.2), учитывать его на каждом следующем уровне дерева лучей (например, суммировать для прямого, отраженного и преломленного света с учетом соответствующих коэффициентов).

3. Запись цветов пикселей в буфер кадра или выходной файл.

Преобразовать полученные данные о цвете пикселя экранной плоскости в целочисленный формат представления цвета для дисплея.

С учетом рассмотренной архитектуры и основных этапов выполнения рейтрейсинга выполним оценку (в общем случае) временной сложности методов трассировки лучей (1):

$$T_{RT} = T_{scene_{pp}} + res_x \times res_y \times [sample_{pr} \times T_{pr} + sample_{sc} \times T_{sc}] + T_{im} \quad (1)$$

где $T_{scene_{pp}}$ – время создания и подготовки (препроцессирования) модели сцены;
 res_x, res_y – разрешение экрана;
 $sample_{pr}$ – количество генераций (сэмпов) первичных лучей;
 T_{pr} – время трассировки первичного луча;
 $sample_{sc}$ – количество генераций (сэмпов) вторичных лучей;
 T_{sc} – время трассировки вторичного луча;
 T_{im} – время формирования изображения в буфере кадра.

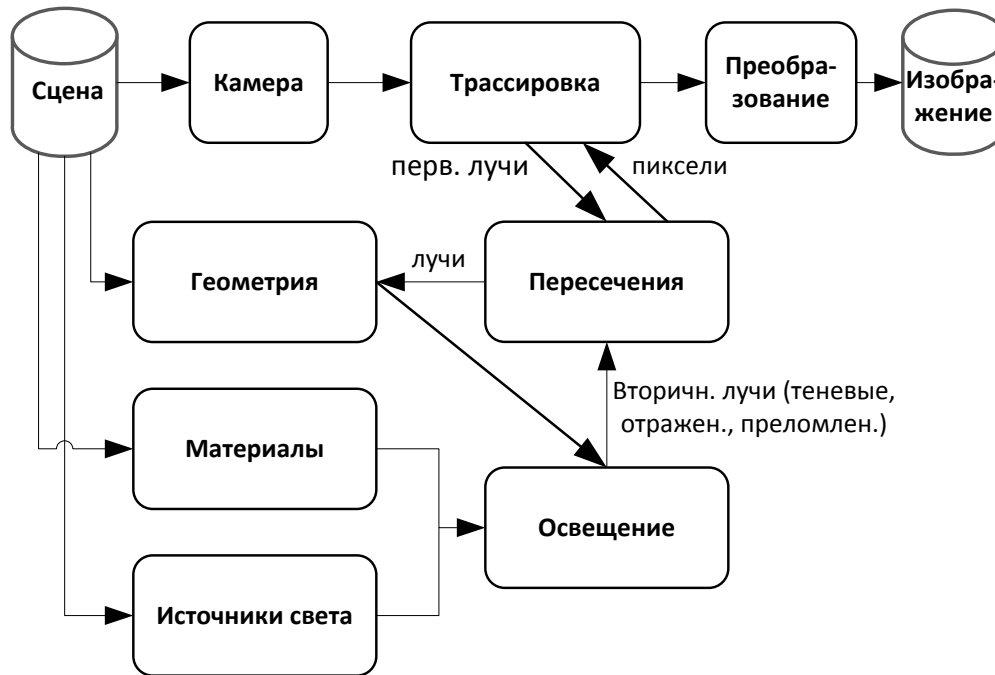


Рис. 2. Архитектура рейтрейсинга

Отметим, что количество сэмпов лучей определяется конкретным алгоритмом трассировки лучей (например, для алгоритма Уитгеда составляет 1, а для трассировки путей Монте-Карло для средне-статистической сцены и достижения приемлемого качества [13]– около 150 для первичных и 1500 для вторичных лучей).

Время формирования и препроцессирования сцены также зависит от конкретного алгоритма и применения ускоряющих структур. Например, препроцессирование при применении kd-tree с SHA:

$$T_{scene_{pp}} = N_o \times \log_2 N_o \times \tau_d \quad (2)$$

где N_o – количество объектов в сцене;
 τ_d – время одной итерации подразделения пространства;

Время трассировки первичного луча можно определить как (3):

$$T_{pr} = T_{int_{pr}} + T_{lt_sh_{loc}} \quad (3)$$

где $T_{int_{pr}}$ – время нахождения пересечения первичного луча с объектами сцены;
 $T_{lt_sh_{loc}}$ – время вычисления локального освещения (световой вектор или теневой луч).

$T_{int_{pr}}$ и $T_{lt_sh_{loc}}$ определим следующим образом (4–5):

$$T_{int_{pr}} = N_o \times \tau_{int} \quad (\text{без применения ускоряющих структур});$$

$$\log_2 N_o \times \tau_{int} \quad (\text{с применением kd-tree}) \quad (4)$$

где τ_{int} – время вычисления пересечения луча с одним объектом.

$$T_{lt_sh_{loc}} = N_l \times \tau_{lt_sh} \quad (5)$$

где N_l – количество источников освещения в сцене;
 τ_{lt_sh} – время вычисления локального освещения в точке (световой или теневой луч).

Время T_{sc} , необходимое для трассировки вторичных лучей, можно определить следующим образом (6):

$$T_{sc} = T_{int_{sc}} + T_{lit_shloc} + l \times (T_{ref} + T_{sc}) \quad (6)$$

где $T_{int_{sc}}$ – время нахождения пересечения вторичного луча с объектами сцены;

T_{lit_shloc} – время вычисления локального освещения вторичного луча (световой вектор или теневой луч, определяется по (5));

l – глубина трассировки пути; T_{ref} – время трассировки вторичных лучей преломления, определяется аналогично T_{sc} .

Как видно, в вычислениях вторичных лучей присутствует рекурсия.

Приведенные оценки временной сложности алгоритмов трассировки лучей явно показывают огромные временные затраты на их реализацию. И, даже с использованием модифицированных и оптимизированных методов трассировки, без применения высокопроизводительных параллельных вычислительных систем решение задачи синтеза в реальном времени не представляется возможным [1]. В последнее время появилось большое количество работ по адаптации алгоритмов рейтрейсинга под многопроцессорные системы [14] и графические процессоры [15, 16]. Известен ряд работ по разработке специализированных аппаратных трассировщиков лучей [17, 18].

Все это подтверждает актуальность дальнейших исследований и разработки способов ускорения алгоритмов рейтрейсинга как на алгоритмическом, так и на аппаратном уровне архитектур вычислительных систем.

Выводы

В статье рассмотрена общая методика определения временной сложности алгоритмов трассировки лучей и обобщенная архитектура рейтрейсинга.

Приведенные оценки временной сложности алгоритмов трассировки лучей явно показывают большие временные затраты на их реализацию, что делает невозможным решение задачи синтеза фотореалистичных изображений в реальном времени без применения высокопроизводительных параллельных вычислительных систем аппаратной поддержки.

Литература

1. Реалистическая пространственная визуализация с использованием технологий объемного отображения: Монография / Е.А.Башков, С.А.Зори. - Донецк, ГБУЗ "ДонНТУ", 2014. - 150 с.
2. Realistic Ray Tracing, Second Edition / P. Shirley, R. K. Morley. — Wellesley: A K Peters/CRC Press, 2003. — 235 с.
3. Jensen Henrik Wann, Christensen Per. High quality rendering using ray tracing and photon mapping // SIGGRAPH 2002 Course 43. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Aug. 2002, ACM SIGGRAPH, 2002.
4. Akenine-Moller Real-Time Rendering. Third Edition / T. Akenine-Moller, E. Haines, N. Hoffman. – Wellesley: A. K. Peters, Ltd., 2008. – 1027 p.
5. Фролов В.А., Галактионов В.А., Трофимов М.А. Сравнительный анализ современных рендер-систем // Труды 24-й Между-народной конференции по компьютерной графике и зрению Графикон'2014. Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону, Россия, 2014. С. 43–46.
6. Запорожченко И.А., Григорьев М.А., Зори С.А. Анализ методов уменьшения вычислительной сложности алгоритма трассировки лучей и способов их параллельной реализации /Моделювання та комп'ютерна графіка : Матеріали 5-ї міжнародної науково - технічної конференції , м Донецьк , 24-27 вересня 2013 р. — Донецьк, ДонНТУ, Міністерство освіти та науки України , 2013. — С1.09, 3 с.
7. Foley Tim, Sugerma Jeremy. KD-tree acceleration structures for a GPU raytracer // Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS conference on Graphics hardware. HWWS '05. New York, NY, USA: ACM, 2005. p. 15–22.
8. Zhou, K., Hou, Q., Wang, R., and Guo, B. 2008. Real-time KD-tree construction on graphics hardware. In ACM SIGGRAPH Asia 2008 Papers (Singapore, December 10 - 13, 2008). J. C. Hart, Ed. SIGGRAPH Asia '08. ACM, New York, NY, p. 1-11
9. S.A. Zori, P.A. Porfirov Productivity Increasing of Realistic Ray Tracing Stereo- Image Synthesis //Journal of Qafqaz University, Mathematics and Computer Science ISSN 1302-6763, Vol. 3, No 1, 2015.- p. 30- 38
10. Зори С.А. Объемная визуализация алгоритмом трассировки лучей с использованием двухуровневой иерархии ограничивающих объемов и AABB // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" ISSN 1996-1588. №2 (21)' 2015.- с. 5-10
11. Фролов В.А. Методы решения проблемы глобальной освещенности на графических процессорах // Автореферат диссертации на соискание ученой степени: кандидат физико-математических наук.

Специальность: 05.13.11 - математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей. Москва, 2015 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://keldysh.ru/council/1/2015-frolov/avtoref.pdf>

12. Jensen, H. W. 2004. A practical guide to global illumination using ray tracing and photon mapping. In ACM SIGGRAPH 2004 Course Notes (Los Angeles, CA, August 08 - 12, 2004). SIGGRAPH '04. ACM, New York.

13. Фролов В., Фролов А. Трассировка путей (Path tracing) [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://ray-tracing.ru/articles216.html>

14. F. Dachille and A. Kaufman. GI-Cube: An architecture for volumetric global illumination and rendering. In Proceedings of the 2000 SIGGRAPH/Eurographics Workshop on Graphics Hardware, p. 119–129, August 2000.

15. Garanzha K., Bely A., Premoze S., Galaktionov V. Out-of-core GPU ray tracing of complex scenes // In Technical talk Proceedings 38th International conference on computer graphics and interactive techniques ACM SIGGRAPH 2011, Article No.21, Vancouver, Canada – 2011.

16. Фролов Владимир, Игнатенко Алексей Интерактивная трассировка лучей и фотонные карты на GPU // В сборнике Proceedings of the 19th International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon'2009, серия GraphiCon, MAKS Press Moscow, Russia, с. 255-262

17. Компания Siliconarts представила специализированный процессор для трассировки лучей [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: http://www.oszone.net/18996/Siliconarts_develops_ray-tracing_graphics_processing_technology

18. Imagination: трассировка лучей в реальном времени [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/797054>

References

1. 1. Realistichnaja prostranstvennaja vizualizacija s ispol'zovaniem tehnologiy ob'emnogo otobrajenija: Monografija / E.A.Bashkov, S.A.Zori. - Donetsk, GVUZ "DonNTU", 2014. - 150 s.

2. Realistic Ray Tracing, Second Edition / P. Shirley, R. K. Morley. — Wellesley: A K Peters/CRC Press, 2003. — 235 с.

3. Jensen Henrik Wann, Christensen Per. High quality rendering using ray tracing and photon mapping // SIGGRAPH 2002 Course Notes (Los Angeles, CA, August 08 - 12, 2004). SIGGRAPH '02. ACM, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Aug. 2002, ACM SIG- GRAPH, 2002.

4. 4. Akenine-Moller Real-Time Rendering. Third Edition / T. Akenine-Moller, E. Haines, N. Hoffman. – Wellesley: A. K. Peters, Ltd., 2008. – 1027 p.

5. Frolov V.A., Galaktionov V.A., Trofimov M.A. Sravnitel'nyj analiz sovremennih render-sistem // GRAPHICON'2014. Ujyniy Federal'nyj Universitet, Rostov-na-Donu, Rossija, 2014. s. 43–46.

6. Zaporojchenko I.A., Griror'yev M.A., Zori S.A. Analiz metodov umen'shenija vichislitel'noy slojnosti algoritma trassirovki luchey I sposobov ih parallel'noy realizaciji / Model'uvanja ta komp'uterna grafica: Materiali 5- mijnarodnoji naukovno- tehnicnoji konferenciji, Donetsk, 24-27.09.2013 — Donetsk, DonNTU, 2013. — S1.09, 3 s.

7. Foley Tim, Sugerman Jeremy. KD-tree acceleration structures for a GPU raytracer // Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS conference on Graphics hardware. HWWS '05. New York, NY, USA: ACM, 2005. p. 15–22.

8. Zhou, K., Hou, Q., Wang, R., and Guo, B. 2008. Real-time KD-tree construction on graphics hardware. In ACM SIGGRAPH Asia 2008 Papers (Singapore, December 10 - 13, 2008). J. C. Hart, Ed. SIGGRAPH Asia '08. ACM, New York, NY, p. 1-11

9. S.A. Zori, P.A. Porfirov Productivity Increasing of Realistic Ray Tracing Stereo- Image Synthesis //Journal of Qafqaz University, Mathematics and Computer Science ISSN 1302-6763, Vol. 3, No 1, 2015.- p. 30- 38

10. Zori S.A. Ob'emnaja vizualizacija algoritmom trassirovki luchey s ispol'zovaniem dvuhurovnevoj ierarhii ogranichevajushih ob'emov i AABB // Naukovi praci Donetskogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu. Serija: "Informatika, kibernetika ta obchisl'val'na tehnika" ISSN 1996-1588. №2 (21)' 2015.- s. 5-10

11. Frolov V.A. Metodi reshenija problemi global'noy osveshennosti na graficheskix processorah // Avtofegerat dissertaciji na soiskanije uchenoy stepeni: kandidt fiziko-matematicheskix nauk. Special'nost': 05.13.11. Moskva, 2015 [Elektronnyy resurs]. – Rejim dostupa: <http://keldysh.ru/council/1/2015-frolov/avtoref.pdf>

12. Jensen, H. W. 2004. A practical guide to global illumination using ray tracing and photon mapping. In ACM SIGGRAPH 2004 Course Notes (Los Angeles, CA, August 08 - 12, 2004). SIGGRAPH '04. ACM, New York.

13. Frolov V., Frolov A. Trassirovka putey (Path tracing) [Elektronnyy resurs]. – Rejim dostupa: <http://ray-tracing.ru/articles216.html>

14. F. Dachille and A. Kaufman. GI-Cube: An architecture for volumetric global illumination and rendering. In Proceedings of the 2000 SIGGRAPH/Eurographics Workshop on Graphics Hardware, p. 119–129, August 2000.

15. Garanzha K., Bely A., Premoze S., Galaktionov V. Out-of-core GPU ray tracing of complex scenes // In Technical talk Proceedings 38th International conference on computer graphics and interactive techniques ACM SIGGRAPH 2011, Article No.21, Vancouver, Canada – 2011.

16. Frolov V., Ignatenko A. Interaktivnaja trassirovka luchey I fotonnije karti na GPU // Proceedings of the 19th International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon'2009, seria GraphiCon, MAKS Press Moscow, Russia, s. 255-262

17. Kompanija Siliconarts predstavila specializirovanniy processor dlja trassirovki luchey [Elektronnyy resurs]. – Rejim dostupa: http://www.oszone.net/18996/Siliconarts_develops_ray-tracing_graphics_processing_technology

18. Imagination: trassirovka luchey v real'nom vremeni [Elektronnyy resurs]. Rejim dostupa: <http://www.3dnews.ru/797054>

Рецензія/Peer review : 25.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 30.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АНИЗОТРОПНА ФІЛЬТРАЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАГОВОЇ ФУНКЦІЇ НА ОСНОВІ ГАУСІВСЬКОЇ МОДЕЛІ ПІКСЕЛЯ

Запропоновано метод підвищення якості анізотропної фільтрації тривимірних зображень за рахунок використання вагової функції на основі Гаусівської моделі пікселя для визначення кольору пікселя в екранній площині.

Ключові слова: анізотропна фільтрація, гаусівська модель пікселя, текстурування

O.N. ROMANIUK, I.V. ABRAMCHUK, O.O. DUDNYK
Vinnytsia National Technical University

ANISOTROPIC FILTERING WITH WEIGHT FUNCTION BASED GAUSSIAN PIXEL MODEL

A method of improving the quality of anisotropic filtering three-dimensional images by using weight functions to determine the color of the pixel in the screen plane.

Keywords: anisotropic filtering, Gaussian pixel model, texturing,

Постановка задачі

Розвиток засобів комп'ютерної графіки передбачає підвищення реалістичності формування графічних сцен. При побудові високореалістичних зображень використовують текстури [1,2,3], які накладають на графічні об'єкти. Текстурування дозволяє успішно вирішувати задачі, які трудомістко розв'язати прямими методами [1 та суттєво зменшити обчислювальні витрати.

На даному етапі при текстуруванні 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 текстурування. На відміну від ізотропних видів фільтрації (білінійна та трилінійна) використовується проекція пікселя на текстурну поверхню [1,3].

Для визначення кольору екранного пікселя використовують усереднення кольору всіх текселів, проекція яких відповідає даному пікселю.

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.

Метою дослідження є підвищення реалістичності формування зображень за рахунок використання при анізотропній фільтрації вагових функцій, що відображають зміну кольору пікселя, який проектується на текстурну площину.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

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], являє собою симбіоз мір-текстурування та білінійної фільтрації. Фактично виконується білінійна фільтрація на двох мір-рівнях, що в результаті дає 2 текселі 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 типи фільтрації дозволяють відносно коректно розраховувати колір тільки для тих пікселів, відповідні текселі яких знаходяться в текстурній площині, яка паралельна екрану. Таке обмеження викликане тим, що вибірка груп з чотирьох текселів при білінійній фільтрації відбувається по строго заданому закону.

При використанні ізотропних методів, текселі завжди 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].

При анізотропній фільтрації проекція пікселя на поверхню текстури розглядається не як коло, а як витягнутий еліпс (рис. 1), що дозволяє точніше визначати кольори пікселів [2,3].

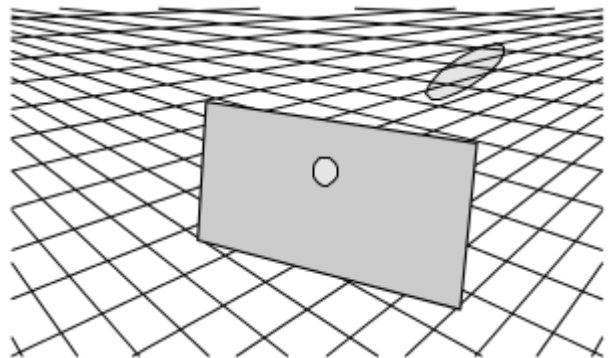


Рис. 1. Проекція пікселя на поверхню текстури

Формулювання мети дослідження

Серед усіх моделей пікселя найбільш адекватною є гаусівська модель [4], згідно з якою інтенсивність кольору змінюється нелінійно від центру пікселя (рис. 2).

При анізотропній фільтрації важливо використати цю властивість, яка передбачає усереднення кольору пікселів усередині сліду відповідно до вагових функцій. В сучасних засобах комп'ютерної графіки найчастіше використовують вагові коефіцієнти, що відповідають відстані текселя до центру еліпса. Відстань від центру пікселя змінюється лінійно, тому такі методи не відповідають Гаусівській моделі пікселя [5].

Тому існує потреба підвищення реалістичності формування зображень за рахунок використання при анізотропній фільтрації вагових функцій на основі Гаусівської моделі пікселя, що відображають зміну кольору пікселя, який проектується на текстурну площину.

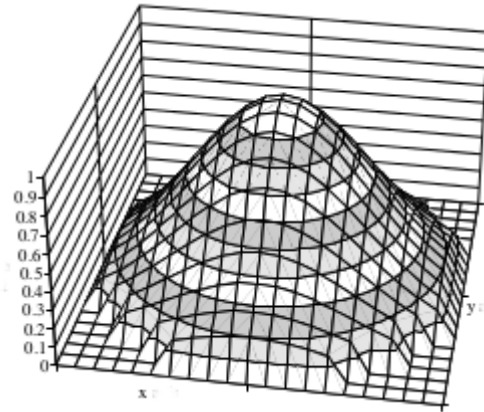


Рис. 2. Гаусівська модель пікселя

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідно до Гаусівської моделі піксель в просторі екрану має форму тіла обертання кривої Гауса з діаметром основи рівним 1 та об'ємом рівним 1 [4]. При проекції в простір текстури його форма змінюється вздовж вектору нахилу полігону, при цьому основа фігури набуває форми еліпса (рис. 3). Значення кольору пікселя на екрані визначається значеннями кольорів усіх текселів, що формують еліпс. При цьому слід врахувати, що інтенсивність кольору текселів знижується по мірі віддалення від центру еліпсу до зон блюмінгу пропорційно висоті фігури в даній точці

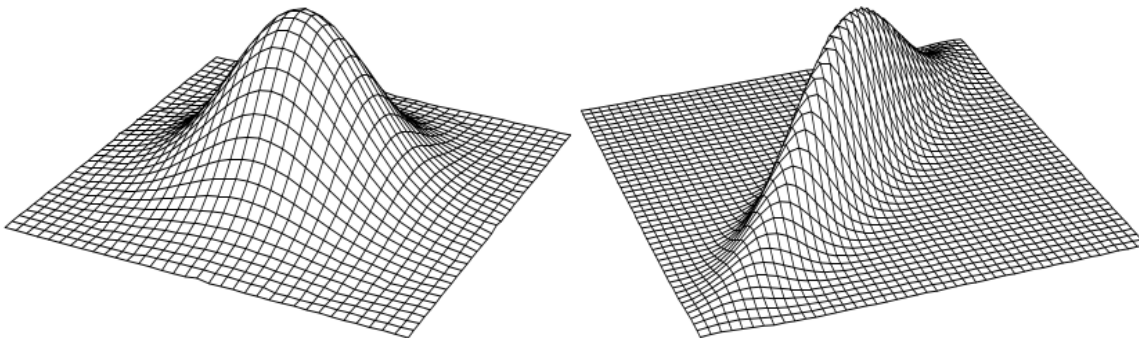


Рис. 3. Форма пікселя в просторі екрану та його проекції в просторі текстури відповідно до Гаусівської моделі пікселя

Координати центру еліпса визначають за формулами [1]:

$$u_i = \frac{A_1 \cdot x_i + B_1 \cdot y_i + C_1}{D \cdot x_i + E \cdot y_i + F},$$

$$v_i = \frac{A_2 \cdot x_i + B_2 \cdot y_i + C_2}{D \cdot x_i + E \cdot y_i + F}.$$

де u і v – текстурні координати, x і y – екранні координати об'єкта, $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D, E, F$ – коефіцієнти полігону, який текстурується.

Рівняння еліпса складають за наступним алгоритмом [6]:

Визначення векторів осей:

$$(U_x, V_x) = \left(\frac{du}{dx}, \frac{dv}{dx} \right)$$

$$(U_y, V_y) = \left(\frac{du}{dy}, \frac{dv}{dy} \right), \quad (1)$$

Визначення коефіцієнтів рівняння:

$$A = V_x^2 + V_y^2$$

$$B = -2(U_x V_x + U_y V_y)$$

$$C = U_x^2 + U_y^2$$

$$F = (U_x V_y + U_y V_x)^2$$

Кінцеве рівняння:

$$AU^2 + BUV + CV^2 = F, \quad (2)$$

де $U = u - u_0, V = v - v_0$.

Для еліпса, осі якого паралельні осям координат висоту фігури в заданій точці можна обрахувати таким чином:

$$W(u, v) = \frac{1}{2\pi \sigma_1 \sigma_2} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(u-u_0)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(v-v_0)^2}{\sigma_2^2} \right]}. \quad (3)$$

Дисперсії нормального закону розподілу виберемо з умов:

$$\sigma_1 = \frac{L}{6}, \sigma_2 = \frac{d}{6}$$

де L та d – довжини осей еліпса.

Для довільно орієнтованого еліпса необхідно врахувати його кут нахилу. Поворот на кут $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ визначається новими координатами $u_1 = u \cdot \cos(\theta) + v \cdot \sin(\theta)$, $v_1 = u \cdot \sin(\theta) + v \cdot \cos(\theta)$. Таким чином, функція 3 для довільно орієнтованого еліпса матиме вигляд:

$$W(u, v) = \frac{1}{2\pi \sigma_1 \sigma_2} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{[(u-u_0) \cdot \cos(\theta) + (v-v_0) \cdot \sin(\theta)]^2}{\sigma_1^2} + \frac{[-(u-u_0) \cdot \sin(\theta) + (v-v_0) \cdot \cos(\theta)]^2}{\sigma_2^2} \right]}. \quad (4)$$

Кут нахилу еліпса визначимо за формулою

$$\theta = \arctg \left(\frac{V_x}{U_x} \right). \quad (5)$$

Для визначення довжини осі еліпса складемо систему рівнянь на основі рівняння (2) та канонічного рівняння прямої:

$$\begin{cases} \frac{u - u_0}{U_x} = \frac{v - v_0}{V_x} \\ AU^2 + BUV + CV^2 = F. \end{cases}$$

Оскільки, відповідно до рівняння (2), $U = u - u_0, V = v - v_0$ можна виконати таку заміну:

$$\begin{cases} \frac{U}{U_x} = \frac{V}{V_x} \\ AU^2 + BUV + CV^2 = F. \end{cases}$$

Виразимо U через V :

$$\begin{cases} U = \frac{V U_x}{V_x} \\ A \left(\frac{V U_x}{V_x} \right)^2 + B V \frac{V U_x}{V_x} + C V^2 = F. \end{cases}$$

Розв'язком квадратного рівняння є:

$$V = \pm V_x \sqrt{\frac{F}{A U_x^2 + B U_x V_x + C V_x^2}}. \quad (6)$$

Підставивши формулу (5) в рівняння $U = \frac{V U_x}{V_x}$, отримаємо:

$$U = \pm U_x \sqrt{\frac{F}{A U_x^2 + B U_x V_x + C V_x^2}}.$$

Оскільки U, V є проекціями півосі еліпса на осі координат, довжину осі еліпса можна визначити за теоремою Піфагора:

$$\begin{aligned}
 L &= 2\sqrt{\left(\pm V_x \sqrt{\frac{F}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2}}\right)^2 + \left(\pm U_x \sqrt{\frac{F}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2}}\right)^2} = \\
 &= 2\sqrt{\frac{U_x^2 F}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2} + \frac{V_x^2 F}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2}} = \\
 &= 2\sqrt{\frac{F(U_x^2 + V_x^2)}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2}}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Очевидно, що такі обчислення досить складні, а тому потребують спрощень з метою підвищення продуктивності. При обчисленнях в реальному часі криву Гауса часто апроксимують таким виразом [7]:

$$f(x) = \left(1 - \frac{n}{2K} x^2\right)^K. \quad (8)$$

При $n=8, K=8$, наведена формула (8) забезпечує відтворення кривої Гауса з високою точністю:

$$f(x) = \left(1 - \frac{8}{2 \cdot 8} x^2\right)^8 = \left(1 - \frac{1}{2} x^2\right)^8.$$

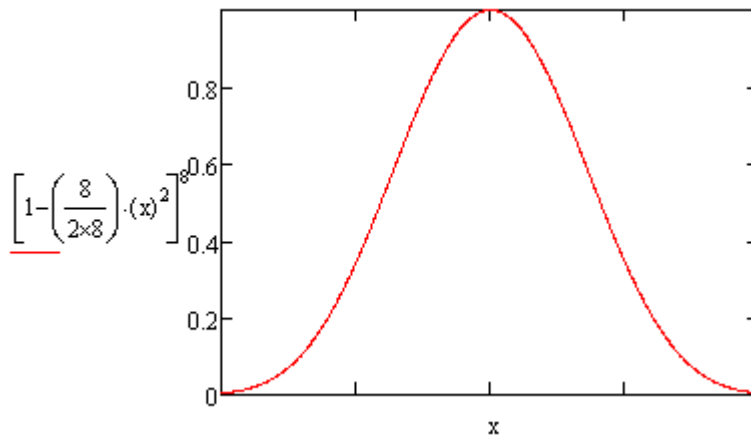


Рис. 4. Графік апроксимованої кривої Гауса

Таким чином, функція (4) для спрощеної кривої Гауса має вигляд:

$$W(x, y) = \left(1 - \frac{1}{2} \left[\frac{[(u - u_0) \cdot \cos(\theta) + (v - v_0) \cdot \sin(\theta)]^2}{L^2} + \frac{[-(u - u_0) \cdot \sin(\theta) + (v - v_0) \cdot \cos(\theta)]^2}{d^2} \right] \right)^8.$$

Оскільки значення $u - u_0$ та $v - v_0$ також обчислюються для рівняння (2) і рівні U і V відповідно, то має місце спрощення:

$$W(x, y) = \left(1 - \frac{1}{2} \left[\frac{[U \cos(\theta) + V \cdot \sin(\theta)]^2}{L^2} + \frac{[V \cos(\theta) - U \sin(\theta)]^2}{d^2} \right] \right)^8. \quad (9)$$

Як видно із формули (9), існує потреба в обчисленні квадратів довжин осей еліпса. Для визначення довжини осі еліпса за формулою (7) необхідно обчислити квадратний корінь многочлена. Очевидно, що формулу (7) можна спростити таким чином, щоб одразу визначати довжину осі в степені 2 зі значно меншою складністю:

$$L^2 = \left(2\sqrt{\frac{F(U_x^2 + V_x^2)}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2}}\right)^2 = \frac{4F(U_x^2 + V_x^2)}{AU_x^2 + BU_x V_x + CV_x^2} \quad (10)$$

Таким чином, вагу кожного текселя, що визначає колір екранного пікселя можна визначити за формулою (9). Необхідними коефіцієнтами для формули (9) є кут нахилу, еліпса відносно осей координат та квадрати довжин його осей. Ці коефіцієнти обчислюються за формулами (5) і (10) відповідно.

Для забезпечення максимального рівня реалістичності слід врахувати, що текселі, які знаходяться

на периферії можуть перетинатись еліпсом та впливати на визначення кольору пікселя пропорційно тій частині площі, що відтинається еліпсом. Об'єм відсікання для пікселя заданого Гаусівською моделлю визначають за формулою [8]:

$$P(d) = 0.5 + (2.151 - 2.358d)d,$$

де d – відстань від центру пікселя до перерізу.

Для прикладу, графік вагових коефіцієнтів для текселів, що формують еліпс з діагоналями 3 та 6, і кутом нахилу 30° зображено на рисунку 5.

Висновки

Анізотропна фільтрація дозволяє досягти більш високої реалістичності формування графічних сцен. Запропоновано метод анізотропної фільтрації з використання вагових функцій на основі Гаусівської моделі пікселя, що дозволяє істотно підвищити якість формування тривимірних графічних зображень.

Література

1. Paul S. Heckbert, Survey of texture mapping - Graphics Interface '1986
2. Вяткин С. И. Анизотропная фильтрация текстуры в реальном времени / С. И. Вяткин, А. Н. Романюк, А. А. Дудник, // Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах № 4' 2015
3. Романюк О.Н. Аналіз методів фільтрації текстур / О.Н. Романюк, О.О. Дудник // Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи» – Вінниця – 2015. – Режим доступу: http://conf.inmad.vntu.edu.ua/fm/files/administrator_materials_1429512871.doc
4. Романюк О.Н. Математичні моделі пікселя / О.Н. Романюк, О.О. Дудник // Електронні інформаційні ресурси: створення, використання доступ. Збірник міжнародної науково-практичної конференції.-Вінниця-2014.-С.289-293
5. Романюк С. О. Анізотропна фільтрація з використанням вагових функцій / С.О. Романюк, О.О. Дудник, Л.А. Савицька, О.В. Романюк // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон – 2015. - № 3. - С. 459-46
6. Ned Greene. Creating Raster Omnimax Images from Multiple Perspective Views Using the Elliptical Weighted Average Filter / Ned Greene, Paul S. Heckbert//IEEE VG&A 1986
7. Lyon Richard. Phong Shading Reformulation for Hardware Renderer Simplification / Richard F. Lyon // Apple Technical Report #43 August 2, 1993
8. Романюк О.Н. Модифікація гаусівської моделі пікселя для задач антиаліазингу / О.Н. Романюк, І. В. Абрамчук, О.О. Дудник, О.В. Мельник // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія : Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. - 2015. - Вип. 1. - С. 84-88.

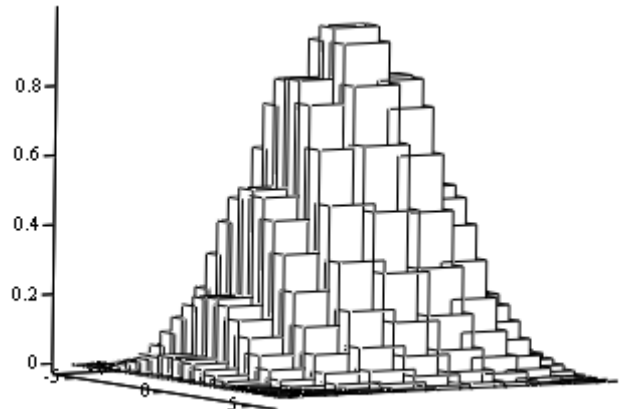


Рис. 5. Графік вагових коефіцієнтів кольорів еліпса

References

1. Paul S. Heckbert, Survey of texture mapping - Graphics Interface "1986
2. Vjatkyun S. Y. Anyzotropnaja fyltracyu tekstury v realnom vremeny / S. Y. Vjatkyun, A. N. Romanjuk, A. A. Dudnyk, // Vymirjuvalna ta Občysljuvalna Technika v Technolohičnyh Procesach # 4" 2015
3. Romanjuk O.N. Analiz metodiv filtracii tekstur / O.N. Romanjuk, O.O. Dudnyk // Mižnarodna naukovo-praktyčna Internet-konferencija «Molod' v techničnyh naukach: doslidžennja, problemy, perspektvyv» . – Vinnycja – 2015. - Režym dostupu: http://conf.inmad.vntu.edu.ua/fm/files/administrator_materials_1429512871.doc
4. Romanjuk O.N. Matematyčni modeli piksela / O.N. Romanjuk, O.O. Dudnyk // Elektronni informacii ni resursy: stvorennja, vykorystannja dostup. Zbirnyk mižnarodnoji naukovo-praktyčnoji konferencii.-Vinnycja-2014.-S.289-293
5. Romanjuk S. O. Anizotropna fil'racija z vykorystannjam vahovyh funkcij / S.O. Romanjuk, O.O. Dudnyk, L.A. Savyc'ka, O.V. Romnjuk // Visnyk Chersonskoho nacional'noho techničnoho universytetu. – Cherson – 2015. - # 3. - S. 459-46
6. Ned Greene. Creating Raster Omnimax Images from Multiple Perspective Views Using the Elliptical Weighted Average Filter / Ned Greene, Paul S. Heckbert//IEEE VG&A 1986
7. Lyon Richard. Phong Shading Reformulation for Hardware Renderer Simplification / Richard F. Lyon // Apple Technical Report #43 August 2, 1993
8. Romanjuk O.N. Modyfikacija hausivs'koji modeli piksela dlja zadač antyali jazynhu / O.N. Romanjuk, I. V. Abramčuk, O.O. Dudnyk, O.V. Melnyk // Naukovi pracj Doneckoho nacional'noho techničnoho universytetu. Serija : Informatyka, kibernetyka ta občysljuvalna technika. - 2015. - Vyp. 1. - S. 84-88.

Рецензія/Peer review : 26.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 4.7.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621

М.Ф. БОГОМОЛОВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДІАГНОСТИКИ СПОТВОРЕНЬ НОРМАЛЬНОГО СТАНУ ФОРМЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ

В роботі розглянутий метод комп'ютерного обчислення властивостей розсіювання світла несферичними частинками на основі T-матричного методу, який базується на лінійності рівнянь Максвелла. Фундаментальною особливістю T-матричного методу є те, що матриця T залежить лише від форми, розміру, складу і орієнтації об'єкту розсіювання і абсолютно не залежить від напрямку поширення і поляризації падаючого та розсіяного полів.

Ключові слова: T-матричний метод обчислення, комп'ютерне моделювання.

M. F. BOGOMOLOV

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

COMPUTER SIMULATION PROCESS DIAGNOSTICS DISTORTED NORMAL STATE OF BLOOD CELLS

Abstract - The paper presents a method of computer calculation of the properties of light scattering by no spherical particles based on the T-matrix method, which is based on the linearity of Maxwell's equations. The fundamental feature of the T-matrix method is that the matrix T depends only on the shape, size, composition and orientation of the object scatter and does not depend on the direction of propagation and polarization of the incident and the scattered fields.

Keywords: T-matrix method of calculation, computer simulation.

Для визначення глибини патологічного процесу в людині має велике значення діагностика. Тому дуже актуальним є створення нових методів і пристроїв, які дозволять провести обстеження пацієнта для попередження захворювань.

На сьогоднішній день є актуальною проблемою розробка строгого підходу до вирішення задач розсіювання світла окремими частинками і великими групами частинок на основі прямих чисельно точних розв'язків макроскопічних рівнянь Максвелла. Також є важливою задачею є застосування строгих і надійно обґрунтованих наближених методик розрахунку електромагнітного розсіювання для розробки точних і інформативних методів дистанційного зондування і лабораторної діагностики частинок, які дозволяють відновити фізичні параметри складних і максимально реалістичних моделей середовищ розсіювання.

Актуальним є також розвиток унікального мікрофізичного підходу до задачі електромагнітного розсіювання частинками, який оснований на прямому розв'язку рівнянь Максвелла аналітичним і чисельно-точним комп'ютерним методом.

T-матричний метод, який базується на лінійності рівнянь Максвелла, є широко використовуваним методом для обчислення властивостей розсіювання світла несферичними частинками [1].

Розрахунок T матриць здійснюється двома методами. Перший – це метод розширеної граничної умови, другий – метод суперпозиції, який витікає з рівнянь Фолді-Лакса.

T-матричний метод був запропонований більше сорока років тому. В 1974 Петерсон та Стрем показали як T-матриці можуть бути узагальнені для багатошарових об'єктів. Проте активне застосування методу почалося лише в 1990-их роках. Це пояснюється стрімким розвитком ЕОМ.

Приймемо, що падаюче у вигляді плоскої хвилі випромінювання є неполяризованим. Тоді величина електричного вектора може бути виражена через суму двох взаємно перпендикулярних і незалежних синусоїдальних коливань, що мають одиничну амплітуду в площині xu й поширюються в напрямку z . Кожне із цих коливань звичайно зображується у вигляді:

$$E_{nad} = e^{[-i(k \cdot z - \omega t)]}, \quad (1)$$

де $\omega = c \cdot k$ - кругова частота.

Нехай це поле взаємодіє з будь-якою однорідною ізольованою сферичною частинкою. Тоді в результаті взаємодії з'являється поле випромінювання, що розсіюється в інших напрямках, ніж поле падаючого випромінювання. До поля випромінювання, що розсіюється необхідно додати поле падаючого випромінювання, потік якого послаблюється за рахунок розсіювання й поглинання випромінювання сферичною частинкою. Але ми будемо вважати, що це випромінювання не перевипромінюється знову сферичною частинкою на даній або якій-небудь іншій частоті. Розглядаючи ці допущення поле випромінювання, що розсіюється можна виразити через два скалярні складові A_1 і A_2 амплітуди вектора електричного поля $A_{роз}$, що не має складових у напрямку свого розповсюдження. Компоненти A_1 і A_2 відповідно перпендикулярні й паралельні площині розсіювання, у якій вимірюється кут розсіювання θ .

Рішення часткового випадку методу Т-матриці дає комплексні вираження для амплітуд A_1 і A_2 у вигляді рядів, записаних у такий спосіб:

$$k \cdot A_1 \equiv S_1(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot n + 1}{n \cdot (n + 1)} \cdot (a_n \cdot \pi_n + b_n \cdot \tau_n), \quad (2)$$

$$k \cdot A_2 \equiv S_2(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \cdot n + 1}{n \cdot (n + 1)} \cdot (b_n \cdot \pi_n + a_n \cdot \tau_n), \quad (3)$$

де S_1 і S_2 – безрозмірні комплексні амплітуди, n – додатні цілі числа.

Коефіцієнт розсіювання, віднесений до геометричного поперечного перерізу частинки, що розсіює, визначається безрозмірним параметром:

$$K_{роз} = \frac{\sigma_{роз}(m, x)}{\pi \cdot r^2}, \quad (4)$$

де

$$\sigma_{роз}(m, x) = \frac{1}{2} \cdot \int_{\Omega} (A_1 A_1^* + A_2 A_2^*) d\omega, \quad (5)$$

де $\Omega = 4\pi$.

Зробивши інтегрування, отримуємо остаточну формулу для коефіцієнта розсіювання:

$$K_{роз}(m, x) = \frac{2}{x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2 \cdot n + 1) \cdot (|a_n|^2 + |b_n|^2), \quad (6)$$

Подібним же чином визначаються коефіцієнт ослаблення й відповідний фактор ефективності $K_{ноз}$, що враховує внесок поглинання падаючого випромінювання:

$$K_{ноз}(m, x) = \frac{2}{x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2 \cdot n + 1) \cdot \text{Re}(a_n + b_n), \quad (7)$$

Формули (2)-(7) визначають основні параметри теорії розсіювання Мі. З них можна вивести всі інші величини, необхідні для опису інтенсивності й поляризації випромінювання, що розсіюється окремою частинкою.

Значення основних функцій розсіювання повністю визначаються точністю обчислення коефіцієнтів Мі a_n і b_n . Ці коефіцієнти залежать тільки від величин m та x , а також кутових коефіцієнтів π_n і τ_n (які є функціями тільки від $\mu = \cos \theta$). Розрахунок коефіцієнтів π_n і τ_n не представляє труднощів, оскільки вони можуть бути виражені через поліноми Лежандра і їхні похідні:

$$\begin{aligned} \pi_n(\mu) &= \frac{d}{d\mu} P_n(\mu), \\ \tau_n(\mu) &= \mu \cdot \pi_n(\mu) - (1 - \mu^2) \cdot \frac{d}{d\mu} \pi_n(\mu), \\ -1 &\leq \mu \leq 1, \\ P_n(\mu) &= \frac{1}{2^n \cdot n!} \cdot \frac{d^n}{d\mu^n} (\mu^2 - 1)^n, \end{aligned} \quad (8)$$

де $P_n(\mu)$ – поліноми Лежандра цілого порядку n від дійсного аргументу.

Використовуючи добре відомі рекурентні співвідношення між цими поліномами і їхніми похідними, легко показати, що коефіцієнти (8) також задовольняють деяким рекурентним співвідношенням. Ця обставина дозволяє знаходити коефіцієнти $\pi_n(\theta)$ і $\tau_n(\theta)$ без використання рекурентних формул для поліномів Лежандра $P_n(\mu)$ і їхніх похідних $\frac{dP_n(\mu)}{d\mu}$. Таким чином, маємо:

$$\begin{aligned} \pi_n(\theta) &= \cos \theta \cdot \frac{2 \cdot n - 1}{n - 1} \cdot \pi_{n-1}(\theta) - \frac{n}{n - 1} \cdot \pi_{n-2}(\theta), \\ \tau_n(\theta) &= \cos \theta \cdot [\pi_n(\theta) - \pi_{n-2}(\theta)] - (2n - 1) \cdot \sin^2 \theta \cdot \pi_{n-1}(\theta) + \tau_{n-2}(\theta), \\ 0 &\leq \theta \leq \pi, \end{aligned} \quad (9)$$

де

$$\begin{aligned}\pi_0(\theta) &= 0, & \tau_0(\theta) &= 0, \\ \pi_1(\theta) &= 1, & \tau_1(\theta) &= \cos \theta, \\ \pi_2(\theta) &= 3 \cos \theta. & \tau_2(\theta) &= 3 \cos 2\theta.\end{aligned}$$

Розглянувши розсіювання плоскої електромагнітної хвилі довільним кінцевим об'єктом і розклавши падаюче та розсіяне поля в ряди по так званим векторним сферичним хвильовим функціям, можна записати коефіцієнти розкладання плоскої електромагнітної хвилі:

$$\begin{aligned}a_{mn} &= 4\pi(-1)^m i^n d_n E_0^{inc} \cdot C_{mn}^*(\theta^{inc}) \exp(-im\phi^{inc}), \\ b_{mn} &= 4\pi(-1)^m i^{n-1} d_n E_0^{inc} \cdot B_{mn}^*(\theta^{inc}) \exp(-im\phi^{inc}),\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}B_{mn}(\theta) &= \theta \cdot \frac{d}{d\theta} d_{om}^n(\theta) + \phi \frac{im}{\sin \theta} d_{om}^n(\theta), \\ C_{mn}(\theta) &= \theta \cdot \frac{im}{\sin \theta} d_{om}^n(\theta) - \phi \frac{d}{d\theta} d_{om}^n(\theta), \\ d_n &= \left[\frac{2n+1}{4\pi n(n+1)} \right]^{1/2},\end{aligned}$$

де $d_{om}^n(\theta)$ - d функції Вігнера

В зв'язку з лінійністю рівнянь Максвелла коефіцієнти розкладання розсіяного поля p_{mn} і q_{mn} мають лінійно виражатися через коефіцієнти розкладання падаючої плоскої хвилі a_{mn} і b_{mn} . Це лінійне співвідношення записується в термінах матриці переходу або T-матриці.

$$\begin{aligned}p_{mn} &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^n \left(T_{mnmn}^{11} a_{mn} + T_{mnmn}^{12} b_{mn} \right), \\ q_{mn} &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^n \left(T_{mnmn}^{21} a_{mn} + T_{mnmn}^{22} b_{mn} \right)\end{aligned}$$

Або використовуючи компактні матричні позначення

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T^{11} & T^{12} \\ T^{21} & T^{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (10)$$

Перетворимо тепер вираження для коефіцієнтів Мі a_n і b_n до виду, зручного для проведення обчислень. Напишемо для них вираз:

$$\begin{aligned}a_n(m, x) &= \frac{\left[\frac{A_n(y)}{m} + \frac{n}{x} \right] \cdot \operatorname{Re}\{\omega_n(x)\} - \operatorname{Re}\{\omega_{n-1}(x)\}}{\left[\frac{A_n(y)}{m} + \frac{n}{x} \right] \cdot \omega_n(x) - \omega_{n-1}(x)}, \\ b_n(m, x) &= \frac{\left[m \cdot A_n(y) + \frac{n}{x} \right] \cdot \operatorname{Re}\{\omega_n(x)\} - \operatorname{Re}\{\omega_{n-1}(x)\}}{\left[m \cdot A_n(y) + \frac{n}{x} \right] \cdot \omega_n(x) - \omega_{n-1}(x)},\end{aligned} \quad (11)$$

де $y = mx$, ω_n - кругові функції, які визначаються за допомогою наступного рекурентного співвідношення:

$$\omega_n(x) = \frac{2n-1}{x} \cdot \omega_{n-1}(x) - \omega_{n-2}(x) \quad (12)$$

Звідки отримаємо такі співвідношення:

$$\begin{aligned}\omega_0(x) &= \sin(x) - i \cos(x), \\ \omega_{-1}(x) &= \cos(x) - i \sin(x), \\ \omega_1(x) &= \frac{\omega_0(x)}{x} - \omega_{-1}(x), \\ \omega_2(x) &= \frac{3}{x} \cdot \omega_1(x) - \omega_0(x).\end{aligned}\tag{13}$$

Фундаментальною особливістю Т-матричного методу є те, що матриця Т залежить лише від форми, розміру, складу і орієнтації об'єкту розсіювання і абсолютно не залежить від напрямку поширення і поляризації падаючого та розсіяного полів. Це означає, що одна і та ж Т-матриця може бути використана при розрахунках для будь-якого напрямку поширення і поляризації падаючої плоскості хвилі [2].

Теоретично розмір Т-матриці в (10) нескінченний, тому в практичних розрахунках його доводиться обмежувати [1]. Тому важливою складовою будь-якого комп'ютерного розрахунку, який оснований на Т-матричному методі, є перевірка чисельної збіжності результату з покроковим збільшенням розміру Т-матриці. Відомо також, що число членів необхідних для точного обчислення матриць, як правило більше, ніж те, яке необхідно для розрахунку параметрів розсіювання світла.

Т-матричний метод є безпосереднім узагальненням теорії Мі на випадок несферичних частинок. Дійсно, якщо розсіювач сферично симетричний, то Т-матриця стає діагональною, при чому елементи даються, з точністю до знака, відповідними коефіцієнтами Мі a_n і b_n [3]:

$$\begin{aligned}T_{nmn}^{12}, (P) &= 0, \quad T_{nmn}^{21}, (P) = 0, \\ T_{nmn}^{11}, (P) &= -\delta_{mm} \delta_{mn} b_n, \\ T_{nmn}^{22}, (P) &= -\delta_{mm} \delta_{mn} a_n,\end{aligned}$$

де δ_{mm} - символ Кронекера. Це все призводить до того, що всі формули Т-матричного методу зводяться до звичайних формул теорії Мі [2].

За винятком коефіцієнтів $A_n(y)$, вираз (11) записаний у формі зручній для проведення розрахунків з використанням рекурентних співвідношень.

Одержимо рекурентне співвідношення для $A_n(y)$ у вигляді неперервного дробу:

$$A_n(y) = -\frac{n}{y} + \left[\frac{n}{y} - A_{n-1}(y) \right]^{-1}\tag{14}$$

Якщо $y = mx = p - iq$, де $p = v \cdot x$ і $q = \chi \cdot x$, а p і q - відповідно дійсна і уявна частини показника заломлення, функцію $A_0(y)$ можна виразити через тригонометричні й гіперболічні функції дійсного аргументу:

$$A_0(y) = \frac{\sin(p) \cdot \cos(p) + i \cdot sh(q) \cdot ch(q)}{\sin^2 p + sh^2 q}\tag{15}$$

Формула (15) визначає похідну функції для $A_n(y)$, що звичайно використовується для обчислення $A_n(y)$ при будь-яких $n = 1, 2, 3, \dots$

Одним з важливих параметрів методу Т матриць є інтенсивність розсіювання для неполяризованого падаючого променя, яка визначаються за формулою:

$$I = |S_1|^2 + |S_2|^2\tag{16}$$

Якщо частинки симетричні відносно площини, перпендикулярної до вісі симетрії, можливі також додаткові спрощення Т-матриці. Тобто половина елементів Т-матриці рівна нулю, а інші елементи розраховуються по половині поверхні частинок, тобто розрахунки зменшуються в чотири рази[1].

Ключовою перевагою Т-матричного методу є використання функцій зенітного і азимутального кутів с добре вивченими і дуже зручними аналітичними властивостями. Наслідком цього є сукупність універсальних аналітичних властивостей Т-матриць. Найважливішими є закони трансформації Т-матриці при поворотах та трансляціях системи координат [2].

Пакет Т-матричних програм можна знайти на електронному сервері <http://www.giss.nasa.gov/~crrim>

Цей пакет може бути використаний для розрахунку світлорозсіювальних властивостей як для простих вісесиметричних частинок, так і кластерів, які складаються з однорідних сферичних частинок.

Аналітичні методи мають недолік введення різних обмежень на розмір, форму або показник заломлення розсіювача. Чисельні методи можуть вирішити проблему однократного розсіювання без

істотних обмежень. Головний недолік чисельних методів, так як і методів формалізму Т-матриці – це довгий час обчислення, який потрібний, щоб забезпечити точне рішення [4].

Висновки

Підтверджено, що застосування Т-матричного методу для дослідження особливостей взаємодії лазерного випромінювання з форменими елементами крові людини дозволяє визначити спотворення форми, розмірів, орієнтації і конфігурації світлорозсіювальних елементів при патологічних змінах. Застосування чисельних методів дозволяє вирішити проблему однократного розсіювання без істотних обмежень.

Література

1. Arturo Quirantes. T-matrix method and computer code for randomly oriented, axially symmetric coated scatterers. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 92 (2005) 373–381, 2005
2. Мищенко М. И. Электромагнитное рассеяние в случайных дисперсных средах: фундаментальная теория и приложения. - Киев - Нью-Йорк – 2007.
3. Mishchenko M. I., Travis L.D. Lacis A.A. Scattering, absorption, and emission of light by small particles. – Cambridge: Cambridge Univ. Press. 2002. – 445 p.
4. С.В. Павлов, Т.І. Козловська, В.П. Думенко. Аналіз методів розповсюдження випромінювання в біологічних середовищах на основі застосування методу Монте-Карло. – Принципові концепції та структурування різних рівнів освіти з оптико-електронних інформаційно-енергетичних технологій. – Вінниця – 2008.

References

1. Arturo Quirantes. T-matrix method and computer code for randomly oriented, axially symmetric coated scatterers. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 92 (2005) 373-381, 2005
2. MI Mishchenko Elektromagnitnoye scattering in sluchaynyh dyspersnyh environments: fundamentalnaya theory and applications. - Kiev - New York - 2007.
3. Mishchenko M. I., Travis L.D. Lacis A.A. Scattering, absorption, and emission of light by small particles. - Cambridge: Cambridge Univ. Press. 2002. - 445 p.
4. SV Pavlov, TI Kozlovsky, VP Dumenko. Analysis methods for spreading radiation in biological environments through the use of Monte Carlo. - Fundamental concepts and structuring of different levels of education optoelectronic information-energy technologies. - Vinnytsya - 2008.

Рецензія/Peer review : 21.6.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Тепло от выхлопных газов дизельных двигателей может быть важным источником тепла для обеспечения дополнительной мощности и повысить общую эффективность работы двигателя. Преимущество цикла Ренкина (RC) в том, что это является одним из перспективных методов утилизации тепла от выхлопных газов.

Одним из производных цикла Ренкина известно как органический цикл Ренкина (ORC) также подходит для рекуперации тепла для средних двигателей, как содержание тепла выхлопного газа и температуры. Для рекуперации тепла от выхлопных газов двигателя, необходим эффективный теплообменник. Используя оптимизированные теплообменники, было проведено моделирование с целью оценки возможной выработки дополнительной энергии с учетом 80% КПД изэнтропической турбины. Это дополнительное повышение мощности удельного расхода топлива.

Ключевые слова: теплоэнергетика, утилизация тепла, дизельные двигатели, утилизация выхлопных газов, дизельной электростанцией.

A.A. HAMZA, O.A. HAMZA, A. P. MARCHINKO

The National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

EFFICIENCY ASSESSMENT METHODOLOGY RECOVERY SYSTEM EXHAUST HEAT FOR DIESEL POWER PLANTS

The heat from exhaust gas of diesel engines can be an important heat source to provide additional power and improve overall engine efficiency. Bottoming Rankine Cycle (RC) is one of the promising techniques to recover heat from the exhaust.

One derivative of RC known as Organic Rankine Cycle (ORC) is also suitable for heat recovery for moderate engines as the exhaust heat content and temperature. To recover heat from the exhaust of the engine, an efficient heat exchanger is necessary. Using the optimized heat exchangers simulation was conducted to estimate the possible additional power generation considering 80% isentropic turbine efficiency. This additional power improvement in specific fuel consumption.

Keywords: Heat power engineering, waste heat, diesel engines, exhaust gas recycling, diesel power stations.

Вступление

Энергетический комплекс разных государств обеспечивается промышленными разработками, которые базируются на фундаментальных исследованиях, что приобретает особенную актуальность в условиях оптимизации энергопотерь как перспективного направления совершенствования энергетики. Это связано с тем, что выхлопные газы, покидая пространство, в котором они возникли, параллельно выводят с собой большое количество энергии, которая может использоваться для производства электроэнергии, в чем и состоит основной смысл рекуперации. В этом контексте улучшение функционирования дизельных электростанций выступает важным предметом исследования, который фокусирует на себе научные поиски таких отдельных и важных аспектов данной проблематики, как эффективность рекуперации тепла выхлопных газов дизельных электростанций с целью увеличения энергоэффективности электростанций в целом.

Анализ состояния исследований и публикаций

Данная научная проблематика активно исследуется как в Украине, так и в Российской Федерации, европейских странах и странах Ближнего Востока. Наиболее новыми научными разработками необходимо признать работы таких авторов, как Г.А. Баласанян, А.В. Бурукова, А.Л. Гончаренко, А.В. Ефимов, О.В. Касилов, Ю.А. Рахманова, В.И. Тимошпольский, Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.А. Хрипач и другие исследователи.

В то же время недостаточно исследованными остаются подходы ученых к методологии оценки эффективности системы рекуперации тепла выхлопных газов энергетических установок.

Целью данной статьи является характеристика методологических особенностей оценки эффективности системы рекуперации тепла выхлопных газов энергетических установок.

Изложение основного материала

Тепловые двигатели являются основным элементом когенерационных установок, они позволяют вырабатывать механическую энергию, которая в дальнейшем преобразуется в электрическую и тепловую энергию за счет отбора энергии от отработавших газов, охлаждающей жидкости и системы смазки. Эффективность энергоустановок, в первую очередь, зависит от степени преобразования энергии сгорания топлива в электрическую и тепловую энергию. Современные когенерационные установки имеют суммарный КПД около 85–90 %, причем тепловой энергии вырабатывается значительно больше, чем электрической. Электрический КПД установки ограничивается механическим КПД теплового двигателя и электрическим КПД генератора и преобразователя, что обуславливает его низкое значение по сравнению с тепловым КПД [1].

Данную особенность тепловых двигателей в контексте преобразования тепловой энергии в электрическую, на наш взгляд, необходимо исследовать путем математического моделирования различных

режимов работы электропривода с полупроводниковым преобразователем, а также сети электроснабжения с автономным источником электрической энергии в программном комплексе Matlab Simulink. Данный подход обусловлен тем, что дизель-генератор представляет собой установку, состоящую из дизельного двигателя и генератора.

Ученые отмечают, что КПД дизель-генераторной установки в большей степени определяется КПД дизельного двигателя. Из-за конструктивных особенностей дизельный двигатель обладает максимальным КПД при нагрузке порядка 80% от максимальной. Нагрузка на дизельный двигатель меньше 20% считается неэффективной и ее стараются избегать [2].

В то же время, эффективность дизель-генераторной установки может существенно увеличиваться за счет комплекса технических мероприятий, которые принято называть рекуперацией. Так, например, А.В. Бурокова констатирует, что снизить эти потери можно путем уменьшения их количества за счет снижения коэффициента избытка воздуха при сжигании топлива и присосов воздуха в рабочее пространство из окружающей среды через неплотности. Утилизация теплоты уходящих дымовых газов за счет снижения их температуры может быть выполнена в двух направлениях: с возвратом утилизированной теплоты обратно и без возврата этой теплоты. Возврат части теплоты дымовых газов может осуществляться путем предварительного подогрева за счет части теплоты дымовых газов, металла, топлива или воздуха перед их подачей в камеры сжигания топлива дизельного двигателя, что позволяет повысить коэффициент использования теплоты дизельного агрегата, температуру и качество горения топлива, а также снизить расход топлива и сопутствующие негативные экологические воздействия [3].

Еще одним способом увеличения КПД когенерационной установки является применение установок, работающих по циклу Ренкина. Технология, использующая экологически чистый цикл Ренкина, может работать на любом тепловом источнике с минимальной разницей температур 52 °С между источником тепла и теплоотводом. Установка, работающая по циклу Ренкина, содержит теплообменник, в котором подводимое тепло идет на нагрев рабочего тела и превращение его в газ. Газ (пар) поступает в турбину и вращает генератор, после чего пар попадает в конденсатор, где охлаждается и превращается в жидкость, после чего поступает обратно в первый теплообменник [4].

При оптимизации режимов работы теплоутилизационных установок необходимо использовать математическую модель, разработанную М. В. Меркуловым и другими исследователями [5] на основе теоретических и экспериментальных исследований, позволяющую выразить величину теплового потока в зависимости от температуры, расхода теплоносителя и нагрузки дизель-генератора, что дает возможность:

- определить величину теплового потока в различных режимах работы системы утилизации теплоты;
- выбрать режим работы, обеспечивающий максимальную экономию топлива.

Процесс теплообмена в рекуперативных теплообменниках, протекающий без изменения агрегатного состояния, описывается уравнением теплопередачи. Кроме этого, для каждого теплоносителя можно записать уравнение теплового потока.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = k \cdot F \cdot \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \\ Q = W_1 \cdot (T_1 - T_2) \\ Q = W_2 \cdot (t_2 - t_1) \end{array} \right. \quad (1)$$

Решив их совместно получим уравнение теплового режима:

$$Q = (T_1 - t_1) \cdot W_1 \cdot m, \text{ кВт} \quad (2)$$

где Q – тепловой поток, кВт;

K – коэффициент теплопередачи, кВт/м²°С;

F – площадь теплообмена, м²;

Δt – логарифмический перепад температур, °С;

T_1, T_2 – температура первичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;

t_1, t_2 – температура вторичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;

W_1, W_2 – водяной эквивалент первичного и вторичного теплоносителя, кВт/°С;

P – нагрузка дизель-агрегата, кВт;

m – коэффициент, учитывающий изменение теплопередачи в различных режимах работы.

$$\frac{1 - \exp \left[k \cdot F \cdot \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right) \right]}{\frac{W_1}{W_2} - \exp \left[k \cdot F \cdot \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right) \right]} = m \quad (3)$$

Параметры W_1 и T_1 определяются режимом работы дизель-генератора и могут быть выражены через его нагрузку (P). Коэффициент m может быть представлен через нагрузку дизель-генератора и расход вторичного теплоносителя.

Анализ литературных источников показал, что функции $W_1=f(P)$ и $T_1=f(P)$ носят линейный характер. Регрессионный анализ результатов испытаний позволил представить эти зависимости следующими аппроксимирующими функциями:

$$T_1=92,86+0,977P, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$W_1=0,745+0,758\cdot 10^{-3}, \text{ кВт}.$$

В результате корреляционного анализа, для коэффициента m установлена следующая зависимость от величины водяного эквивалента вторичного теплоносителя:

$$m=0,45\cdot W_2^{0,2}.$$

С учетом того, что $W_2=c_2M_2/3600$, кВт/°С, где c_2 - теплоемкость воды, $c_2=4,19$ кДж/кг°С; M_2 – расход вторичного теплоносителя, тыс. кг/ч,

уравнение теплового режима примет вид:

$$Q = (92,86 - t_1 + 0,977 \cdot P) \cdot (0,745 + 0,7579 \cdot 10^{-3} \cdot P) \cdot 0,4638 \cdot M_2^{0,2}, \text{ кВт} \quad (4)$$

Проверка статистических гипотез с уровнем значимости $\alpha = 0,95$ позволяет утверждать, что данное уравнение является значимым, адекватным и информативным.

Выводы

Таким образом, необходимо констатировать, что охарактеризованная выше модель призвана получить использование при выборе оптимального режима работы системы рекуперации теплоты дизельной электростанции, таким образом может увеличить эффективность ее работы в контексте поднятия показателей общего КПД.

Литература

- Ипатов А. А. Разработка технологической схемы автономной системы с комбинированным тепло- и электроснабжением отдельно стоящих объектов с возможностью использования в качестве топлива продуктов переработки биомассы / А. А. Ипатов, Б. А. Папкин, Н. А. Хрипач // Комбинированные энергоустановки автотранспортных средств: сб. научн. ст. – М. – Вып. №242. – 2009. – С. 85 - 95., с. 91.
- Момот Борис Александрович. Снижение влияния частотно-регулируемого привода переменного тока на качество электрической энергии в сетях с автономным источником: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Момот Борис Александрович; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"] – Санкт-Петербург, 2014.- 151 с., с. 14.
- Воронко А.В. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий / А.В. Воронко, Ю.А. Рахманов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2014. – № 1(16). – С. 17.
- Хрипач Н.А., Татарников А.П. АНАЛИЗ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК // Научное обозрение. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 200-200.- Режим доступа: <http://engineering.science-review.ru/ru/article/view?id=683> (дата обращения: 27.04.2016).
- Лимитовский А.М. Утилизация тепла дизельных электростанций – главный резерв экономии топливно-энергетических ресурсов ГРП. / А.М. Лимитовский, А.А. Гланц, М.В. Меркулов // Оптимизация и совершенствование электроснабжения геологоразведочных работ. – М., «Недра», 1983.

References

- Ipatov A. A. Razrabotka tehnologicheskoy shemy avtonomnoy sistemy s kombinirovannym teplo- i jelektrosnabzheniem ot del'no stojashhix ob#ektov s vozmozhnost'ju ispol'zovanija v kachestve topliva produktov pererabotki biomassy / A. A. Ipatov, B. A. Papkin, N. A. Hripach // Kombinirovannye jenergoustanovki avtotransportnyh sredstv: sb. nauchn. st. – M. – Vyp. №242. – 2009. – pp. 85 - 95., p. 91.
- Momot Boris Aleksandrovich. Snizhenie vlijaniya chastotno-reguliruемого privoda peremennogo toka na kachestvo jelektricheskoy jenerгии v setjah s avtonomnym istochnikom: dissertacija ... kandidata tehniceskix nauk: 05.09.03 / Momot Boris Aleksandrovich; [Mesto zashhity: Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet "Gornyj"] – Sankt-Peterburg, 2014.- 151 p., p. 14.
- Voronko A. V. K voprosu rekupeции teploty gazov pechej termoobrabotki metallicheskih izdelij / A. V. Voronko, Ju. A. Rahmanov // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija: Jekonomika i jekologicheskij menedzhment. – 2014. – № 1(16). – p. 17.
- Hripach N. A., Tatarnikov A. P. ANALIZ SISTEM PREOBRAZOVANIJa JeNERGIIj OTRABOTAVSHIH GAZOV DLJa KOGENERACIONNYH JeNERGOUSTANOVOK // Nauchnoe obozrenie. Tehniceskie nauki. – 2014. – № 2. – pp. 200-200.- Rezhim dostupa: <http://engineering.science-review.ru/ru/article/view?id=683> (data obrashhenija: 27.04.2016).
- Limitovskij A. M. Utilizacija tepla dizel'nyh jelektrostancij – glavnyj rezerv jekonomii toplivno-jenergeticheskix resursov GRP. / A. M. Limitovskij, A. A. Glanc, M. V. Merkulov // Optimizacija i sovershenstvovanie jelektrosnabzhenija geologorazvedochnyh robot. – M., «Nedra», 1983.

Рецензія/Peer review : 8.5.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ОПТОЕЛЕКТРОННІ ЗАСОБИ І ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ЛЮДИНИ

Стаття присвячена оцінюванню сучасного стану оптоелектронної медичної апаратури для діагностики і корекції функціонального стану людини. Розглянуто принципи роботи низько інтенсивної апаратури для світлотерапії. Показано позитивні і негативні аспекти сучасної оптоелектронної медичної апаратури, починаючи з фотонних матриць «Барва» і закінчуючи сімейством оптоелектронних біомедичних комплексів, розроблених в Україні. Оцінено клінічну ефективність сучасної світлодіодної і галогенної медичної апаратури на прикладі апаратів БІОПТРОН і МЕДОЛАЙТ. У висновках відзначено, що потребує свого вирішення задач побудови низько інтенсивних, з нормованими параметрами, напівпровідникових джерел випромінювання та їх метрологічного забезпечення.

Ключові слова: оптоелектронні засоби, низькоінтенсивне випромінювання, світлодіод, фотонні матриці, діагностичний комплекс, електроретинографія, поляризація, «БІОПТРОН», «Барва»

M.V. BACHYNS'KYY

Ternopil Ivan Puluj national technical university

N.V. TITOVA

National Transport University

S.V. TYMCHYK, A.Yu. KLAPOUShchAK

Vinnytsia national technical university

OPTOELECTRONIC MEANS AND DEVICES FOR IMPACT IN FUNCTIONAL STATE RIGHTS

The article is devoted optoelectronic evaluation of the current state of medical equipment for the diagnosis and correction of the functional state of the person. The principles of low-intensive equipment for light therapy. Positive and negative aspects of modern medical equipment optoelectronic, photonic matrix since "Barva" and ending family optoelectronic biomedical systems developed in Ukraine. Reviewed clinical efficacy and halogen svitlloiodnoyi modern medical equipment for example BIOPTRON devices and MEDOLAYT. The conclusions noted that solving problems requires a low intensive construction, with normalized parameters of semiconductor radiation sources and their metrological support.

Keywords: optoelectronic products, low-emission, LED, photonic matrix diagnostic system, elektroretynohrafiya, polarization, "BIOPTRON", "Barva"

Вступ

При вирішенні питань профілактики, діагностики, лікування і реабілітації людини, метою яких є досягнення очікуемого і бажаного ефекту, часто використовують зовнішній вплив механічної, електричної, теплової природи. При цьому все більше виокремлюються енергетичний та інформаційний аспекти такого впливу, коли відсутність деструктивних змін у відповідному біооб'єкті (його нагрівання, зміна структури, характерної для виконання його типової функції тощо) стає характеристикою, так званої, інформаційної, або квантової медицини [1-3].

У медичній практиці для досягнення інформаційного впливу своє застосування знаходить опромінення біооб'єкта електромагнітними хвилями різної природи Але його засадничий (інформаційний) аспект практично не носить системного характеру (у сенсі теорії систем). Засоби технічного забезпечення і медичного застосування не мають спільної теоретичної і прикладної бази. Наприклад, рівень інтенсивності опромінення радіохвилями та світлом традиційно визначаються різними метрологічними принципами (радіометрії та фотометрії).

В такій ситуації виникає низка запитань системного характеру, зокрема, стосовно залежності фізіологічних ефектів від рівня інтенсивності впливів визначених різними метрологічними нормами. Відповіді на ці запитання можливо дати лише при наявності спільної концептуальної основи розроблення апаратного та метрологічного забезпечення [4].

Зниження інтенсивності енергії опромінення при інформаційному аспекті його використання спричиняє «зсув» концептуальних засад формулювання задач дизайну (комп'ютерного розроблення) технічних засобів опромінення світлом у бік хвилевих та квантових концепцій [5, 6]. Ефективними за критерієм складності керування інтенсивністю є напівпровідникові джерела випромінювання [6], які найбільше розвиваються для галузі світлотехніки. Але, для низьких і наднизьких рівнів інтенсивності випромінювання вони не призначені і досліджуються тільки у напрямку підвищення ефективності перетворення електроенергії у енергію випромінювання. Процеси випромінювання світла джерелом його поширення до біооб'єкту через середовище та взаємодію з цим середовищем описуються відповідними математичними виразами.

Основний текст статті

Практична сторона проблеми передбачає використання при проведенні біомедичних досліджень дескриптивного представлення параметрів опромінення, але в той же час, не надає методик та засобів для проведення вимірювань хвильових та квантових величин [7] і проектування відповідної медичної апаратури.

Одним із шляхів розв’язання проблеми можна вважати застосування низькорівневої світлотерапії (LLLT), що використовує червоне світло з наближенням до інфрачервоної області, при побудові такої апаратури. LLLT будемо визначати як використання спрямованого, малопотужного і щільного пучка енергії моно або квазіхроматичного світла, що випромінюють світлодіоди (LED) в червоному та інфрачервоному діапазоні (600-1100 нм) для модуляції біологічної функції клітини та індукції терапевтичного ефекту у неруйнівний і нетепловий спосіб. Ефект LLLT виявляє перетворення світлової енергії в метаболічну з наступною модуляцією біологічної функції клітин, що дозволяє визначати LLLT як біофотомодулятор. Використання діапазону довжин хвиль від червоного ближнього до інфрачервоного зумовлено високою проникністю даного діапазону.

Поява надяскравих потужних світлодіодів з властивостями, що розглянуті вище, ініціювала розвиток нового напрямку біомедичної терапевтичної і діагностичної апаратури, а саме – появу фототерапевтичних приладів і систем. Одним із потужних науковців і розробників такої апаратури в Україні є професор Коробов Анатолій Михайлович, науковий керівник і директор корпорації «Лазер і здоров’я», що є складовою НДІ лазерної біології і лазерної медицини Харківського національного університету імені В.А.Каразіна. Заснована ним серія приладів під загальним брендом «Барва» включає в себе фотонні матриці, масажери, зонди та інші засоби індивідуального впливу на організм людини з лікувальною метою.

Одними з найбільш універсальних персональних медичних апаратів для фототерапії, вироблених корпорацією «Лазер і Здоров’я», є фотонні матриці Коробова «Барва-Флекс» [8].

Відмінною особливістю фотонних матриць є те, що вони мають гнучку підставу. Це дозволяє матрицями повторювати форму тієї частини тіла людини, до якої вони прикладаються і забезпечує максимально ефективну передачу випромінювання світлодіодів, без втрат на відбиття, на межі «повітря - шкіра людини».

Базовий варіант матриці, схематично зображений на рис. 1, містить 24 світлодіода, розташованих еквідистантно в 4 ряди по 6 світлодіодів в кожному ряду. Спеціальні матриці мають розташування світлодіодів 3x8 (для освітлювання протяжних ділянок) і 2x12 (для освітлювання хребта і паравертебральних зон).

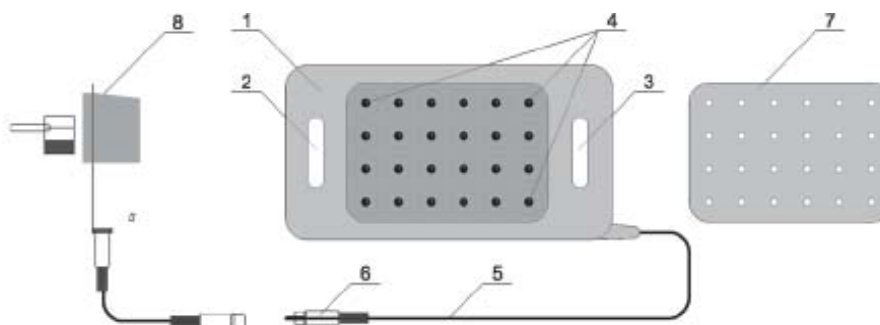


Рис. 1 Схема фотонної і магнітної матриць Коробова «Барва-Флекс» [8]

Фотонні матриці «Барва-Флекс» мають пластину 1 з двома вушками 2 і 3, призначеними для кріплення еластичного ременів, що дозволяють фіксувати матрицю на тілі пацієнта.

Матриця виготовляється з гіпоалергенної медичної гуми і не викликає роздратування шкірних покривів. Електроживлення світлодіодів здійснюється від електромережі (220 В, 50 Гц) через адаптер 8, до якого матриця підключається за допомогою кабеля 5 з роз'ємом 6. При необхідності одночасного впливу електромагнітного випромінювання інфрачервоної і видимої частин спектра з постійним магнітним полем на фотонну матрицю встановлюється магнітна матриця «Барва-Флекс / Маг» 7 [8].

Основні технічні дані фотонної матриці «Барва-Флекс» і магнітної матриці «Барва-Флекс / Маг» наведені в табл. 1 [8].

Таблиця 1

Технічні дані фотонної і магнітної матриць Коробова «Барва-Флекс» [8]

Найменування параметру	Од. вим.	Значення
Кількість світлодіодів в фотонній матриці	шт	24
Потужність випромінювання кожного світлодіода	мВт	5
Напруга живлення	В	14
Габаритні розміри базового варіанту фотонної матриці «Барва-Флекс», не більше	мм	190x98x15
Кількість кільцевих магнітів в магнітній матриці	шт	24
Напруженість магнітного поля кожного магніту	мТл	10
Габаритні розміри магнітної матриці «Барва-Флекс / Маг», не більше	мм	120x80x7

Більш потужними, з функціональної точки зору, слід вважати модулі, які отримали загальну назву мікропроцесорні блоки імпульсного біоуправління (МП БІУ), і які відрізнялися між собою значеннями максимального вихідного струму і відносною потужністю випромінювання [8].

Для проведення об'єктивного дослідження зору, детального аналізу функціональної активності сітківки, її апаратів, стану, виявлення вродженої патології очей призначено комп'ютерний електроретинограф «Нейро-ЕРГ» [9], особливістю якого є унікальний міні-ганцфельд-стимулятор і ретинографічні електроди (рис.2).

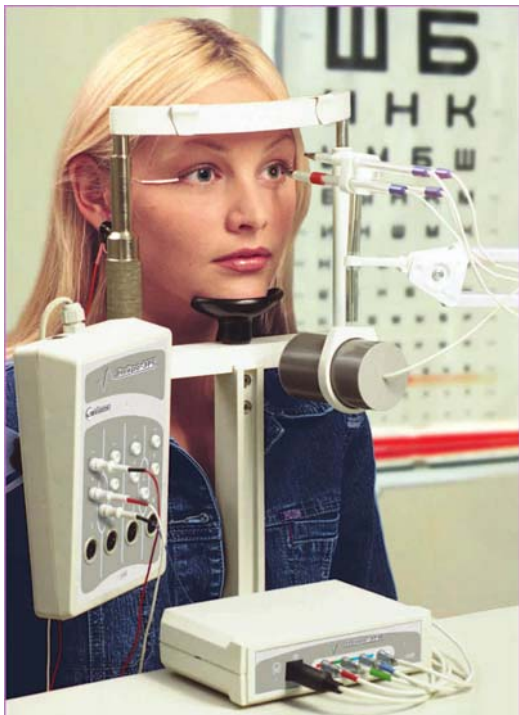


Рис. 2 Електроретинограф Нейро-ЕРГ [9]

Оптоелектронний діагностичний комплекс (рис.3) призначений для визначення порушень мікроциркуляції серцево - судинної системи шляхом реєстрації, оброблення та збереження фотоплетизмограм кровеносних судин за допомогою апаратних засобів [10]. Оптичний метод діагностики мікроциркуляції судин характеризується достатньо широким діапазоном можливостей реєстрації найрізноманітніших фізіологічних функцій тканин, органів і систем організму. Також відмінною рисою параметрів є їхня висока вибірність і точність. Оптичний метод дозволяє використовувати поряд з лазерними та оптико-електронними датчиками гнучкі скловолоконні світловоди для дослідження мікроциркуляції.

Комплекс дозволяє [10]: реєструвати фотоплетизмограму (ФПГ) одночасно по двох каналах на периферійних артеріях; виконувати апаратну і програмну фільтрацію завад; вимірювати амплітудно-часові характеристики ФПГ; виконувати розрахунок параметрів ФПГ у відносних одиницях; виконувати

роботу з базою даних пацієнтів.

За рахунок використання оптоелектронних сенсорів реєстрації біомедичних сигналів, які працюють в інфрачервоному та червоному діапазонах, забезпечуються абсолютно безпечно та комфортно діагностування різних вікових груп і фізичного стану населення (включаючи дуже важких хворих, наприклад, після аварії, опіків і т.і.), безпечні умови праці обслуговуючого персоналу та підвищується якість медичного обслуговування.

ФПГ порівняно з іншими методами діагностики біологічного об'єкту (БО) за оптичними показниками, наприклад з фотоакустичним методом, дозволяє підвищити достовірність реєстрації гемодинамічних показників



Рис. 3 Оптикоелектронний діагностичний комплекс [10]

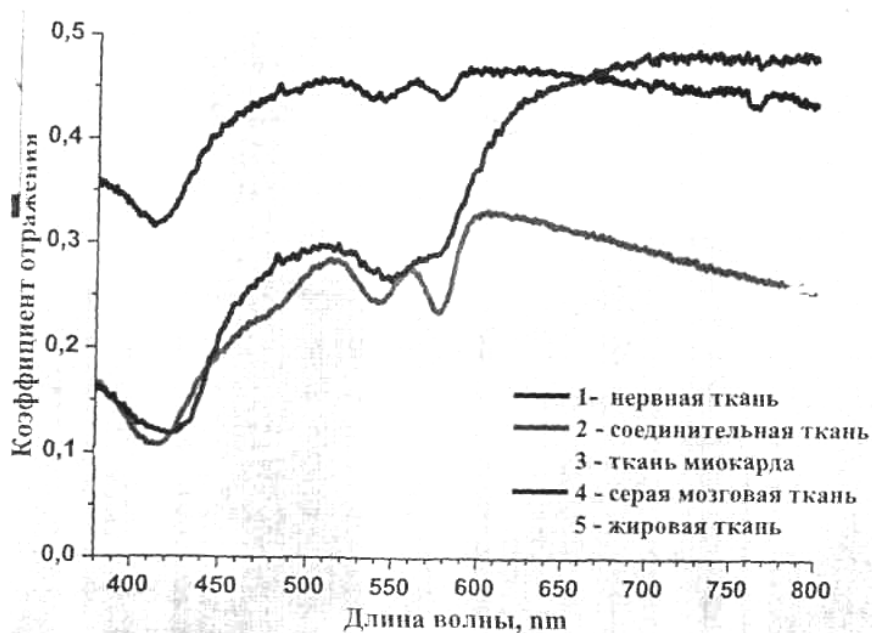
кровонаповнення, а за рахунок елементів світловолоконної техніки і джерел з різноманітними довжинами хвиль зондуючого випромінювання дозволяє достатньо точно вирішувати задачі фотодинамічних досліджень, дистанційних вимірів тих або інших гемодинамічних показників БО [10].

Оптико-електронний діагностичний комплекс визначення структурних змін мікроциркуляції кон'юнктиви ока (рис.4) забезпечує виконання таких функціональних задач: динамічне спостереження за станом мікроциркуляції в процесі діагностики і лікування патологічних змін, аналіз структурно-функціональних особливостей мікрогемодинаміки, визначення ступеню насичення крові киснем [11].



Рис. 4 Оптико-електронний діагностичний комплекс визначення структурних змін мікроциркуляції кон'юнктиви ока [11]

Для оцінювання кон'юнктивального індексу вибираються такі показники: співвідношення діаметрів артеріол і відповідних венул; нерівномірність калібру; меандрична звивистість; мікроаневризми; клубочки; сітководна структура судин; зміна кількості функціонуючих капілярів; артеріоло-венулярні анастомози; крововиливи; периваскулярні набряки; сладж-феномен; мікротромби, які характеризують такі порушення як: зміни судин; позасудинні зміни; внутрішньо-судинні зміни [11].



а)



б)

Рис. 6 Спектральні СД джерела для хірургії і діагностики [12]

Для покращення ідентифікації тканин різної морфологічної структури, в т.ч. таких, що відповідають нормі або патології, в деяких російських клініках використовують для діагностики і хірургії спектральні СД джерела, що мають функцію зміни діапазону випромінювання [12] і відповідають таким умовам: біле світло має високі індекси $R1-R14 \rightarrow 100$; забезпечено можливість динамічної зміни спектру (кольору) випромінювання в широкому діапазоні [12]. Особливістю такого підходу є те, що враховуючи індивідуальні спектральні характеристики біологічних тканин і змінюючи світло, що падає, можна висвітлити необхідні об'єкти і затемнити фонові (рис. 6, а, б).

Основні види фізіотерапевтичних апаратів (СТА) розрізняються як способом створення світлового потоку - лазерні, галогенові, світлодіодні, так і потужністю та властивостями світлового потоку (моно- і поліхроматичний, поляризований і неполяризований, що визначає відповідні конструктивні особливості. Однак зростаючі потреби фізіотерапії визначають необхідність їх подальшого вдосконалення [13]. Апарати БЮПРОН внесли прогресивний внесок в розвиток світлотерапії за рахунок поєднання клінічно значущих властивостей світла - поляризації і поліхроматичності [13]. Апарат МЕДОЛАЙТ відноситься до гілки світлотерапії, заснованої на доведеною багатьма клінічними спостереженнями ефективності червоно-інфрачервоної частині сонячного спектра. Він оснащений 54 світлодіодами (СД), які випромінюють червоне світло з довжиною хвилі 640 нм і 54 інфрачервоними діодами, що дають випромінювання з довжиною хвилі 880 нм. СД розташовані концентровано, щільність світлового потоку складає 26 мВт / см², а щільність дози -1,6 Дж / см². Світловий потік може бути доставлений до тканин в декількох режимах: рівне, переривчасте з частотами 10; 600; 3000; 8000 Гц. Апарат має розміри 130 x 71 x 42 мм, масу 230 г. Корпус СТА виготовлений з дотриманням останніх досягнень ергономіки і відповідає міді-ко-технічним вимогам Директиви ЄЕС 93/42 / ЄЕС, стандартів EN 60601-1 і EN 60601-1 -2. Результати експериментальних досліджень СТА МЕДО-ЛАЙТ наведені окремо (Гуляр і співавт., см. наст. зб.) [13].

Клінічна ефективність сучасної СД-апаратури, яка випромінює неполяризоване світло, може бути істотно підвищена шляхом додання її світлу властивостей поляризованого. Це досягається застосуванням різних поляризованих пристроїв, адаптованих для діодних джерел світла. Поляризований світ завдяки своїм просторовим властивостям більш ефективно взаємодіє з біологічними структурами. Завдання створення світлотерапевтичного пристрою на поляризованому випромінюванні вирішено шляхом оснащення апарату МЕДОЛАЙТ додатковими елементами поляризації з можливістю управління розміром світлової плями [13].

Поляризація світла може бути досягнута трьома шляхами. Перший шлях. полягає в тому, що застосовується укладена в дві прозорі плоскопаралельні пластини поляризаційна плівка з відомою орієнтацією площини поляризації. Другий передбачає індивідуальний для кожного СД поляризатор з фіксованою орієнтацією площини поляризації. І, нарешті, в третій модифікації, поляризаційний елемент виконаний у вигляді комплексу двопробових поляризаторів, кожен з яких оптично пов'язаний з відповідним СД, і фіксованою орієнтацією осі поляризації [13].

При цьому вирішується ряд конкретних завдань. По-перше, поляризуємо монохроматичне світло забезпечує відомі біологічні і лікувальні ефекти з їх фізіотерапевтичними перевагами. У разі впливу на точки акупунктури шляхом відключення надлишкових джерел світла забезпечується оптимальний розмір світлової плями, що запобігає комбінованому впливу на точки з різною біологічною специфікацією. По-друге, набір оптично-узгоджених з джерелами світла поляризаторів з фіксованою орієнтацією площини поляризації, дозволяє створити оптимальну мозаїку поляризованих потоків світла. По-третє, використання двопробових поляризаторів дозволяє підсилити поляризаційні властивості СТА і максимально використовувати світловий потік [13].

Висновки

Проведений аналіз підходів та оптоелектронних засобів для світлотерапії дозволяє зробити такі висновки:

Потребує свого вирішення задача побудови низькоінтенсивних, з нормованими параметрами, напівпровідникових джерел випромінювання та їх метрологічного забезпечення.

Необхідно створити теоретичне і практичне підґрунтя для побудови нового класу біотехнічних приладів і систем – біотехнічних систем і комплексів для низькоінтенсивної світлової стимуляції і корекції функціонального стану людини.

Література

1. Пресман А.С., Электромагнитные поля и живая природа/ А.С. Пресман – М.: Наука, 1968. – 288 с.
2. Rojas J.C. Low-level light therapy of the eye and brain/ J.C. Rojas., F. Gonzalez-Lima // *Eye and Brain*. – 2011. – № 3. – С. 49-67.
3. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов/ Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, В. Ф. Манойлов и др. Под редакцией Ю. А. Скрипник. – Житомир.: Изд-во «Вольность», 2003. – 408 с.
4. Бачинський М.В. Забезпечення низької інтенсивності опромінення для стимулювання профілактичних, терапевтичних та реабілітаційних процедур / М. В. Бачинський // *Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (РТПСАС–2015): матеріали міжнародної науково-технічної конференції*, м. Київ, 16-22 березня 2015р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 220-222.

5. Yavorsky B.I., Device for excitation of eye retina for photon electroretinography/ B.I. Yavorsky, R.A. Tkachuk // In Proc. 20th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2010), Sevastopol, 13-17 September 2010. – Sevastopol, 2010. – P.1 127-1128. – ISBN 978-966-335-330-2.
6. Dragan Y. Scientific Paradigms for Computer Aided Signal Design / Y. Dragan, B. Yavorsky // CAD Systems in Microelectronics, 2007 (CADSM '07): In Proc. 9th International Conference, Lviv, 20-24 February 2007. – Lviv, 2007. – P. 156-158. – ISBN 978-966-553-587 4
7. Photometry, radiometry and 'the candela': evolution in the classical and quantum world / Zwinkels J. C., Ikonen E., Fox N.P. and others // Metrologia. – 2010. – Vol. 47, № 5. – P.15-32.
8. . Коробов А. М. Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва»: техн. характеристики и метод. рекомендации / А. М. Коробов, В. А. Коробов, Т. А. Лесная. – Харьков: Контраст. – 2008. – 176 с. – ISBN 966-88553-1-3.
9. Електроретинограф Нейро-ЭРГ [Електронний ресурс] // Нейрософт. – Режим доступа: <http://neurosoft.com/ru/catalog/view/id/124>. – Дата обращения: 10.03.2016.
10. Проспект на оптоелектронний діагностичний комплекс. – ВНТУ. – 2012.
11. Проспект на оптоелектронний діагностичний комплекс визначення структурних змін сітківки ока. – ВНТУ. – 2014.
12. Фундаментальные проблемы создания AlInGaN (250-540 nm) высокоэффективных светодиодов и новые технологии освещения [Електронний ресурс] / А. Л. Закреим. – Режим доступа: http://fks2015.pnpi.spb.ru/uploads/attachment/14/Закгейм_ФКС_2015.pdf. – Дата обращения: 10.03.2016.
13. Gulyar S.A. Monochromatic medlight device and its modifications for polarization light therapy/ Gulyar S.A., Koztechin I.A., Mulic V. // Применение лазеров в медицине и биологии: Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, г. Николаев, 25-28 мая 2005 г. – Николаев, 2005. – С. 110-112.

References

1. Presman A.S., Elektromagnitnyie polya i zhivaya priroda/ A.S. Presman – М.: Nauka, 1968. – 288 s.
2. Rojas J.C. Low-level light therapy of the eye and brain/ J.C. Rojas., F. Gonzalez-Lima // Eye and Brain. – 2011. – № 3. – С. 49-67.
3. Mikrovolnovaya radiometriya fizicheskikh i biologicheskikh ob'ektov/ Yu. A. Skripnik, A. F. Yanenko, V. F. Manoylov i dr. Pod redaktsiey Yu. A. Skripnik. – Zhitomir.: Izd-vo «Volyin», 2003. – 408 s.
4. Bachyn's'kyu M.V. Zabezpechennya nyz'koyi intensyvnosti oprominennya dlya stymulyuvannya profilaktychnykh, terapevtychnykh ta reabilitatsiynykh protsedur / M. V. Bachyn's'kyu // Radiotekhnichni polya, syhnaly, aparaty ta systemy (RTPSAS–2015): materialy mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi, m. Kyiv, 16-22 bereznya 2015r. – К.: NTUU «KPI», 2015. – S. 220-222.
5. Yavorsky B.I., Device for excitation of eye retina for photon electroretinography/ B. I. Yavorsky, R. A. Tkachuk // In Proc. 20th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2010), Sevastopol, 13-17 September 2010. – Sevastopol, 2010. – P.1 127-1128. – ISBN 978-966-335-330-2.
6. Dragan Y. Scientific Paradigms for Computer Aided Signal Design / Y. Dragan, B. Yavorsky // CAD Systems in Microelectronics, 2007 (CADSM '07): In Proc. 9th International Conference, Lviv, 20-24 February 2007. – Lviv, 2007. – P. 156-158. – ISBN 978-966-553-587 4
7. Photometry, radiometry and 'the candela': evolution in the classical and quantum world / Zwinkels J. C., Ikonen E., Fox N.P. and others // Metrologia. – 2010. – Vol. 47, № 5. – P.15-32.
8. Korobov A. M. Fototerapevticheskie apparaty Korobova serii «Barva»: tehn. harakteristiki i metod. rekomendatsii / A. M. Korobov, V. A. Korobov, T. A. Lesnaya. – Harkov: Kontrast. – 2008. – 176 s. – ISBN 966-88553-1-3.
9. Електроретинограф Нейро-ERG [Електронний ресурс] // Neyrosoft. – Rezhim dostupa: <http://neurosoft.com/ru/catalog/view/id/124>. – Data obrascheniya: 10.03.2016.
10. Prospekt na optoelektronnyy diahnostychnyy kompleks. – VNTU. – 2012.
11. Prospekt na optoelektronnyy diahnostychnyy kompleks vyznachennya strukturykh zmin sitkivky oka. – VNTU. – 2014.
12. Fundamentalnyie problemyi sozdaniya AlInGaN (250-540 nm) vyisokoeffektivnyih svetodiodov i novyie tehnologii osvescheniya [Електронний ресурс] / А. Л. Закреим. – Rezhim dostupa: http://fks2015.pnpi.spb.ru/uploads/attachment/14/Zakgeym_FKS_2015.pdf. – Data obrascheniya: 10.03.2016.
13. Gulyar S.A. Monochromatic medlight device and its modifications for polarization light therapy/ Gulyar S.A., Koztechin I.A., Mulic V. // Primenenie lazerov v meditsine i biologii: Materialy XXIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Nikolaev, 25-28 maya 2005 g. – Nikolaev, 2005. – S. 110-112.

Рецензія/Peer review : 21.6.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МЕТОД ФУНКЦІЙ ПЕРЕВАГ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ІНТЕГРОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ МЕДИКО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

У статті представлено результати обґрунтування методу функцій переваг для визначення стану інтегрованої методології створення медико-діагностичних систем.

Проаналізовано шляхи, які надають інтегрований характер методології створення медико-діагностичних систем. Запропоновано інтегрувати у такій послідовності етапи створення медико-діагностичних систем: медико-біологічний, фізико-хімічний та інженерний. Запропоновано інтегровану методологію, в основу якої покладено метод контролю та діагностики стану виконання етапів та інтегрованого створення медико-діагностичної системи і визначення причин невиконання інтегрованої методології.

Ключові слова: методологія, медико-діагностичні системи, медико-біологічна методологія, фізико-хімічна методологія, інженерна методологія, радіотехнічна методологія, інтегрована методологія, метод функцій переваг.

Y.V. SAVENKO

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

ADVANTAGES FUNCTIONS METHOD FOR DEFINITION OF INTEGRATED METHODOLOGY FOR CREATING THE MEDICAL-DIAGNOSTIC SYSTEMS

Abstract — The paper presents the results of investigation on determine the advantages functions method for definition of integrated methodology for creating the medical-diagnostic system.

It has been analyzed ways, which give to methodology an integrated character for creating the medical-diagnostic systems. It has been proposed to integrate stages of creating the medical-diagnostics systems by such sequence: medical-biological stage, physical-chemical stage, engineering stage. It has been proposed the integrated methodology based on techniques of check and diagnostics of completion state of stages and an integrated creation the medical-diagnostic systems and determine the reason of non-completion integrated methodology.

Keywords: methodology, medical-diagnostic systems, medical-biological methodology, physical-chemical methodology, engineering methodology, radio engineering methodology, integrated methodology, advantages function method.

Вступ

Пошук нових шляхів швидкого й ефективного забезпечення потреб охорони здоров'я медико-діагностичними системами приводить до необхідності критичного перегляду методологій їх створення.

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 відрізняється від появи нових викликів в галузі охорони здоров'я.

Створення медико-діагностичних систем відбувається на окремих етапах із відповідними для них методологіями [1]. Так можна виділити для створення медико-діагностичних систем медико-біологічний, фізико-хімічний та інженерний етапи. Відповідно до таких етапів застосовують медико-біологічну, фізико-хімічну та інженерну методології. Виконання етапів характеризується високою ступеню розінтегрованості та специфічності методологій. Створення відбувається паралельно або послідовно із невизначеністю порядку та слабкою узгодженістю результатів, що знижує рівень швидкого й ефективного забезпечення потреб охорони здоров'я медико-діагностичними системами

Вирішення проблеми може бути шляхом інтегрування етапів із визначеною послідовністю та інтегрування методології, а саме: медико-біологічної, фізико-хімічної та інженерної методології. У випадку створення медико-діагностичних систем на основі радіотехнічних систем інженерний етап та методологія замінюються на радіотехнічний етап та методологію [2-4].

Постановка задачі дослідження та шляхи вирішення проблеми

Важливою складовою інтегрованої методології створення медико-діагностичних систем для забезпечення її нормальної реалізації є метод визначення стану виконання окремого етапу (медико-біологічного, фізико-хімічного та радіотехнічного) та інтегрованого створення медико-діагностичної системи і визначення причин невиконання інтегрованої методології з заданою глибиною [4].

В якості методу визначення стану інтегрованої методології створення медико-діагностичних систем використано метод статистичної оптимізації за критерієм максимальної імовірності відмови (не виконання) параметра із сукупності обраних для контролю параметрів об'єкта діагностування. Цей метод дозволяє оптимізувати кількість контрольованих параметрів і установити черговість їхнього контролю [5]. Відповідно до методу проводиться аналіз виконання інтегрованої методології, що діагностується, на основі якого встановлюються вхідні і вихідні параметри і планується вихідна кількість параметрів.

Сукупність методик (дій) для розпізнавання називають методом розпізнавання. Існує два основних класи таких методів – імовірнісні і детерміністські. Використання того чи іншого класу методів визначається конкретними умовами діагностування, варіантом інтегрованої методології. Імовірнісні методи є більш загальні, більш повно відображають реальну ситуацію, пов'язану з необхідністю вибору в умовах

обмеженого обсягу інформації, але для їх реалізації необхідно мати значно більше (ніж при використанні детерміністських методів) попередньої (апріорної) інформації про інтегровану методологію створення медико-діагностичних систем.

Функціонально-логічна модель і функціонально-логічна схема інтегрованої методології

Функціонально-логічна схема інтегрованої методології виконується у графічному вигляді і складається з функціонально-логічних елементів, які відображаються прямокутниками. Функціонально-логічних елементи при побудові Функціонально-логічна схеми з'єднуються один з одним, відповідно до функціональної схеми інтегрованої методології, з урахуванням того, що вихід будь-якого функціонально-логічних елемента може бути з'єднаний з будь-яким числом входів інших функціонально-логічних елементів, в той час, як вхід будь-якого функціонально-логічних елемента може бути з'єднаний лише з одним виходом одного іншого функціонально-логічних елемента (див. рис. 1).

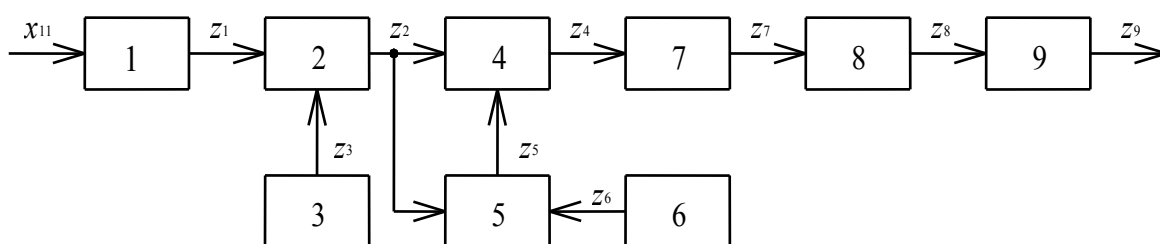


Рис. 1. Функціонально-логічна схема інтегрованої методології

На підставі побудованої функціонально-логічної схеми визначають множину всіх можливих станів інтегрованої методології. Загальна їх кількість дорівнює $2^N - 1$, де N - кількість елементів функціонально-логічної схеми. Однак, за умови високої надійності складових частин інтегрованої методології та дотримання відповідних правил під час її виконання одночасна поява двох незалежних невиконаних окремих методологій малоімовірна.

Математичний апарат методу функцій переваг визначення стану інтегрованої методології

Ця група методів базується на послідовному аналізі деякої *функції переваги*, зміст якої обумовлений характером і обсягом наявної інформації про інтегровану методологію. Метод, побудований на такій основі буде відрізнятися простотою і чіткістю з точки зору врахування інформації, на основі якої певна функція переваги побудована. Крім того метод функцій переваг може бути використано для інтегрованої методології з довільною структурою функціональної схеми та надає можливість розширення класу таких методів за рахунок утворення нових функцій переваги.

Кількість можливих станів інтегрованої методології буде дорівнювати кількості елементів і модель інтегрованої методології можна надати в математичному вигляді, як таблицю станів інтегрованої методології (цю таблицю називають також матрицею станів). Кількість строк таблиці дорівнює кількості контрольних точок інтегрованої методології, за звичай, кількість контрольних точок і кількість елементів схеми співпадають, що відповідає глибині діагностування до відповідного функціонального елемента. Кількість стовпців таблиці відповідає кількості можливих станів інтегрованої методології і за умови (неможливості одночасного не виконання двох і більше функціональних елементів) дорівнює $N + 1$, причому один з цих станів (з умовним номером 0) відповідатиме відсутності не виконання.

Побудова функцій переваги базується на таблиці станів інтегрованої методології. Таблиця станів інтегрованої методології описує можливі стани елементів та інтегрованої методології в цілому і показує взаємну залежність функціонально-логічних елементів. Рівняння ij -го елементу таблиці нулю означає, що відмова i -го функціонального елемента впливає на вихідний параметр j -го функціонального елемента, тобто контролюючи параметр z_j , можна визначити стан i -го функціонального елемента. Таким чином, чим більше нулів в рядку z_j таблиці станів, тим більшу інформацію несе даний параметр про стан інтегрованої методології. Вказані особливості таблиці станів дають підстави для визначення функції переваги:

$$W_1 = \max_{i \in N} W_1(z_i); \quad W_1(z_i) = \sum_{j=1}^N S_0(ij), \tag{1}$$

де $S_0(ij) = 1$, якщо величина ij -го елементу таблиці дорівнює 0, і $S_0(ij) = 0$, якщо ця величина дорівнює 1. Першим для контролю вибирають параметр z_i , для якого функція $W_1(z_i)$ має максимальне значення. В результаті контролю даного параметра таблиця станів ділиться на дві частини. До однієї частини входять стани, для яких результати контролю вибраного параметра позитивні, а до другої – негативні. Подальші дії по вибору чергового параметра аналогічні.

Для випадку, коли відомі імовірності станів елементів інтегрованої методології, функція переваги має вигляд:

$$W_2 = \max_{i \in N} W_2(z_i); \quad W_2(z_i) = \sum_{i=1}^N P(S_j) S_0(ij) \quad (2)$$

Для випадку, коли відомі імовірності станів елементів інтегрованої методології та вартість (або час) контролю параметру, функція переваги має вигляд:

$$W_3(z_i) = \frac{\sum_{i=1}^N P(S_j) S_0(ij)}{C(z_i)} \quad (3)$$

Для пошуку не виконаного елемента інтегрованої методології без оцінки виконання інтегрованої методології максимальну кількість інформації дає контроль параметру, який розділяє всі можливі стани на дві рівні частини. Тоді функція переваги має вигляд:

$$W_4(z_i) = \min_{i \in N} \left| \sum_{j=1}^N S_0(ij) - \sum_{j=1}^N S_1(ij) \right| \quad (4)$$

де $S_1(ij) = 1$, якщо величина ij -го елемента таблиці дорівнює 1, і $S_0(ij) = 0$, якщо ця величина дорівнює 0. Першим для контролю вибирають параметр z_i , для якого функція $W_4(z_i)$ має мінімальне значення. В результаті контролю даного параметра таблиця станів ділиться на дві частини. До однієї частини входять стани, для яких результати контролю вибраного параметра позитивні, а до другої – негативні. Подальші дії по вибору чергового параметра аналогічні.

Для випадку, коли відомі імовірності станів елементів інтегрованої методології, функція переваги має вигляд:

$$W_5(z_i) = \min_{i \in N} \left| \sum_{j=1}^N P(S_i) S_0(ij) - \sum_{j=1}^N P(S_i) S_1(ij) \right| \quad (5)$$

Для випадку, коли відомі імовірності станів елементів інтегрованої методології та вартість (або час) контролю параметру, функція переваги має вигляд:

$$W_6(z_i) = \min_{i \in N} C(z_i) \left| \sum_{j=1}^N P(S_i) S_0(ij) - \sum_{j=1}^N P(S_i) S_1(ij) \right| \quad (6)$$

Аналіз інтегрованої методології методом функції переваги

Спираючись на означені вище положення, побудуємо таблицю станів для об'єкту діагностування, функціонально-логічної схема якого наведена на рис. 1.

При побудові таблиці станів вважаємо, що стану S_1 відповідає ситуація, при якій не виконаний елемент з номером 1, стану S_2 - ситуація, при якій не виконаний елемент з номером 2 і т.д. Припустимо, що не виконаним може бути лише один елемент інтегрованої методології, не виконання елемента з номером 1 означає, що $z_1 = 0$ і, відповідно: $z_2 = 0, z_4 = 0, z_5 = 0, z_7 = 0, z_8 = 0, z_9 = 0$, тоді як $z_1 = 1, z_6 = 1$. Аналогічно для стану S_2 : $z_2 = 0, z_1 = 1, z_3 = 1, z_4 = 0, z_5 = 0, z_6 = 1, z_7 = 0, z_8 = 0, z_9 = 0$. Продовжуючи перебирання станів, отримуємо таблицю:

	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9
z_1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
z_2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
z_3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
z_4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
z_5	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
z_6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
z_7	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
z_8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
z_9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Працездатний стан S_0 не відобразатиметься у таблиці станів за умови, що мова йде про пошук не виконаного елемента для завідомо не виконаної методології.

Проаналізуємо таблицю станів інтегрованої методології методом функцій переваг. При цьому використаємо функцію переваги W_4 . Згідно припущення працездатний стан S_0 не відобразатиметься у таблиці станів, а останній стовпець таблиці відображає значення функції переваги W_4 .

Таблиця 1

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	W_4
z_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
z_2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6
z_3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	8
z_4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	6
z_5	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
z_6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
z_7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7
z_8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8
z_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9

Проаналізуємо таблицю станів інтегрованої методології методом функцій переваг. При цьому використаємо функцію переваги W_4 . Згідно припущення працездатний стан S_0 не відобразатиметься у таблиці станів, а останній стовпець таблиці відображає значення функції переваги W_4 .

Першим для контролю вибирають параметр z_5 , для якого функція $W_4(z_i)$ має мінімальне значення. В результаті контролю даного параметра таблиця станів ділиться на дві частини. До однієї частини входять стани, для яких результати контролю вибраного параметра позитивні, а до другої – негативні.

До таблиці (Табл. 2) станів, для яких результати контролю параметру z_5 негативні обираються стани S_1, S_2, S_3, S_5, S_6 . До таблиці (Табл. 3) станів, для яких результати контролю параметру z_5 позитивні обираються стани S_4, S_7, S_8, S_9 . Для таблиць 2 і 3 аналогічно таблиці 1 визначається функція переваги та для кожної з них виконується розділ на дві частини. Для таблиці 2 для контролю обираємо параметр z_2 . До таблиці станів, для яких результати контролю параметру z_2 негативні обираються стани S_1, S_2, S_3 . До таблиці станів, для яких результати контролю параметру z_2 позитивні обираються стани S_5, S_6 . Для таблиці 3 для контролю обираємо параметр z_7 . До таблиці станів, для яких результати контролю параметру z_7 негативні обираються стани S_4, S_7 . До таблиці станів, для яких результати контролю параметру z_7 позитивні обираються стани S_8, S_9 .

Таблиця 2

	S_1	S_2	S_3	S_5	S_6	W_4
z_1	0	1	1	1	1	5
z_2	0	0	0	1	1	1
z_3	1	1	0	1	1	4
z_5	0	0	0	0	0	5
z_6	1	1	1	1	0	4

Сукупність параметрів та послідовність їх контролю обираються до тих пір, доки множина N можливих станів елем елементів інтегрованої методології не буде розділено на окремі розрізнені стани із

відповідною глибиною пошуку стану не виконання.

Таблиця 3

	S_4	S_7	S_8	S_9	W_4
z_4	0	1	1	1	2
z_7	0	0	1	1	0
z_8	0	0	0	1	2
z_9	0	0	0	0	4

Висновки

Метод функцій переваг визначення стану інтегрованої методології створення медико-діагностичних систем характеризується універсальністю математичного апарату для всіх складових (медико-біологічної, фізико-хімічної та інженерної) інтегрованої методології, що дозволяє визначити стан та причини не виконання окремих елементів інтегрованої методології.

Метод функцій переваг характеризується простотою і чіткістю з точки зору врахування інформації, на основі якої певна функція переваги побудована, що дозволяє аналізувати інтегровані методології з довільною структурою функціональної схеми та надає можливість розширення класу таких методів за рахунок утворення нових функцій переваги.

Література

1. Ахутин В.М. Биотехнические системы: теория и проектирование. – Л., 1981.- 220 с.
2. F. Töpfer, J. Oberhammer. Millimeter-wave tissue diagnostics // IEEE Microwave Mag., vol. 16, no. 4, pp. 97-113, May 2015
3. Y. Savenko, E. Nelin, F. Repa. Millimeter-Wave System for Medical Diagnostics // Proc. International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science", Lviv – Slavske (Ukraine), February 2016, pp. 311-314
4. Y. Savenko. Integrated methodology for creating the medical-diagnostic systems // Measuring and Calculating Equipment in Technological Process. Vol. 4, pp.162-166, 2015.
5. Мірських Г.О., Руденко Н.М. Контроль параметрів під час проектування, виробництва та експлуатації радіоелектронної апаратури. Навчальний посібник. – К., НТУУ "КПІ", 2009, - 140 с.

References

1. Akhutin V. M. Biotechnical systems: theory and design. – L., 1981. – 220 s.
2. F. Töpfer, J. Oberhammer. Millimeter-wave tissue diagnostics // IEEE Microwave Mag., vol. 16, no. 4, pp. 97-113, May 2015
3. Y. Savenko, E. Nelin, F. Repa. Millimeter-Wave System for Medical Diagnostics // Proc. International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science", Lviv – Slavske (Ukraine), February 2016, pp. 311-314
4. Y. Savenko. Integrated methodology for creating the medical-diagnostic systems // Measuring and Calculating Equipment in Technological Process. Vol. 4, pp.162-166, 2015.
5. Mirskiyh G. O., Rudenko N. M. Kontrol parametriv pid chas proektuvannja, vyrobnyctva ta ekspluatatsii radioelektronnoji aparatury. Navchalnyi posibnyk. – K., NTUU "KPI", 2009, - 140 s.

Рецензія/Peer review : 17.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 4.7.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ В РАСПОЗНАНИИ ХРИПОВ ДЫХАТЕЛЬНОГО ПАТТЕРНА

В статье рассматривается способ решения задачи распознавания акустического феномена в дыхательном паттерне на примере распознавания влажного хрипа с использованием нейронной сети прямого распространения, обучаемой методом обратного распространения ошибки. Приводятся пример нейронной сети для решения указанной задачи и результаты её практического применения, как альтернативы других методов распознавания образов.

Ключевые слова: дыхательный паттерн, влажные хрипы, нейронная сеть, обратное распространение ошибки, распознавание образов.

A.E. APIKOVA

Kharkov national university of radio electronics

NEURAL NETWORK IN THE RECOGNITION WHEEZING BREATHING PATTERN

Abstract — In the article the method of solving the problem of recognition of the acoustic phenomenon in the respiratory pattern recognition on the example crackles with the use of a neural network of direct distribution, trained by backpropagation. We give an example of a neural network to solve this problem, and the results of its practical application, as an alternative to other methods of pattern recognition.

Keywords: breathing pattern, crackles, a neural network, back-propagation errors, recognition of images.

Постановка проблемы: Вопрос распознавания акустического сигнала в дыхательном паттерне для автоматизации аускультативного процесса дыхательной системы человека является актуальным в данное время. Несмотря на то, что сейчас существует множество технических решений вопроса, задача высокоточной идентификации акустической информации в медицине стоит остро, так как существующие решения имеют недостатки. В частности к таким недостаткам относятся невысокая точность распознавания данных и проблема искажения сигнала при необходимости его передачи в работе телемедицины.

Перспективным направлением в решении задачи идентификации акустических данных в медицине является задача распознавания патологических шумов в дыхательном паттерне. Наиболее приемлемым вариантом решения поставленной задачи будет применение искусственных нейронных сетей [1].

В настоящее время, в области распознавания акустических феноменов дыхательного паттерна применяется способ Vibration Response Imaging. Методика предназначена для неинвазивного вибрационного обследования дыхательной системы пациента и поиска патологических шумов. Анализ полученных сигналов состоит в автоматическом распознавании сухих и влажных хрипов [2].

Указанная методика имеет недостатки в области идентификации и представления данных для проведения диагностики. Имеется лишь два критерия патологических шумов: влажные и сухие хрипы. Отображаемая информация даёт общую картину о распространении воспалительных процессов в дыхательной системе.

Для решения перечисленных проблем целесообразно использовать нейронную сеть при идентификации шумов, организованную на базе комплекса для диагностики пневмоний [3]. Способ распознавания посредством НС предложен как альтернативный автокорреляционной функции.

Анализ литературы: Конкретно в сфере распознавания акустических сигналов имеются значительные успехи. Но работа в данном направлении ведётся преимущественно в области распознавания человеческой речи. При этом на данный момент не существует программ распознавания акустических данных эквивалентных по качеству при любых условиях человеческим способностям идентифицировать принадлежность звука [1]. Хотя существуют различные подходы к выделению информативных составляющих речевых сигналов [2].

Такие, зарекомендовавшие себя в диагностике бронхолегочных заболеваний, методики как Vibration Response Imaging (VRI – технология вибрационной диагностики и динамической визуализации легких) [3] и бронхофонография [4] делают упор на анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) спектра дыхательных шумов. При этом задача распознавания шума ложится на врача по АЧХ акустического сигнала.

Простейшим вариантом распознавания шумов в дыхательном паттерне является применение автокорреляционной функции (АКФ) [5]. В данном случае речь идёт о диагностике пневмоний методом пассивной эхолокации [6]. Поскольку АКФ предусматривает сравнение двух сигналов на похожесть, то при большом объёме информации её применения может оказаться недостаточно, так как акустические сигналы дыхательного паттерна не всегда соответствуют определённому эталону. Такое несоответствие обусловлено анатомическими особенностями разных возрастных групп пациентов. И то, что может казаться патологическим шумом в дыхании, на самом деле может быть нормой для другой возрастной группы, например, пуэрильное дыхание у новорожденных. Оно характеризуется жёстким вдохом и неслышным выдохом по причине маленьких размеров дыхательных путей [7, 8].

Так же для идентификации акустических сигналов можно применить метод динамического

программирования [9]. Метод заключается в разбиении основной задачи на более мелкие подзадачи и их последовательное решение. Недостатками метода является то, что он решает каждую подзадачу только один раз, далее решение запоминается и используется далее без проведения повторных вычислений. Алгоритмы, используемые в рамках динамического программирования, объединены лишь общей идеей, но в каждом конкретном случае должны формироваться применительно к условиям конкретной задачи, требуют большого количества вычислительных ресурсов.

Кроме этого, используется метод градиентного спуска для решения поставленной задачи [10]. По сравнению с методом динамического программирования использование метода градиентного спуска требует меньше вычислительных ресурсов, однако не гарантирует оптимальной траектории. Также существует проблема конца траектории – где в общем случае траектория заканчивается не в конкретной точке, а упирается в границы. Это означает, что при сравнительном анализе сигнала с базой выполняется только частичное сравнение.

Из-за указанных недостатков перечисленные способы не могут рекомендоваться для идентификации патологических шумов в акустическом сигнале дыхательного паттерна.

Для того чтобы избежать недостатков вышеперечисленных способов распознавания сигналов, и усовершенствовать акустические методы диагностики бронхолёгочных заболеваний следует применить для распознавания сигналов нейронную сеть (НС). Этот метод даёт ряд преимуществ:

- Нейронные сети имеют возможность решать задачи в которых неизвестны закономерности развития ситуации и зависимости между входными и выходными данными.
- Имеют устойчивость к шумам во входных данных, что позволяет игнорировать не относящиеся к дыхательному паттерну звуки, например, голос пациента или кардиальные шумы, при этом нейронная сеть сама определит неинформативные составляющие сигнала и отбросит их.
- Обладают адаптивностью к изменением окружающей среды. Для работы в нестационарной среде, где статистика меняется с течением времени, могут использоваться нейронные сети, переключающиеся в реальном времени.
- Нейронные сети имеют сверхвысокое быстродействие за счёт массового параллелизма обработки информации.
- Отказоустойчивы и их производительность не падает в неблагоприятных условиях [11].

Цель статьи: Целью работы является введение в диагностическую систему [6, 12] метода идентификации акустических патологических шумов, вызванных бронхолёгочными заболеваниями, улучшения показателей точности их распознавания, ускорение обработки больших массивов данных.

Материалы и методы. Рассмотрим вариант решения задачи построения и применения нейронной сети, выполняющей функцию распознавания влажного хрипа. Для примера работы нейронной сети используем акустическую запись дыхательного паттерна, содержащего влажные среднепузырчатые хрипы. Запись получена посредством устройства для реализации способа диагностики пневмоний [5, 6]. Для влажных среднепузырчатых хрипов характерен частотный диапазон для незвучных хрипов 180 – 355 Гц, для звучных 355 – 710 Гц [7]. Звук напоминает лопающиеся пузырьки воздуха в жидкости при продувании его сквозь очень тонкую соломинку. К такому эффекту приводит наличие жидкости в бронхах среднего размера или в мелких полостях.

При экспериментальном анализе аудиосигнала (рис. 1), содержащего влажный хрип определена длительность полезного сигнала (рис. 2, *a*).

Как видно на рис. 2, длительность полезной составляющей сигнала, содержащей влажный хрип, равняется 1 с. Длительность же всего акустического сигнала дыхательного паттерна составляет 24 с (рис. 1).

Для оцифровки аналогового сигнала дыхательного паттерна используем частоту дискретизации 11025 Гц. Такая частота позволяет уменьшить поток аудиоданных, избегая при этом потерь полезных составляющих.

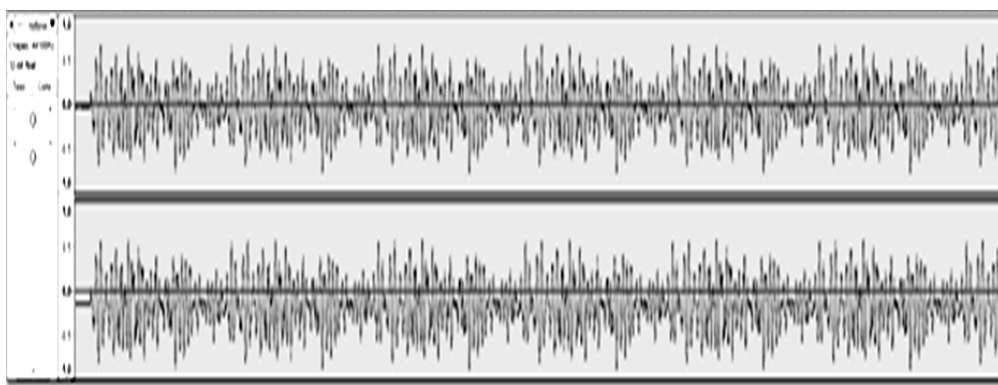


Рис. 1. Временной график сигнала дыхательного паттерна, содержащего влажные среднепузырчатые хрипы (пример одной из рассматриваемых записей)

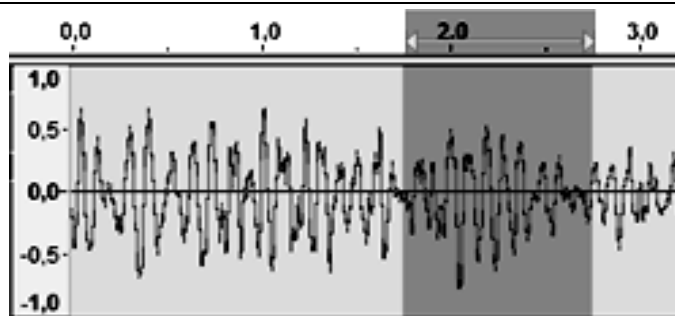


Рис. 2. Влажный среднепузырчатый хрип из рис. 1 на временной диаграмме (выделенная область)

Оцифрованный сигнал разобьём на фреймы. Каждую секунду исследуемого участка разделим на 20 фреймов. В свою очередь, каждый фрейм будет содержать 512 отсчётов. При наличии недостающих отсчётов в исходном сигнале происходит заполнение нулями.

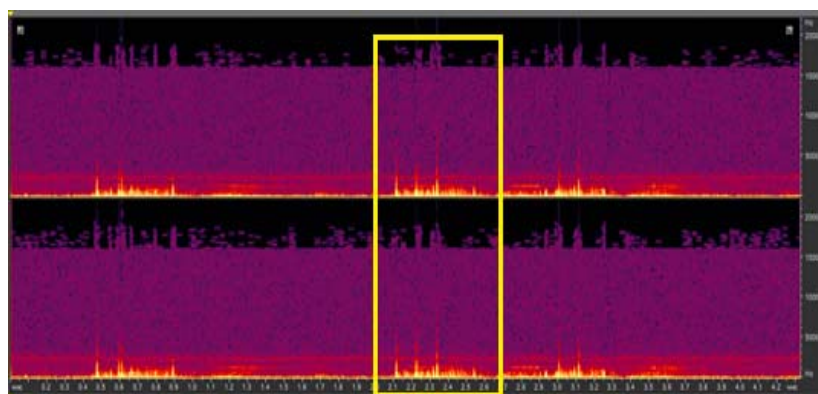


Рис. 3. Спектр сигнала с влажным среднепузырчатым хрипом из рис. 1 (выделенная область)

Для входных данных в обучении нейронной сети используем результаты преобразования Фурье для каждого отдельного фрейма. Этот способ позволяет проводить анализ сигнала не только в частотной области, но и во временной, разделением исследуемого сигнала.

Результаты исследования. Для решения поставленной задачи, целесообразно выбрать топологию нейронной сети в соответствии имеющимися условиями. Для некоторых задач уже существуют оптимальные варианты конфигурации сетей, для других же задач, имеющих уникальные особенности, необходимо синтезировать новую конфигурацию НС.

На рис. 4 указана топология НС для решения задачи распознавания в дыхательном паттерне единственного акустического феномена – влажного среднепузырчатого хрипа. Так как количество выходных нейронов должно соответствовать количеству распознаваемых объектов, то в выходном слое НС присутствует только один нейрон. В данном случае выходное значение нейрона в используемой НС находится в диапазоне от 0 до 1, что соответствует условиям задачи.

После определения топологии НС необходимо выбрать алгоритм обучения. В данном случае обучение происходило с учителем с обратным распространением ошибки [14]. При этом для нейронной сети предоставлялись попарно вектора входных и выходных данных. В процессе такой работы вычислялась ошибка и выполнялась настройка весов НС. Данная процедура выполнялась до достижения минимального значения ошибки.

После того, как нейронная сеть "запомнила" образ сигнала, который является шумом, можно приступить непосредственно к распознаванию среднепузырчатого хрипа в самом дыхательном паттерне.

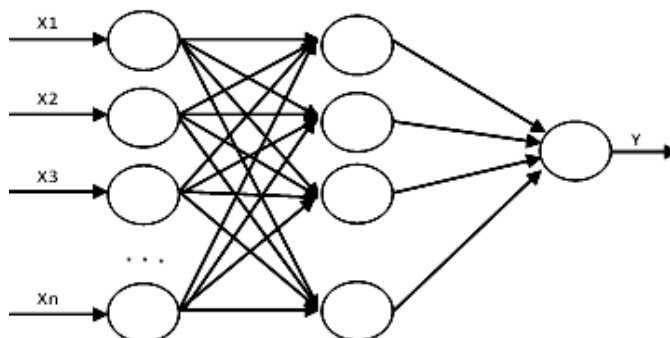


Рис. 4. Структура используемой нейронной сети

Среднепузырчатый хрип представлен временной диаграммой на рис. 2. Процесс распознавания указанного сигнала можно условно разделить на три этапа. На первом этапе сигнал преобразуется в последовательность векторов признаков или акустических векторов, извлекаемых через фиксированные промежутки времени. В данном случае сигнал, представленный на рис. 1, был преобразован в спектр Фурье. На втором этапе спектр сигнала сравнивается с эталоном, который был внесен в память нейронной сети при обучении и вычисляются меры соответствия. На третьем этапе эти меры соответствия используются для временного выравнивания последовательностей векторов признаков с последовательностями эталонов. Временное выравнивание используется для компенсации изменений в скорости дыхания пациента при получении паттернов.

После проведения всех описанных этапов выбирается сигнал, для которого мера соответствия максимальна. Полученные результаты распознавания среднепузырчатого влажного хрипа в различных вариантах дыхательного паттерна показаны в таблице.

Таблица

Распознавание влажного среднепузырчатого хрипа в записях дыхательных паттернов

№	Акустический сигнал, представляемый для сравнения с эталоном посредством НС	Процент правильных распознаний
1	Акустический сигнал, содержащий влажные среднепузырчатые хрипы (8 различных записей, содержащих влажные среднепузырчатые хрипы)	Обнаружено полное сходство

Как видно из таблицы, правильное распознавание сигнала происходит во всех исследуемых сигналах.

Выводы. При решении задачи был применён стандартный вариант однослойного перцептрона, который показал высокий процент распознавания влажного мелкопузырчатого хрипа в дыхательном паттерне. Сигналы, которые не были опознаны со стопроцентной вероятностью, имеют похожесть спектра на спектр эталона. Это связано с тем, что используемые сигналы принадлежат разным возрастным группам с разным объёмом поражения дыхательной системы.

В качестве общего вывода из проделанной работы можно рекомендовать введение нейронных сетей в диагностические аускультативные комплексы. Это позволит увеличить точность диагностики бронхолёгочных заболеваний, ускорит производительность всей диагностической автоматической системы за счёт обработки больших массивов данных.

Для наибольшей функциональности в диагностических аускультативных комплексах рекомендуется использование нейронных сетей различных архитектур, в зависимости от задач и объёмов информации.

Литература

1. Jain L.C. Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications / Lakhmi C. Jain, N.M. Martin. – CRC Press LLC, 1999. – 297 p.
2. Ле Н.В. Распознавание речи на основе искусственных нейронных сетей / Н. Ле, Д.П. Панченко // Технические науки в России и за рубежом: материалы междунар. науч. конф. (г. Москва, май 2011 г.). – М.: Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 8-11.
3. Виниток Ю.Л. Новая методика неинвазивного обследования лёгких на основе применения Vibration Response Imaging / Ю.Л.Виниток, К.Э.Гулицкий, Г.Б.Зеленин [электронный ресурс] // Пульмонология. 2009. № 2.: <http://www.pulmonology.ru/magazine/archive/2009/845/>
4. Гусейнов А.А. Акустический (бронхофонографический) контроль качества лечения больных бронхиальной астмой / А.А. Гусейнов [электронный ресурс] // Лечащий врач, #02/11.: <http://www.lvrach.ru/2011/02/#>
5. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин // М.: "Сов. радио", 1978, 34 с. С. 25
6. Пат. 98929 Украина МПК А61В7/04, Н04R1/46 Способ диагностики пневмоний / Апикова А.Е., Федотов Д.О., Клименко В.А.; собственник Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – № u 201413072; зав. 05.12.14; опубл. 12.05.2015 Бюл. №9.
7. Катилов А.В. Дискуссионные вопросы методики оценки аускультации лёгких у детей / А.В. Катилов, С.В. Зайков, Д.В. Дмитриев // Дитячий лікар, 2011, №5(12), с. 19-26
8. Капитан Т.В. Пропедевтика детских болезней с уходом за детьми / Т.В. Капитан. – 3-е изд., доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 704 с. – С.231
9. Винцюк Т.К. Распознавание слов устной речи методами динамического программирования / Т.К. Винцюк // Кибернетика, 1968, №1. – с. 15-22
10. Туркин В.Н. Распознавание речевых образов с использованием метода градиентного спуска / В.Н. Туркин // Автомат. Распознавание слуховых образов: Тез. Докл. На 13 Всесоюзн. Семинаре АРСО-13, Новосибирск, 1984. – С. 120-121.
11. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – М.: "Вильямс", 2006. – 1104 с.
12. Пат. 99946 Украина МПК А61В5/08, А61В5/0205, А61В7/04, Н04R1/46 Прибор для диагностики пневмоний / Апикова А.Е., Федотов Д.О., Яновская Я.К.; собственник Харьковский национальный

університет радіоелектроніки. – № у 201501461; заявл. 19.02.15; опубл. 25.06.15, Бюл. №12.

13. Вовк И. В. Шумы дыхания человека: объективизация аускультативных признаков / И.В. Вовк, В.Т. Гринченко, С.Л. Дахнов и др./ Акустический вестник. 1999. Том 2. № 3. – С. 11-32.

14. Галушка В.В. Формирование обучающей выборки при использовании искусственных нейронных сетей в задачах поиска ошибок без данных / В.В. Галушка, В.А. Фатхи [электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2013. №2.: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1597>

References

1. Jain, L.C., Martin M.N. (1999) "Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications", CRC Press LLC, 297p.
2. Le, N.V., Panchenko, D.P. (2011), "Speech recognition based on artificial neural networks", Engineering in Russia and abroad: Materials of international scientific conferences ["Распознавание речи на основе искусственных нейронных сетей", Технические науки в России и за рубежом: материалы международных научных конференций], Moscow, pp. 8-11.
3. Vinstok, J.L., Gulicky, K.E., Zelenin, G.B., "The new method of non-invasive examination of the lungs on the basis of Vibration Response Imaging" [Novaia metodika neinvazivnogo obsledovaniya legkih na osnove primeneniya Vibration Response Imaging], available at: <http://www.pulmonology.ru/magazine/archive/2009/845/>
4. Gusejnov, A.A., "Acoustic (bronhofonografichesky) quality control of the treatment of patients with bronchial asthma" [Akusticheskiy [bronhofonograficheskiy] kontrol kachestva lecheniya bolnyh bronhialnoy astmoy], available at: <http://www.lvrach.ru/2011/02/#>
5. Varakin, L.E. (1978), "The theory of signal systems" [Teoriya sistem signalov], Sov. Radio, Moscow, pp. 34.
6. Apikova A.E., Fedotov D.A., Klimenko V.A. (2015) A method for diagnosing pneumonia, Ukraine, patent 98929.
7. Katilov, A.V., Zajkov, S.V., Dmitriev, D.V. (2011), "Discussion questions methodology for assessing lung auscultation in children" [Diskussionnye voprosy metodiki ocenki auskultacii legkih u detei], Children's doctor, pp. 19-26.
8. Kapitan T.V.(2007) "Propaedeutics childhood diseases childcare" [Propedevtika detskikh boleznej s uhodom za detmi], 3rd ed., Ext, Moscow, MEDpress-inform, 704 p.
9. Vincuk, T.K. (1968) "Recognition of speech words of dynamic programming methods" [Распознание слов ustnoj reschi metodami dinamicheskogo programmirovaniya], Cybernetics, #1 15-22 pp.
10. Turkin, V.N. (1984) "Speech recognition using the steepest descent method" [Распознание речевиh образoв s ispolzovaniem metoda gradientnogo spuska], Machine. Recognition of auditory images: Tez. Dokl. At the 13th All-Union. Seminar APCO-13, Novosibirsk, pp. 120-121.
11. Hajkin, S (2006) "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Moscow, "Williams", 1104 p.
12. Apikova A.E., Fedotov D.A., Yanovskaya E.A., (2015) The device for the diagnosis of pneumonia, Ukraine, patent 99946
13. Vovk I.V. (1999) "Noises human breathing: objectification auscultation signs" [Shumi likhaniya cheloveka: ob'ektivizaciya auskultativnih priznakov], Acoustic Gazette, volume 2, #3, 11-32 pp.
14. Galushka V.V. "Formation of the training sample by using artificial neural networks in troubleshooting problems without data" [Formirovanie obuchaushej viborki pri ispolzovanii iskustvennih nejronnih setej v zadachah poiska oshibok bez dannih], available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1597>

Рецензія/Peer review : 8.5.2016 р. Надрукована/Printed : 5.7.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.317.08

А.В. РУДИК

Національний авіаційний університет, м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ СТЕЛС-ТЕХНОЛОГІЙ В МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ ТА МЕТОДИ ВІЯВЛЕННЯ МАЛОПОМІТНИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті коротко розглянуто найсучасніші технології, які провідні світові виробники використовують при розробці мобільних робототехнічних комплексів малої помітності, а також перспективні заходи, спрямовані на підвищення якості компонентів та конструктивної досконалості таких об'єктів. Розглянуто методи виявлення об'єктів, в яких використовуються стелс-технології, та показано, що тільки за рахунок системного підходу можна технічними засобами радіолокаційних станцій компенсувати зменшення ефективної поверхні розсіювання малопомітних об'єктів. Показано, що основним методом збільшення дальності до радіогоризонту є використання РЛС повітряного базування. Для організації колективної роботи декількох РЛС при виявленні малопомітних об'єктів перспективними є методи виявлення об'єктів за слідами взаємодії їх з навколишнім середовищем.

Ключові слова: стелс-технології, мобільний робототехнічний комплекс, малопомітний об'єкт, радіолокаційна станція, методи виявлення, відношення сигнал/шум.

A.V. RUDYK

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

USE STEALTH TECHNOLOGY IN MOBILE ROBOTIC SYSTEMS AND STEALTH – OBJECTS DETECTION METHOD

Abstract – The article briefly considered the most advanced technologies that use the world's leading manufacturers in the development of mobile robotic systems of low visibility and long-term measures to improve the quality of components and structural perfection of such facilities. Methods of detecting objects that use stealth technology, and show that only through a systematic approach by technical means can compensate radar reducing the effective surface scattering subtle objects. It is shown that the main method of increasing distance to the radio horizon is the use of airborne radar. To organize the collective work of several radar in detecting subtle objects is a promising method for detection of traces of their interaction with the environment.

Keywords: stealth technology, mobile robotic systems, nearly invisible object, radar, detection methods, the signal/noise ratio.

Вступ

Стелс-технології є комплексом технічних рішень, в результаті застосування яких зменшується рівень сигналів, що потрапляють від об'єкту на приймальні пристрої системи виявлення об'єктів. Об'єкти, в яких ефективно використовуються стелс-технології, в радіолокації відносяться до класу малопомітних об'єктів. Створення малопомітних об'єктів є наслідком науково-технічного прориву в дорогих наукоємних та високоєфективних технологіях і є надбанням переважно економічно високорозвинених держав, доктрини яких ґрунтуються на гарантованій військово-технічній перевазі над іншими країнами.

На даний час в авіабудуванні, кораблебудуванні, машинобудуванні та мобільній робототехніці визначилися три напрямки використання засобів малої помітності [1]:

- максимально можливе на даний час впровадження стелс-технологій на об'єкти, що будуються та проектується;
- використання окремих елементів “невидимості”, що викликано відсутністю достатнього фінансування розробок (в більшості випадків відмовляються від протирадіолокаційного покриття та деяких інших елементів повноцінних стелс-технологій);
- конструювання та виготовлення малорозмірних засобів малої помітності (мобільних роботів), які можуть бути використані для проведення операцій на ворожій території.

Основними науково-технічними напрямками сучасних стелс-технологій є теорія дифракції на складних об'єктах та створення і дослідження радіопоглинаючих матеріалів і покриттів. Розробка стелс-технологій починається з математичного моделювання розсіювання електромагнітної хвилі на об'єкті, радіолокаційна помітність якого має бути зменшена. Даний етап є принциповим для попередньої оцінки досяжності результату і дозволяє оптимізувати форму та електрофізичні характеристики об'єкту. Математичні та розрахункові моделі базуються на розв'язанні граничних задач дифракції електромагнітних хвиль на об'єктах складної форми, до складу яких входять спеціальні матеріали та покриття. Можливості сучасної обчислювальної техніки дозволяють створювати програмне забезпечення для моделювання розсіювання електромагнітної хвилі на таких складних об'єктах, як літаки та кораблі, враховуючи велику кількість обладнання, щілин, люків та інших нескладних, на перший погляд, деталей конструкції. Результатом такого моделювання є отримання архітектури об'єкту, що має форми, які задовольняють умови малопомітності. Досягнення малопомітності об'єкту за рахунок вибору архітектурної форми ґрунтується на тому, що радіолокаційний сигнал за аналогією з світловими променями поширюється прямолінійно відповідно до законів геометричної оптики. Це означає, що архітектурні форми об'єкту вибираються таким чином, щоб унеможливити відбиття сигналу в напрямку приймальної антени радіолокаційної станції (РЛС) за рахунок перевідбиття у інших напрямках. Для того, щоб радіолокаційний сигнал згідно законів геометричної оптики відбивався від поверхні мобільного об'єкту, розміри його поверхонь відбиття мають

бути значно більші довжини хвилі сигналу РЛС. Для ускладнення радіолокаційного наведення засобів нападу на мобільний об'єкт розсіяний від усієї поверхні об'єкту радіолокаційний сигнал формується таким чином, щоб підсумковий миттєвий еквівалентний центр об'єкту був винесений за його геометричні розміри.

Дуже важливим фактором створення малопомітності є матеріал, з якого виконаний корпус такого об'єкту. В провідних дослідницьких лабораторіях створюються речовини із заданими властивостями дійсної та уявної частин діелектричної проникності в потрібному діапазоні частот відповідно до вимог фізичної реалізованості. Однак аналогічні дослідження, пов'язані з створенням речовин із заданим законом зміни магнітної проникності у визначеному діапазоні частот, на даний час наштовхуються на складності практичної реалізації.

Постановка задачі

В статті необхідно:

1) проаналізувати найсучасніші технології, які провідні світові виробники використовують при розробці МРТК малої помітності, а також перспективні заходи, спрямовані на підвищення якості компонентів та конструктивної досконалості таких об'єктів.

2) розглянути методи виявлення об'єктів, в яких використовуються стелс-технології, та показати, що проблема виявлення об'єктів стелс-технологій може бути розв'язана тільки при системному підході до реалізації всіх технічних засобів РЛС та розробці методів і алгоритмів виявлення об'єктів, що працюють при малому відношенні сигнал/шум.

Основна частина

З появою мобільних робототехнічних комплексів (МРТК) широкого спектру дії постійно зростає потреба в створенні нових матеріалів та їх технологій отримання для впровадження у створювані зразки МРТК [2]. Розвиток напрямку створення вітчизняних МРТК є одним з ключових пріоритетів технічної модернізації української армії. Впровадження нових матеріалів та технологій їх виробництва для розробки нових зразків МРТК також дозволяє створити можливості технічної модернізації виробництва для переходу на новий технічний рівень.

На даний час основна частина деталей корпусів МРТК (зокрема, безпілотних літальних апаратів) виготовляється з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). В процесі розробки МРТК провідні світові виробники використовують такі найсучасніші технології:

- трансгенні біополімери при розробці ультралегких, надміцних та еластичних матеріалів з підвищеними характеристиками малопомітності для корпусів МРТК [3];
- вуглецеві нанотрубки, що використовуються в електронних системах МРТК, а також композитах для послаблення електромагнітного випромінювання [4];
- мікроелектромеханічні системи, які поєднують мікроелектронні та мікромеханічні елементи [5];
- водневі двигуни, які дозволяють істотно зменшити рівень шуму [6];
- інтелектуальні матеріали, що змінюють свою форму або виконують деяку задану функцію під впливом зовнішніх дій [7];
- інтелектуальні композити або особливим чином структуровані системи, що складаються з підсистем зчитування сигналу (дії), його обробки, формування відгуку, а також механізмів зворотного зв'язку, самодіагностування та самовідновлення;
- самовідновні матеріали: полімери, кераміка, метали та матеріали структури на основі графену [8];
- магнітні наночастинки, що забезпечують стрибок в розробці пристроїв зберігання інформації, істотно розширивши обчислювальні можливості роботизованих та безпілотних систем; потенціал технології, що досягається за рахунок використання спеціальних наночастинок розміром від 10 до 20 нм – 400 Гбіт/см².

В США завершуються роботи над волокном з нанесеним на нього тонкоплівковим покриттям, в яке інтегровані сонячні елементи. Таке волокно планується використовувати для виготовлення конструкційної тканини, здатної генерувати електроенергію для МРТК та його корисного навантаження. За умови успішного завершення проекту розробники отримають новий конструктивний матеріал, який дозволить створювати легкі малорозмірні МРТК з тривалим часом автономності [9].

Стратегічними напрямками для створення вітчизняних МРТК мають бути:

- розробка матеріалів для корпусу та двигуна;
- удосконалення технологій зменшення помітності;
- розробка полімерних композиційних матеріалів на основі вуглецевих та скляних наповнювачів, що мають унікальний комплекс властивостей: високі пружно-міцнісні характеристики (міцність до 2.5 ГПа, модуль пружності до 160 ГПа), низька вартість виробництва виробів, забезпечення високих характеристик радіопрозорості, низьке вологопоглинання та висока стійкість до ударних навантажень (міцність вуглепластику при стисканні після удару не менше 200 МПа).

Необхідно зазначити, що розробка та виробництво сучасного МРТК не є задачею машино-, корабле- або авіабудування у їх традиційному розумінні – виробництво наземного, плавального або літального апарату. Відмінною особливістю МРТК є його орієнтованість на виконувану задачу. Апарат в даному випадку виконує важливу, однак одну з багатьох функцій – засіб транспортування, а ключовим є слово «комплекс».

При виробництві вітчизняних МРТК нового покоління необхідно провести такі заходи, спрямовані на підвищення якості компонентів та конструктивної досконалості:

- розробку та виробництво сучасних конструкційних матеріалів: композиційних, в тому числі з використанням нанопокриттів, а також зварюваних, корозійностійких алюміній-літійових сплавів пониженої густини, технологій зварювання у твердій фазі [10];

- фізичне комплексування та інтеграція в корпусі МРТК бортового обладнання та різних систем;
- вдосконалення сучасних комп'ютерних технологій, включаючи багатопроцесорні системи збору, обробки та зберігання даних;
- створення систем автоматичного управління, спряжених з системами передавання інформації, шифрування та стискання даних;
- розробку технологій високостійких та завадозахищених засобів зв'язку, включаючи космічні;
- вдосконалення технологій дистанційного зондування навколишнього середовища (радіолокація, оптоелектронні системи, багатфункціональні давачі);
- розробку та використання енергетичних технологій, використання альтернативних джерел енергії: акумулятори надвеликої ємності, сонячна енергія, паливні елементи великої ємності;
- впровадження засобів та систем супутникової навігації GPS, ГЛОНАСС (з можливостями обмеження до розв'язання поточного конфлікту на сході України) та геоінформаційних систем для забезпечення точного позиціонування МРТК;
- вдосконалення технології обробки зображень та розпізнавання образів;
- вдосконалення технології людино-машинного інтерфейсу та систем штучного інтелекту;
- розробку технологій швидкодіючих систем керування для забезпечення курсової стійкості та керованості МРТК з метою виключення негативної дії сил різної природи та стохастичних навантажень при переміщенні;
- створення силової установки з високим ККД для забезпечення вимог щодо енергетичної ємності та питомої потужності при забезпеченні максимальної тривалості та скритності переміщення, що потребує використання нових матеріалів та технологій;
- розробку покращеної технології зменшення помітності – реалізація особливої форми конструкції МРТК та широке застосування радіопоглинаючих, радіорозсіюючих та адаптивних матеріалів і покриттів у конструкції МРТК.

Як видно з літературних джерел [11], за рахунок використання архітектурного захисту мобільного об'єкту та радіопоглинаючих матеріалів і покриттів досягається зменшення ефективної відбивальної поверхні об'єкту в 10 та більше разів. Тому що інтенсивність прийнятого сигналу РЛС є функцією відстані до об'єкту в четвертому степені [12], то це приводить до зменшення дальності виявлення у $1.5 \div 2$ рази.

Таким чином, з точки зору радіолокаційних засобів виявлення малопомітні об'єкти мають такі характерні особливості:

- суттєво зменшений рівень відбитого радіолокаційного сигналу в напрямку приймальної антени за рахунок радіопоглинання та перевідбиття в інших напрямках, результатом чого є зменшення відношення корисного сигналу до шуму;
- перевідбиття радіолокаційного сигналу від плоских поверхонь відносно великих розмірів відбувається з формуванням вузької діаграми спрямованості та наявністю бічних пелюсток;
- зменшення відстані до радіогоризонту за рахунок вибору відповідних архітектурних форм малопомітного об'єкту.

З вищенаведеного можна визначити такі напрямки розробки методів виявлення малопомітних об'єктів в радіолокації:

- розробка методів виявлення об'єктів за прямим відбитим радіолокаційним сигналом, що надходить на приймальну антену РЛС;
- збільшення відстані до радіогоризонту для стійкого виявлення об'єктів;
- організація радіолокаційної системи спостереження таким чином, щоб для виявлення можна було використовувати перевідбитий від об'єкту радіолокаційний сигнал.

Згідно першого напрямку необхідно з рівняння дальності радіолокації визначити потужність прийнятого відбитого сигналу P_D в залежності від параметрів РЛС для спільної антени для передачі та прийому:

$$P_D = \frac{P_B G_A S_A \sigma}{16\pi^2 D^4} = \frac{P_B S_A^2 \sigma}{4\pi D^4 \lambda^2}, \quad (1)$$

де множник $\frac{P_B G_A}{4\pi D^2}$ – потужність випромінення зондуючого імпульсу на відстані D від РЛС з потужністю

випромінення РЛС P_B ; $G_A = \frac{4\pi S_A}{\lambda^2}$ – коефіцієнт підсилення антени; σ – ефективна площа розсіювання малопомітного об'єкту; S_A – ефективна площа апертури антени; λ – довжина хвилі, на якій відбувається випромінення зондувального імпульсу.

Таким чином, зменшення ефективної площі розсіювання малопомітного об'єкту приводить до пропорційного зменшення потужності прийнятого відбитого сигналу. Зменшити вплив цього чинника можна технічними засобами за рахунок збільшення потужності зондувального імпульсу передавача, збільшення чутливості приймача, а також вибору оптимальної конструкції антени.

Тому що зменшення ефективної площі розсіювання малопомітного об'єкту приводить до зменшення відношення сигнал/шум приймача, то ефективність виявлення малопомітних об'єктів залежить від використовуваних методів та алгоритмів обробки радіолокаційної інформації.

Розглянемо методи підвищення ефективності виявлення, основані на використанні апаратних засобів. Очевидним, однак практично важко реалізуваним методом є підвищення енергетики зондувального сигналу РЛС за рахунок збільшення потужності імпульсу та часу його випромінення (для

підвищення в десятки разів енергії зондувального сигналу РЛС за рахунок збільшення потужності імпульсу на даний час немає відповідних технічних засобів, а збільшення тривалості зондувального імпульсу τ_{3I} приведе до погіршення розділової здатності РЛС за дальністю $\Delta D = 0.5c\tau_{3I}$, де c – швидкість світла.

Реальним способом збільшення енергії є випромінювання за період зондування не одного, а декількох імпульсів, що розрізняються за кодовими ознаками. Це дозволяє для деякої кількості імпульсів в пакеті без уповільнення огляду позбавитися від неоднозначності визначення дальності за прийнятим сигналом. Даний метод реалізується в [13], де пропонується побудована за когерентним принципом імпульсна РЛС, що використовує сигнали з внутрішньоімпульсною фазовою маніпуляцією.

Енергію прийнятого сигналу також можна збільшити за рахунок збільшення кількості відбитих сигналів в пакеті, тобто часу накопичення ансамблю відбитих сигналів. Однак пряма реалізація такого підходу приводить до уповільнення огляду контрольованої зони та, відповідно, до необхідності використання більшої кількості РЛС. Для виключення цього недоліку в роботі [1] запропонована модифікація даного підходу, в якій відбувається збільшення відношення сигнал/шум практично без збільшення енергії відбитого сигналу. Також даний метод виконує стискання первинної радіолокаційної інформації без втрати інформативності, що особливо важливо тому, що обробка радіолокаційної інформації має відбуватися в реальному масштабі часу.

Як видно з основного рівняння радіолокації (1), потужність прийнятого відбитого сигналу P_D пропорційна квадрату ефективної площі апертури антени S_A , а від ефективної площі розсіювання малопомітного об'єкту залежить лінійно. Тому за рахунок розробки або вибору відповідної конструкції антени можна суттєво компенсувати вплив зменшення ефективної площі розсіювання малопомітного об'єкту. Необхідно зазначити, що ефективним буде тільки системний підхід до вибору конструкції антени, який враховує збільшення енергії відбитих імпульсів при збільшенні відношення сигнал/шум за рахунок розкриття діаграми спрямованості антени.

Таким чином, можна зробити висновок, що тільки при системному підході до вибору та розробки технічних засобів, а також наявності відповідних методів та алгоритмів обробки радіолокаційних сигналів, що працюють при малих відношеннях сигнал/шум, можна в значній мірі нейтралізувати дію стелс-технологій, які основані на зменшенні рівня відбитого сигналу, та підвищити ймовірність виявлення малопомітного об'єкту.

Відстань до радіогоризонту залежить тільки від висоти установки антени та висоти об'єкту виявлення. Тому при зменшенні висоти об'єкту виявлення доводиться збільшувати величину підняття антени РЛС, яка залежить від задач, що виконуються станцією [14]:

$$D_{np} \cong 4.12(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_u}), \quad (2)$$

де D_{np} – дальність прямої видимості, км; h_a – висота підняття електричного центру антени, м; h_u – висота цілі, м.

Таким чином, зменшення висоти цілі з 3 м до 1.5 м при незмінній висоті підняття електричного центру антени приводить до зменшення дальності прямої видимості на 2 км. З іншого боку, для неперервного моніторингу зони шириною до 200 км при мінімальній висоті цілі 1 м необхідно підняти антену на висоту не менше 2300 м, що можливо тільки при розміщенні антени або РЛС на борту літального апарату. Використання РЛС повітряного базування залежить від якості розв'язання задач врахування динамічно складних умов роботи та наявності методів і алгоритмів виявлення об'єктів на фоні відбитих від земної або водної поверхні сигналів.

Необхідно зазначити, що опромінення об'єкту під кутом до горизонтальної площини змінює ефективну площу розсіювання, що може підвищити ефективність виявлення малопомітних об'єктів. Крім того, з'являється можливість виявлення об'єктів за слідами взаємодії їх з водним середовищем (хвилі, що розходяться за об'єктом, турбулізація поверхневих шарів води, збудження у воді хвильових процесів, зміна фізико-хімічних властивостей води та ін.). Однак на даний час ці процеси недостатньо досліджені з точки зору радіолокаційної видимості, що не дозволяє в повній мірі використовувати їх при виявленні малопомітних об'єктів.

Для виявлення об'єктів стелс-технологій за перевідбитим в іншому напрямку зондувальним сигналом використовуються багатопозиційні РЛС в режимі кооперативної роботи. Окремим випадком багатопозиційної радіолокації є двопозиційна (рознесена) система активної локації з одним передавачем (бістатична система). Кооперативність прийому відбитих сигналів полягає у використанні на різних позиціях вторинного випромінювання об'єкту, який зондується з будь-якої однієї позиції.

Висновки

1. Коротко розглянуто найсучасніші технології, які провідні світові виробники використовують при розробці МРТК малої помітності, а також перспективні заходи, спрямовані на підвищення якості компонентів та конструктивної досконалості таких об'єктів.

2. Розглянуто методи виявлення об'єктів, в яких використовуються стелс-технології, та показано, що тільки за рахунок системного підходу можна технічними засобами РЛС компенсувати зменшення ефективної поверхні розсіювання малопомітних об'єктів.

3. Тому що наслідком малопомітності об'єкту є зменшення відношення сигнал/шум, то в

приймальному пристрої РЛС даний параметр має бути максимально збільшений.

4. Показано, що основним методом збільшення дальності до радіогоризонту є використання РЛС повітряного базування. Для організації колективної роботи декількох РЛС при виявленні малопомітних об'єктів перспективними є методи виявлення об'єктів за слідами взаємодії їх з навколишнім (зокрема, водним) середовищем.

5. Проблема виявлення об'єктів стелс-технологій може бути розв'язана тільки при системному підході до реалізації всіх розглянутих технічних засобів РЛС та розробці методів і алгоритмів виявлення об'єктів, що працюють при малому відношенні сигнал/шум.

Література

1. Бондаренко Е.А., Волобоев В.П., Клименко В.П. Стелс-технологии в кораблестроении и методы противодействия радиолокационных станций берегового (морского, воздушного) базирования // Математичні машини і системи, 2006, №4. – С. 73-82. ISSN 1028-9763.
2. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. – Тверь: ООО “Купол”, 2009. – 624 с.
3. Кондратьев А.Е. Боевые роботы США – под водой, в небесах и на суше // Электр. период. изд. “Независимое военное обозрение”, 2010 (<http://www.nvo.ru>).
4. Мурадян В.Е., Соколов Е.А., Бабенко С.Д., Моравский А.П. Диэлектрические свойства композитов, модифицированных углеродными наноструктурами, в микроволновом диапазоне // Журнал технической физики, 2010. Т. 80 (№ 2). С. 83-87.
5. США задумались о новой системе инерциальной навигации на базе микроядерного магнитного резонанса (<http://www.compuenta.ru>).
6. Лоскутников А.А. Оценка возможности применения в силовых установках беспилотных летательных аппаратов источников электричества на основе топливных элементов // Молодой ученый, 2011, №6. Т. 1. С. 99-101.
7. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2009. – 384 с.
8. Интеллектуальные авиаконструкционные материалы и микросистемная техника // В сборнике материалов конференции «Будущее индустрии». – М.: МФТИ, 2012. – 32 с.
9. Сайт «Армейский вестник» (<http://www.armstass.ru>).
10. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии, 2012, №8. – С. 7-17.
11. Visby Class corvette – the true stealth (www.kockums.se/SurfaceVessels/visby.html).
12. Справочник по радиолокации. Основы радиолокации / Под ред. М. Скольникова: Пер. с англ. под общей ред. К.Н. Трофимова. – М.: Советское радио, 1976. – Т. 1. – 455 с.
13. Антонов Б.П., Коржавин В.А., Никольцев В.А., Иванов В.П., Ицкович Ю.С., Левин М.З., Баландин В.С., Бронштейн Г.Т., Зобнин В.Я. Радиолокационная станция. Патент Российской Федерации, RU 2131612 C1: 21.09.1998.
14. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: Учебник. Под общей ред. В.Н. Тяпкина. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. – 536 с.

References

1. Bondarenko Ye.A., Voloboev V.P., Klimenko V.P. Stels-tehnologii v korablestroyenii i metodi protivodeystviya radiolokatsionnih stantsiy beregovogo (morskogo, vozdušnogo) bazirovaniya // Matematichni mashini i sistemi, 2006, №4. – P. 73-82. ISSN 1028-9763.
2. Burenok V.M., Ivlev A.A., Korchak V.Yu. Razvitiye voennih tehnologiy XXI veka: problemi, planirovaniye, realizatsiya. – Tver: ООО “Kupol”, 2009. – 624 p.
3. Kondratyev A.Ye. Boyevie roboti USA – pod vodoy, v nebesah i na sushe // Elektr. period. izd. “Nezavisimoe voennoye obozreniye”, 2010 (<http://www.nvo.ru>).
4. Muradyan V.Ye., Sokolov Ye.A., Babenko S.D., Moravskiy A.P. Dielektricheskiye svoystva kompozitov, modifitsirovannih uglernodnimi nanostrukturami, v mikrovolnovom diapazone // Zhurnal tehnikeskoy fiziki, 2010. T. 80 (№ 2). P. 83-87.
5. USA zadumalis o novoy sisteme inertsialnoy navigatsii na baze mikroyadernogo magnitnogo rezonansa (<http://www.compuenta.ru>).
6. Loskutnikov A.A. Otsenka vozmozhnosti primeneniya v silovih ustanovkah bespilotnih letatelnih apparatov istochnikov elektrichstva na osnove toplivnih elementov // Molodoy ucheniy, 2011, №6. T. 1. P. 99-101.
7. Bobovich B.B. Nemetallicheskiye konstruksionniye materialy: Uchebnoye posobiye. – M.: MGIU, 2009. – 384 p.
8. Intellektualniye aviakonstruksionniye materialy i mikrosistemnaya tehnika // V sbornike materialov konferentsii «Budushee sndustrii». – M.: МФТИ, 2012. – 32 p.
9. Sait «Armeyskiy vestnik» (<http://www.armstass.ru>).
10. Kablov Ye.N. Strategicheskiye napravleniya razvitiya materialov i thenologiy ih pererabotky na period do 2030 goda // Aviatsionniye materialy i tehnologii, 2012, №8. – P. 7-17.
11. Visby Class corvette – the true stealth (www.kockums.se/SurfaceVessels/visby.html).
12. Spravochnik po radiolokatsii. Osnovi radiolokatsii / Pod red. M. Skolnika: Per. s angl. pod obschey red. K.N. Trofimova. – M.: Sovetskoye radio, 1976. – T. 1. – 455 p.
13. Antonov B.P., Korzhavin V.A., Nikoltsev V.A., Ivanov V.P., Itskovich Yu.S., Levin M.Z., Balandin V.S., Bronshtein G.T., Zobnin V.Ya. Radiolokatsionnaya stantsiya. Patent Rossiyskoy Federatsii, RU 2131612 C1: 21.09.1998.
14. Osnovi postroyeniya radiolokatsionnih stantsiy radiotekhnicheskikh voysk: Uchebnik. Pod obschey red. V.N. Tyapkina. – Krasnoyarsk: Sibirskiy federalniy universitet, 2011. – 536 p.

Рецензія/Peer review : 14.5.2016 р.

Надрукована/Printed :26.6.2016 р.

Рецензент :

**SIMULATION THE ALGORITHM OF MULTIMEDIA DATA
INTEGRATION IN PACKET BASED DIGITAL CHANNEL**

This paper presents the algorithm and simulation model for conveyor-module method of multimedia data integration designed for a packet based digital channel. The latency control issues considered for real time segment transition along with dynamic packet fragmenting. An algorithm of syntax analysis applied towards the endless multiplexed data flow mapped on a symbol chain of an abstract grammar. The simulation model performed on Python in Linux Ubuntu operating system.

Keywords: multimedia data, packet channel, abstract grammar, algorithm simulation.

В. ТИХОНОВ, А. ТАХЕР, Е. ТИХОНОВА
Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ
МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДАННЫХ В ЦИФРОВОМ ПАКЕТНОМ КАНАЛЕ**

В статье описаны алгоритм и модель симуляции для метода конвейерно-модульной интеграции мультимедийных данных в цифровом пакетном канале. Рассмотрены вопросы контроля задержки при передаче сегментов реального времени совместно с динамической фрагментацией пакетов. Применен алгоритм синтаксического анализа для бесконечного мультиплексированного потока данных представленного цепочкой символов абстрактной грамматики. Модель симуляции выполнена на языке Python в операционной системе Linux Ubuntu.

Ключевые слова: мультимедийные данные, пакетный канал, абстрактная грамматика, алгоритм симуляции.

1. Introduction

Advanced researches on next generation network (NGN) technologies face difficulties in time delay mitigation when transporting real time data (voice, video, telemetry etc.) over packet based networks. Conventional methods and related protocols of resource reservation (RSVP, NSIS) on IP layer constructed for IntServ/DiffServ models of QoS provision proved not enough scalable and relevant to meet new challenges, particular with respect to high dynamic object interaction in sensor networks and machine-to-machine architecture (M2M). Last years, a number of dedicated protocols emerged to overcome the aforesaid issues primarily designed on layer 2 of the open system interconnection reference model (OSI). To compromise packet and circuit switching techniques across an autonomously software driven network (SDN), an open flow protocol and related unified architecture have been originated in [1]. This framework implies that all the underlying switching hardware (packet and circuit switches) will be driven by an external control plane including network operating system with on top applications and open flow protocol to manage data flow tables of switches. The channel resource scheduling considered in [2] with time division switching fabric introduced based on a slotted random access bus. This method corresponds to the hybrid packet/time slotted circuit switched scheme (HPTS) presented in [3] where real time data segments follow a circuit path with no packet loss or jitter; instead, the other ones are following packet switched path being statistically multiplexed.

Deterministic unified Ethernet with asynchronous and synchronous traffic provision described in [4]. It operates using a global sense of time and a schedule which is shared between network components. This approach enables customer convergence of real-time controls messages with regular best effort packet data over the common Ethernet network. The time-scheduled information is located apart from other segments being immune from disturbance. This resulted in guaranteed latency of critical traffic. The five real-time techniques considered in [5] based on Ethernet: Ethernet-Powerlink (EPL), Ethernet/IP, Sercos-III, Profinet-IRT and EtherCAT. The real-time methods differ in their tolerance to Ethernet standard. Such hardware driven tools as Profinet-IRT or EtherCAT use special FPGA which are not typical on conventional Ethernet controllers. Conversely, EPL or Ethernet/IP use standard hardware platform. It was concluded that non-conformance to the Ethernet TCP/IP standard is not necessarily consequence while developing real-time Ethernet systems. To provide an adequate overall response time it is quite enough to benefit standard mechanisms as switched full-duplex in Fast or Gigabit Ethernet along with UDP, QoS data prioritization, VLAN segmentation and time synchronization via IEEE1588 specification. *However, new demands of dynamic resource management in distributed automated control systems require further investigations. This work aims to design and simulate a uniformed algorithm of multimedia data integration in an arbitrary packet based channel to provide an effective latency control for critical traffic.*

2. Conveyor-module method of multimedia data integration

According to the TCP/IP protocol suite encapsulation, a protocol data unit (PDU) on the OSI layer 2 (L2) contains an L3 packet as a payload. For instance, the Ethernet frame carries IP-packet or its fragment allocated within maximal slot of 1500 bytes; the ATM cell bears a payload data segment of constant size 48 bytes. The

multilayered encapsulation scheme causes excessive overhead traffic and channel performance underuse. To improve the throughput utilization, an enhanced method of conveyor transporting modules proposed in [6]. The figure 1 shows the principle of this method. The sending party schedules transmitting multiproduct data segments onto the three queues of bytes:

- real-time flow (RTF) provided by reserved channel bandwidth and virtual circuit labels;
- logical link flow (LLF) provided by logical channel labels without resource reservation;
- IP-packet data flow (IPF) compliant with IP-protocol.

The common byte sequence consolidates the segments and/or fragments of these products. This sequence further partitioned into transporting modules due to the size of payload field for the data link layer technology (e.g. Ethernet, ATM, FR etc.). Fragments of each data type in resulting blocks should be delimited by predefined markup tags. These blocks are transferred to the adjacent network object by the data link layer frames. The receiving network node extracts payloads content from the incoming frames and forms separate streams from data fragments of 3 types. Each of the resulting streams is serviced by the corresponding rules: an IP packets stream is routed in accordance with the IP-protocol; the segments of RTF and LLF streams are forwarded by virtual and logical label switched paths in accordance with special protocols, which is supposed to expand the network layer: virtual circuits switching protocol (VCP) for real time data flow (RTF) and logical channels switching protocol (LCP) for non-real time logical data flow (LDF).

The data segments of all types thus forwarded to the appropriate outgoing ports of the node, where, in turn, they are organized in three different queues. This splits conventional IP-layer on three sub-layers: IP sub-Layer (IPL), Real Time data sub-Layer (RTL), Logical link Sub-layer (LSL). The essence of VCP is that any virtual connections for RTF transfer will solely established if required channel capacity available; again, the VCP primarily forwards real time data into the channel. Thus, real time data queue will never get full, and therefore, RTF data never lost or indefinitely waiting for service. The LDF and IP-packet queues are served under the “best-effort” policy while LDF uses the quick logical channel switch in contrast to IP-packet routing.

Conventional IP-traffic (including traditional VoIP, multimedia over IP, TCP etc.) is processed at every node as usual in packet-switching mode. The real-time traffic is handled in quasi-circuit-switching mode simulated due to the dynamically established virtual connections and resource reservation. The Logical Link Control 2 (LLC2) protocol also establishes a data link layer connection by sending a corresponding request and receiving confirmation, after which the data is transmitted.

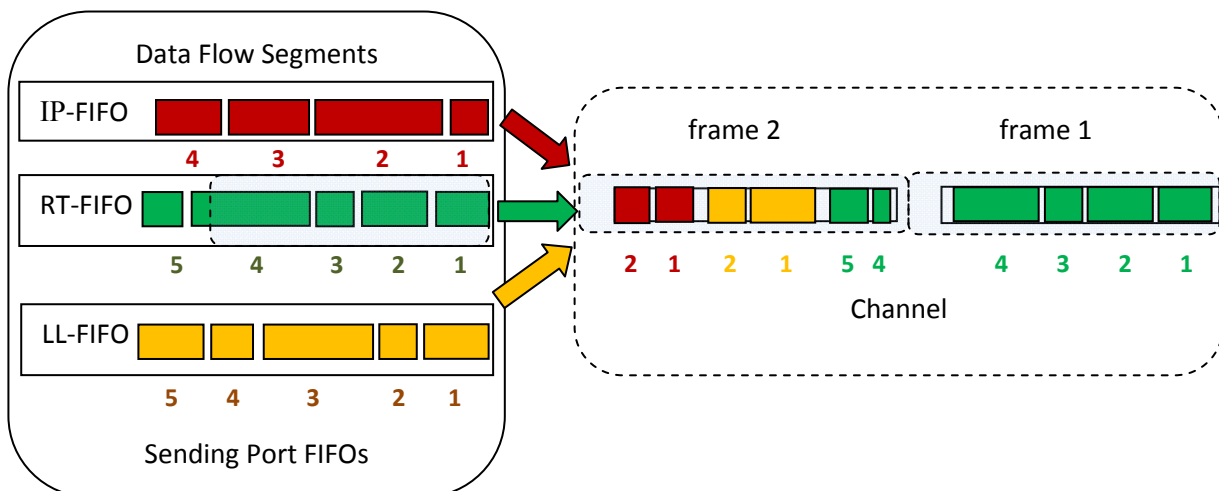


Figure 1 – The diagram of conveyor-module queuing

3. The algorithm of conveyor-module method

To simulate the conveyor-module queuing, the following simplified algorithm proposed, Fig. 2. The real time data segments of RT-FIFO are generated within the main iteration cycle. Three types of RTF segments are defined; these segments are to be included into circulated conveyor transporting modules (CTM). The size of CTM is optional (i.e. 24 hexadecimal symbols). The first real time flow segment (RTF1) has repeating factor $K1=1$ (e.g. must appear in any CTM); the RTF2 factor is 2 (appears in any second CTM module); the RTF3 factor 3 lets allocate this type of segment at each third CTM module. The sizes of RTF modules optionally defined as $D1=2$; $D2=4$; $D3=6$ hexadecimal symbols. The iteration variable is predefined as $n=1$; the number of iteration is optional 6.

The packet data of IP-FIFO is simulated in the text file which opened for reading by the nickname “fin” (file for input). The count variable L accumulates the overall number of symbols occupied by real time segments within any distinct line of output data, which has been written in output file with nickname “fout” (file for output). Each output line simulates a distinct conveyor transporting module (CTM). At the beginning of any iteration the variable L is set to value 2; this correlates with ongoing writing two-symbol header of the first in line real time segment (i.e. C1, C2, C3). For ease data interpretation in output file, any written line begins with the current

iteration number of CTM= n (i.e. CTM=1, CTM=2 etc).

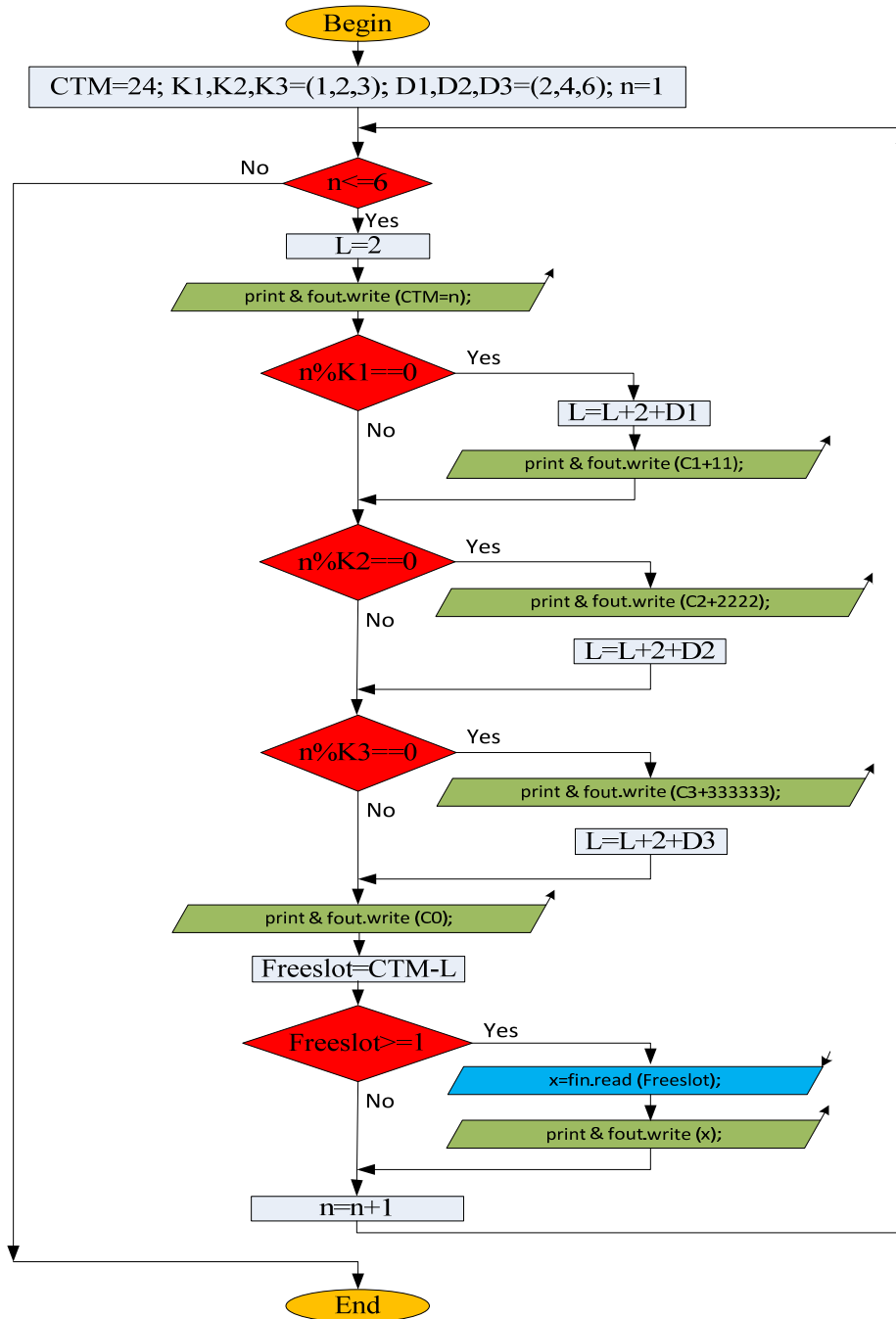


Figure 2 – The flowchart of conveyor-module algorithm.

The body of iteration cycle consists of two main parts:

Real time segment allocation (first three blocks “If”;

Packet data fragment allocation starting with the block “*print & fout.write (C0)*” up to the code “*n=n+1*”.

Any real time segment of RTF flow is checked for necessity to be inserted into the current CTM module; this operation performed due to the “rest” function, i.e. $rest(n/K1) \rightarrow n\%K1$ (it is 0 when $n=1, 2, 3, \dots$); $rest(n/K2) \rightarrow n\%K2$ (it is 0 when $n=2, 4, 6, \dots$); $rest(n/K3) \rightarrow n\%K3$ (it is 0 when $n=3, 6, 9, \dots$). These figures are valid for options: $K1=1, K2=2, K3=3$. For simplicity, three types of real time segments are defined as C111, C22222 and C3333333 respectively; the symbol combinations C1, C2 and C3 are segments headers. The symbol collections 11, 2222, 3333333 are segment bodies; these can be arbitrary varied in semantic and length. After printing a segment into the output file *fout.write* the count variable L incremented in the number of printed symbols (i.e. $L=L+2+D3$) where 2 positions consider the header C3, and the D3 is the length of the RTF segment number 3.

The packet data allocation starts with the printing delimiter command C0 to separate packet data from real time segments within a conveyor transporting module CTM. Next, the unallocated space in CTM is calculated as *Freeslot* variable: $Freeslot=CTM-L$ (i.e. CTM size is, $n=3$; so two segments of real time data inserted into the CTM: the first one and the third; the total occupied slot in the current CTM is $(2+2)+(2+6)=12$ hexadecimal digits; now, $Freeslot=24-12=10$ digits; so, 12 digit more can be dynamically allocated from the packet queue. If *Freeslot*

Figure 4 presents the core fragment of the Python script to simulate the algorithm of multimedia data integration in packet based digital channel. The simulation performed in Linux Ubuntu operation system.

Conclusion

An algorithm proposed to simulate conveyor-module method of multimedia data integration designed for a packet based digital channel. The two-layered formal grammar applied for data multiplexing. Proposed algorithm realized in Python programming language and exercised in Linux Ubuntu operation system.

References

1. S. Das, G. Parulkar, N. McKeown, P. Singh, D. Getachew and L. Ong, "Packet and Circuit Network Convergence with OpenFlow." (Last visited June 15, 2016) http://yuba.stanford.edu/~nickm/papers/Openflow-OFC10_invited.pdf.
2. E. Iannone, Telecommunication networks, CRC Press, 2011.
3. S. Bjornstad, A. Kimsas. "Hybrid packet/time slotted circuit switched scheme (HPTS)", in Conference Proceedings Transparent Optical Networks (ICTON 2008), Athens, June 22-26, 2008, pp. 97-100 (Volume 3).
4. "Deterministic Ethernet. Time-Scheduled Ethernet Standards." (Last visited June 15, 2016) <https://www.tttech.com/technologies/deterministic-ethernet/?gclid=CLO0--WZjM0CFUsNewodS8UO2g>.
5. "Industrial Ethernet book." (Last visited June 15, 2016) <http://www.iebmedia.com/index.php?id=4878&parentid=63&themeid=255&showdetail=true>.
6. O. Tykhonova, "Method of real time data transmission with delay control over IP-network", Scientific works of ONAT n.a. O.S.Popov, No.2, 2014 pp. 207-213.

Рецензія/Peer review : 3.6.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

СПОСОБ ШИФРОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ

Предлагается способ шифрования сообщений, который имеет несколько ключей, применяемых одновременно, связанных между собою арифметическими операциями. Кроме того он имеет несомненные преимущества, по сравнению с известными способами шифрования, в результате применения арифметических операций вычитания между различными элементами различных ключей и одновременного использования различных ключей, известных только конфиденциальным корреспондентам. Даются практические рекомендации.

Ключевые слова: информация, шифрование, дешифрование, ключ, конфиденциальность.

N.G. KANAKI, I.L. AFONIN, P.A. BUGAYOV

Sevastopol State University

Pasha_ba@mail.ru

METHOD ENCRYPT MESSAGES

Annotation — Message encryption method is proposed, which has several keys used at the same time, interconnected arithmetic operations. Moreover, it has undoubted advantages compared with known methods of encryption, a result of subtraction arithmetic operations between the different elements of various keys and the simultaneous use of different keys known only sensitive reporters. Practical recommendations.

Keywords: information, encryption, decryption, key confidentiality.

Информация — одно из общин понятий, связанных с материей [1]. Информация существует в любом материальном объекте в виде многообразия его состояний и передаётся от объекта к субъекту в процессе их взаимодействия. Существование информации как объективного свойства материи логически вытекает из известных фундаментальных свойств материи: структурности, непрерывного изменения и взаимодействия материальных объектов. Множество состояний материальной системы и всех её подсистем представляет информацию о системе. Необходимость утаивать информацию о системе, скрывать содержание важных сообщений существует уже тысячи лет. В военном деле, где особенно важно утаивание своих действий от противника. И в повседневной, невоенной, жизни приходилось «прятать» содержание передаваемых «дешеш». Обострившиеся в наше время проблемы безопасности мореплавания, в частности, пиратские нападения на незащищенные мирные суда, предъявляют новые требования к предохранению от несанкционированного проникновения в информацию, например: о цели движения судна, номенклатуре, количестве, цене товаров на борту. Люди искали все более и более сложные способы кодирования сообщений, поскольку простые способы кодировки декодируются с большей легкостью. Известен класс шифров, называемых шифрами перестановки, например, «Считала» — шифр, примененный во времена войн Спарты против Афин в V веке до нашей эры [1]. В том способе шифрования на специальный жезл, имеющий форму цилиндра, виток к витку, без просветов и нахлестов наматывалась узкая папирусная лента, а затем вдоль оси «считалы» записывался открытый текст. Лента разматывалась, попеременно оставались в беспорядке записанные буквы, эту ленту отправляли адресату, который таким же образом наматывал ленту на такую же «считалу» и читал сообщение вдоль оси «считалы». Известен шифр Цезаря, где каждая из букв открытого текста заменялась третьей после неё буквой в алфавите, который считается написанным по кругу, т.е., после «Я» следует «А». Безопасность записанной информации определялась, в первую очередь, ключом, при этом, законные пользователи тайно обменивались ключами перед обменом зашифрованными сообщениями. Если противник перехватывал криптограмму, не зная секретного ключа KI , то он пытался найти сообщение m , где $d = EKI(m)$. Поскольку алгоритм шифрования общеизвестен, то противник мог просто перебрать все возможные сообщения длины n , вычислить для каждого такого сообщения m_i криптограмму $d_i = EKI(m_i)$ и сравнить d_i с d , то сообщение, для которого $d_i = d$ и будет искомым открытым текстом. Перебор будет выполнен за время, порядка $2nT(n)$, где $T(n)$ — время, требуемое для вычисления функции EK , от сообщений длины n . Если сообщения имеют длину порядка 1000 бит, то такой перебор неосуществим на практике ни на каких самых мощных компьютерах. Шифрами замены называют такие шифры, преобразования из которых приводят к замене каждого символа открытого сообщения на другие символы — шифрообозначения, совпадающие с порядком следования соответствующих им символов открытого сообщения. На день нынешний в мире насчитывается тысячи способов сокрытия сообщений. Проанализируем некоторые из них.

Код Морзе (азбука Морзе). Несмотря на свое название, код Морзе не является кодом — это шифр. Каждая буква алфавита, цифры от 0 до 9 и некоторые символы пунктуации заменены на последовательность коротких и длинных звуковых сигналов, которые часто называют «точка» — «•» и «тире» — «—». А становится «• —», Б становится «— •••» и так далее (рис. 1). В отличие от большинства других шифров, код Морзе не используется для сокрытия сообщений.

Азбука Морзе

А	• —	П	• — — •	Б	— • • —
Б	— • • •	Р	• — •	Ы	— • — —
В	• — —	С	• • •	Й	• — — —
Г	— — •	Т	—	Ъ	— — • — —
Д	— • •	У	• • —	1	• — — — —
Е	•	Ф	• • — •	2	• • — — —
Ж	• • • —	Х	• • • •	3	• • • — —
З	— — • •	Ц	— • — •	4	• • • • —
И	• •	Ч	— — — •	5	• • • • •
К	— • — •	Ш	— — — —	6	• • • •
Л	• — • •	Щ	— — • —	7	— • • •
М	— —	Э	• • — • •	8	— — — • •
Н	— •	Ю	• • — —	9	— — — — •
О	— — —	Я	• — • —	0	— — — — —

Шифр Виженера — метод полиалфавитного шифрования буквенного текста с использованием ключевого слова. Этот метод является простой формой многоалфавитной замены. Блез Виженер представил своё описание простого, но стойкого шифра перед комиссией Генриха III во Франции в 1586 году, и позднее изобретение шифра было присвоено именно ему.

Шифр Виженера имел репутацию исключительно стойкого к «ручному» взлому. Известный писатель и математик Чарльз Лютвидж Доджсон (Льюис Кэрролл) назвал шифр Виженера невзламываемым в своей статье «Алфавитный шифр» англ. *The Alphabet Cipher*, опубликованной в детском журнале в 1868 году. В 1917 году *Scientific American* также отозвался о шифре Виженера, как о неподдающемся взлому. Это представление было опровергнуто после того, как Касиски полностью взломал шифр в XIX веке, хотя известны случаи взлома этого шифра некоторыми опытными криптоаналитиками ещё в XVI веке.

Шифр Виженера достаточно прост для использования в полевых условиях, особенно если применяются шифровальные диски. Гилберт Вернам попытался улучшить взломанный шифр (он получил название шифр Вернама-Виженера в 1918 году), но, несмотря на его усовершенствования, шифр так и остался уязвимым к криптоанализу. Однако работа Вернама в конечном итоге всё же привела к получению шифра, который действительно невозможно взломать.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
C	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
D	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
E	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
G	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
H	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
I	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
J	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
K	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
L	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
M	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
N	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
O	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
R	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
S	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
T	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
U	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
V	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
W	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
X	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Y	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Z	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

Рис. 1. Таблица Виженера

Квадрат Виженера, или таблица Виженера, также известная как *tabulacrecta*, может быть использована для шифрования и расшифрования.

Предложенный способ шифрования сообщений, имеет несколько ключей, применяемых одновременно, связанных между собою арифметическими операциями. Кроме того он имеет несомненные преимущества, по сравнению с известной тысячей способов шифрования, в результате применения арифметических операций вычитания между различными элементами различных ключей и одновременного использования различных ключей, известных только конфиденциальным корреспондентам. При этом выполняют следующие технологические переходы, которые не применялись совместно при известных способах шифрования:

- 1) В качестве первого ключа шифра, конфиденциальные корреспонденты между собою заранее

согласовывают определённый текст, называемый, в дальнейшем, ключевым фрагментом шифра, например, С. Есенин, «Пороша», 1914:

А.) «Еду. Тихо. Слышны звоны под копытом на снегу, только серые вороны расшумелись на лугу. Заколдован невидимкой, дремлет лес под сказку сна, словно белою косынкой подвязалась сосна. Понагнулась, как старушка, оперлася на клюку, а над самую макушкой долбит дятел на суку. Скачет конь, простору много, валит снег и стелет шаль. Бесконечная дорога убегает лентой вдаль». [2] В отличие от шифра Виженера [1], в приведенном способе ключевой фрагмент шифра используют для арифметических операций, что снижает вероятность несанкционированного дешифрования.

2) Для введения противника в заблуждение, для изменения статистики появления в тексте слов определённой длины, для усложнения анализа частотности букв, вводим второй ключ, изменяя длину каждого слова в ключевом фрагменте шифра, нумеруя по порядку слова в нём:

1« 2Еду 3. 4Тихо 5. 6Слышны 7звоны 8под 9копытом 10на 11снегу 12, 13только 14серые 15вороны 16расшумелись 17на 18лугу 19. 20Заколдован 21невидимкой 22, 23дремлет 24лес 25под 26сказку 27сна 28, 29словно 30белою 31косынкой 32подвязалась 33сосна 34. 35Понагнулась 36, 37как 38старушка 39, 40оперлася 41на 42клюку 43, 44а 45над 46самою 47макушкой 48долбит 49дятел 50на 51суку 52. 53Скачет 54конь 55, 56простору 57много 58, 59валит 60снег 61и 62стелет 63шаль 64. 65Бесконечная 66дорога 67убегает 68лентой 69вдаль 70. 71»

3) Ключевой фрагмент шифра может состоять из любого количества знаков, причём, сложность дешифрования возрастает с увеличением этого количества. Если количество знаков в ключевом фрагменте шифра меньше, чем количество знаков в самом шифруемом конфиденциальном сообщении, то ключевой фрагмент шифра записывают «по кругу», т.е., после его конечного знака записывают вновь весь ключевой фрагмент шифра, и так делают несколько раз, покуда количество знаков записанного таким образом ключевого фрагмента шифра совпадёт с количеством знаков шифруемого сообщения, и это есть третий ключ шифра.

4) В качестве четвёртого ключа шифра, по предварительной договорённости между двумя конфиденциальными корреспондентами, в шифруемом сообщении буквы и знаки также нумеруют по порядку, приписывая, например, в конце каждого слова его порядковый номер, причём, нумерацию, для противодействия противнику, можно производить от последнего слова шифруемого текста к первому. Эта избыточность поможет проверить правильность расшифровки при санкционированном дешифровании и затруднит раскрытие шифра нежелательному читателю.

5) В качестве пятого ключа шифра, по предварительной договорённости между двумя конфиденциальными корреспондентами, в шифруемом, конфиденциальном сообщении буквы и знаки заменяют числами, по согласованному закону, в пределах, например, от 1 до 250: А=2, Б=1, В=94, Г=63, ..., Э=31, Ю=133, Я=32, «точка»=74, «запятая»=35, «тире»=250, «двоеточие»=128, «восклицательный знак»=211, «пробел»=99, «точка с запятой»=40, «вопросительный знак»=141, «скобки»=206, «кавычки»=43, цифры: 1=144, 2=205, 3=246, 4=27, 5=8, 6=49, 7=150, 8=151, 9=52, 0=93 — в результате чего вместо шифруемого сообщения получают недетерминированную, на первый взгляд, но назначенную шифруемым конфиденциальным сообщением, последовательность чисел в пределах от 1 до 250;

6) В качестве шестого ключа шифра в заранее согласованном тексте, в ключевом фрагменте шифра по п.п. 1,2,3, все буквы и знаки также заменяют числами, но в пределах от 251 до 500, включительно, по другому согласованному закону, например: А=251, Б=255, В=256, Г=359, Д=358, ..., Э=484, Ю=385, Я=286, «точка»=487, «запятая»=488, «тире»=489, «двоеточие»=290, «восклицательный знак»=291, «пробел»=392, «точка с запятой»=493, «вопросительный знак»=294, «скобки»=495, 1=306, 2=405, 3=304, 4=403, 5=322, 6=301, 7=500 8=499, 9=298, ..., 0=500 — в результате чего вместо шифруемого сообщения получают, похожею на случайную, недетерминированную, последовательность чисел в пределах от 251 до 500;

7) Полученную по п.п. 1, 2, 3 и 6, первую последовательность чисел, соответствующую ключевому фрагменту шифра, записывают над второй последовательностью чисел, полученной по п.п. 4 и 5, и соответствующей шифруемому сообщению, затем вычитают из каждого верхнего числа нижнее число, поэлементно, при этом, в качестве седьмого ключа шифра, согласно предварительной договорённости между конфиденциальными корреспондентами, первую последовательность чисел, полученную по п.п. 1, 2, 3 и 6, располагают, относительно второй числовой последовательности, полученной, согласно п.п. 4 и 5, в соответствии с одним из заранее оговоренных вариантов, например: в обратном порядке, т.е., первое число первой последовательности чисел, полученной, согласно п.п. 1, 2, 3 и 6, и соответствующей ключевому фрагменту шифра, располагают над последним числом второй последовательности чисел, полученной, согласно п.п. 4 и 5, и соответствующей шифруемому сообщению, второе число первой последовательности чисел, полученной, согласно п.п. 1, 2, 3 и 6, располагают над предпоследним числом второй последовательности чисел, полученной, согласно п.п. 4 и 5, и так далее, последнее число первой последовательности чисел, полученной, согласно п.п. 1, 2, 3 и 6, располагают над первым числом второй последовательности чисел, полученной, согласно п.п. 4 и 5. Или все числа располагают со сдвигом на одну или несколько позиций по порядку — в результате вычитания получают третью последовательность чисел, в пределах от 1 до 500;

8) В качестве восьмого ключа шифра в полученной по п. 7 последовательности чисел каждое число, от 1 до 500, включительно, заменяют символом, взятым, например, из латинского, греческого алфавитов,

знаков языка иврит, иероглифов, например: 1=А, 2=Б, 3=В, 4=Г, ..., 31=Э, 32=Ю, 33=Я, 34=Q, 35=W, 36=R, 37=Y, 38=U, 39=S; 40=D; 41=F, 42=G; 1=А, 2=Б, 3=В, 4=Г, ..., 31=Э, 32=Ю, 33=Я, 34=Q, 35=W, 36=R, 37=Y, 38=U, 39=S, 40=D, 41=F, 42=G, 43=N, 44=V, 45=J, 46=L, 47=Z, 48=α, 49=β, 50=γ, 51=δ, 52=ω, 53=λ, 113=ψ, ..., 470=ص, 500 = لا, причём, замену чисел на символы нескольких алфавитов заранее оговаривают между собой только конфиденциальные корреспонденты;

9) Полученную по п. 8 последовательность символов, взятых из разных алфавитов, отправляют открытым каналом связи от одного конфиденциального корреспондента к другому конфиденциальному корреспонденту, который, получив сообщение, преобразовывает, в обратном порядке, используя восьмой ключ шифра, символы нескольких алфавитов — в числа, согласно п. 8, получает при этом третью последовательность чисел, от 1 до 500, соответствующую п. 7, и являющуюся последовательностью чисел, каждое из которых является разностью от вычитания каждого числа, соответствующего каждому знаку шифруемого сообщения, из каждого числа, соответствующего ключевому фрагменту шифра;

10) Полученную по п. 9 третью последовательность чисел, соответствующую последовательности чисел, полученных по п. 7, записывают, в порядке, оговоренном седьмым ключом шифра, под второй последовательностью чисел, полученной по п.п. 3 и 6, соответствующей ключевому фрагменту шифра, и вычитают из каждого верхнего числа нижнее число, поэлементно, в результате вычитания получают четвёртую последовательность чисел, соответствующую первой последовательности чисел, представляющей шифруемое, конфиденциальное сообщение, по п. 5, в пределах от 1 до 250;

11) В полученной по п. 10 последовательности чисел, применяя шестой ключ, каждое число заменяют буквенным символом, согласно п. 4, в результате чего получают первоначальное, расшифрованное сообщение.

Таким образом, предложен новый подход к шифрованию текстов, который имеет несомненные преимущества, по сравнению с известной тысячей способов шифрования, в результате применения арифметических операций вычитания между различными элементами различных ключей и одновременного использования различных ключей, известных только конфиденциальным корреспондентам, обозначим эти ключи:

- в качестве первого ключа заложен ключевой фрагмент шифра, скрываемый от несанкционированного дешифровальщика в арифметических операциях вычитания чисел. При этом, для усложнения недопустимого дешифрования, можно взять несколько ключевых фрагментов шифра, например: А) обозначенный в п.п. 1 и 2; и, дополнительно, Б): *«В те дни, когда в садах Лицея я безмятежно процветал, читал охотно Апулея, а Цицерона не читал, в те дни в таинственных долинах, весной, при кликах лебединых, близ вод, сиявших в тишине, являться муза стала мне. Моя студенческая келья вдруг озарилась: муза в ней открыла мир молодых затей, воспела детские веселья, и славу нашей старины, и сердца трепетные сны.»* [3];

- в качестве второго ключа шифра, в котором произведена нумерация слов в ключевом фрагменте шифра, причём, во втором ключевом фрагменте шифра, обозначенном здесь буквой Б), нумерацию слов можно производить, например, от последнего знака ключевого фрагмента шифра к первому: **76«75В 74те 73дни72, 71когда 70в 69садах 68Лицея 67я 66безмятежно 65процветал64, 63читал 62охотно 61Апулея60, 59а 58Цицерона 57не 56читал55, 54в 53те 52дни 51в 50таинственных 49долинах48, 47весной46, 45при 44кликах 43лебединых42, 41близ 40вод39, 38сиявших 37в 36тишине35, 34являться 33муза 32стала 31мне30. 29Моя 28студенческая 27келья 26вдруг 25озарилась24: 23муза 22в 21ней 20открыла 19мир 18младых 17затей16, 15воспела 14детские 13веселья12, 11и 10славу 9нашей 8старины7, 6и 5сердца 4трепетные 3сны 2. 1»;**

- как третий ключ, производят запись ключевого фрагмента шифра в виде кольца, т.е., после завершающего знака ключевого фрагмента шифра записывают вновь весь ключевой фрагмент шифра, и так — до совпадения количества знаков ключевого фрагмента шифра и шифруемого конфиденциального сообщения;

- в качестве четвёртого ключа шифра, производят нумерацию слов в шифруемом сообщении;
- в соответствии с пятым ключом, производят, по согласованному только между конфиденциальными корреспондентами порядку, замены символов текста конфиденциального сообщения цифрами;

- в соответствии с шестым ключом, выбирают один из нескольких, заранее согласованных, порядков замены символов ключевого фрагмента шифра цифрами;

- в соответствии с седьмым ключом, конфиденциальные корреспонденты заранее оговаривают порядок вычитания каждого числа одной числовой последовательности, изображающей конфиденциальное сообщение, из каждого числа другой числовой последовательности, изображающей ключевой фрагмент шифра;

- в соответствии с восьмым ключом, конфиденциальные корреспонденты заранее согласовывают порядок замены результатов вычитания чисел символами, взятыми из нескольких алфавитов;

- девятым ключом в разработанном способе шифрования текстов, производят обратные преобразования, с одновременным применением восьми шифровальных ключей, каждый из которых подразумевает выбор одного варианта ключа из нескольких вариантов, оговоренных между конфиденциальными корреспондентами. Для усложнения дешифровки недопустимыми читателями конфиденциальные корреспонденты могут согласовать между собою несколько различных вариантов замен

знаков шифруемого сообщения и знаков ключевого фрагмента шифра и изменять их, согласно отдельной договорённости, от сообщения к сообщению, и даже внутри одного сообщения можно применять эти различные варианты, например: после 25-го знака использовать заранее согласованный ключевой фрагмент шифра, обозначенный выше как Б), потом после 57-го использовать заранее согласованный ключевой фрагмент шифра, обозначенный выше как А), после 114 — вновь Б) и т.д. — но не произвольно, а по взаимной договорённости.

Использование одновременно большого количества ключей, согласованных между конфиденциальными корреспондентами, а самое главное: применение арифметической операции вычитания чисел, изображающих шифруемое сообщение, из чисел, изображающих ключевой фрагмент шифра, делает для субъектов, не обладающих ключами, время несанкционированного дешифрования зашифрованного сообщения неприемлемо большим, стремящимся к бесконечности, а зашифрованное сообщение становится доступным только конфиденциальным корреспондентам, имеющим полные наборы ключей представленного в этой статье способа шифрования текстов. И этот факт существен, особенно в военном деле. Одинаковые слова шифруемого сообщения в приведенном способе изображены совершенно различными последовательностями чисел, являющихся результатами вычитаний чисел, представляющих собою ключевой фрагмент шифра и фрагмент конфиденциального сообщения, и это нейтрализует тесты Касиски и Фрийдмана [1]. Вследствие обозначений различными числами пробела между словами, (в шифруемом конфиденциальном сообщении — одним числом, а в ключевом фрагменте шифра — иным числом), полученные последовательности чисел становятся непрерывными, что не позволит, при несанкционированном дешифровании анализировать вероятности появления в тексте слов определенных длин.

Литература

1. Яценко, В. В. Введение в криптографию / Под общей редакцией В. В. Яценко. — М. : МЦНМО, 2000. — 386 с.
2. Есенин, С. Собрание сочинений в одной книге / С. Есенин. — Харьков, Белгород : Клуб семейного досуга, 2012. — 960с.
3. Пушкин, А. С. Сочинения. В 3-х томах. Т. 2. Поэмы ; Евгений Онегин; Драматические произведения / А. С. Пушкин — М. : Худож. Лит., 1986. — 527 с.

References

1. Jashhenko, V. V. Vvedenie v kriptografiju / Pod obshhej redakciej V. V. Jashhenko. — M. : MCNMO, 2000. — 386 s.
2. Esenin, S. Sobraenie sochinenij v odnoj knige / S. Esenin. — Har'kov, Belgorod : Klub semejnogo dosuga, 2012. — 960 s.
3. Pushkin, A. S. Sochinenija. V 3-h tomah. T. 2. Pojemy; Evgenij Onegin ; Dramaticheskie proizvedeniya / A. S. Pushkin — M. : Hudozh. Lit., 1986. — 527 s.

Рецензія/Peer review : 24.5.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ У ЗАСТОСОВАННЯХ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. Наведено результати оцінки спотворень мультимедійних зображень в відеозастосуваннях зі стисненням, базованим на застосуванні вейвлет-перетворень в базисах Хаара, Добеші, а також типу койфлетів, сімплетів, перетворення Майєра та біртогональних перетворень. Наведено рівні коефіцієнтів стиснення, визначені для заданих значень відношення сигнал/шум. Зроблено висновки відносно вибору базисів для практичної реалізації алгоритмів стиснення.

Ключові слова. Вейвлет-перетворення, стиснення зображень, алгоритми стиснення, класифікація, відношення сигнал/шум

N.A. PATLAENKO

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,

nick_msa@ukr.net

ANALYSIS OF WAVELET TRANSFORM BASED IMAGE COMPRESSION METHODS IN TELEVISION PRODUCTION APPLICATIONS

Abstract. The results of evaluation of multimedia image distortion in video applications with compression based on the use of wavelet transforms in Haar and Daubechies bases and types of coiflets, simplets, Mayer conversion and biorthogonal transformations. Compression ratios levels for given values of S/N ratio are presented. Conclusions regarding the choice of bases for the practical implementation of compression algorithms are made.

Keywords. Wavelet transform, image compression, compression algorithms, classification, signal/noise ratio

Вступ

Застосування алгоритмів стиснення на основі вейвлет-перетворення може надавати можливість кращого співвідношення показників якості відновленого зображення та коефіцієнта стиснення, ніж при використанні класичних алгоритмів, базованих на застосуванні дискретно косинусного перетворення.

Вейвлет-перетворення можна успішно застосовувати для представлення об'єктів сцен в тому числі, складених із самоподібних геометричних фігур.

ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ

При дискретному вейвлет перетворенні виконується згортка вхідної послідовності з імпульсним відгуком ВЧ і НЧ фільтрів розкладання, з подальшою децимацією з кроком 2, отримуючи перетворені сигнали після фільтрації. Високочастотні та низькочастотні коефіцієнти апроксимації. На виході ми отримуємо проріджені високочастотні ділянки спектру вхідного сигналу та низькочастотні ділянки спектру. Відновлення сигналів проводиться шляхом підвищення частоти (інтерполяції), і згортки з ВЧ і НЧ фільтрами синтезу. На рис. 1. наведена структурна схема одновимірного вейвлет перетворення.

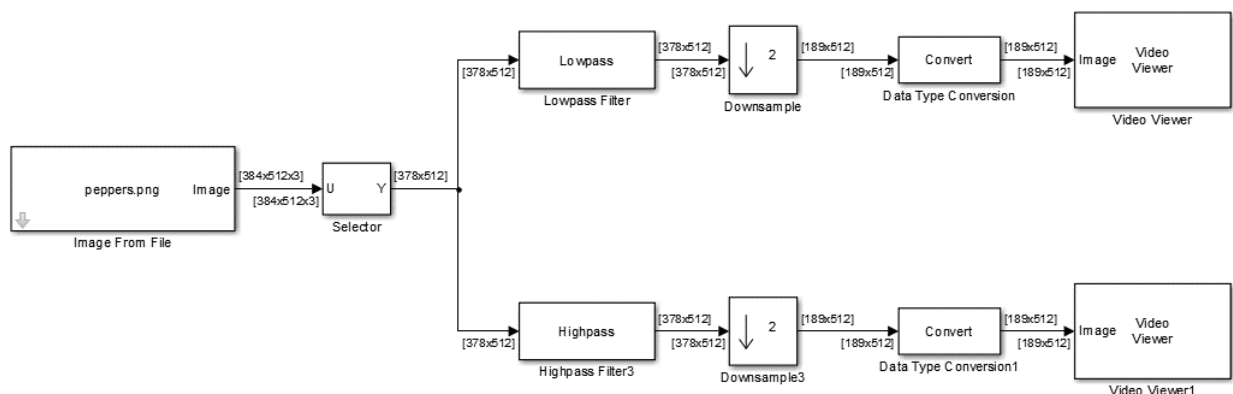


Рис.1. Одновимірне вейвлет перетворення

При дворівневому вейвлет перетворенні низькочастотна складова піддається фільтрації стільки разів, скільки треба для точнішого представлення вхідного зображеннями, і число цих повторень визначає рівень декомпозиції вейвлет-перетворення.

При виконанні двовимірного вейвлет перетворення необхідно виконати одновимірне вейвлет-перетворення з заданим рівнем декомпозиції спочатку для всіх рядків зображення, потім для всіх стовпців зображення. Процес виконання однієї ітерації вейвлет-перетворення зображення представлений на рис.- 2.

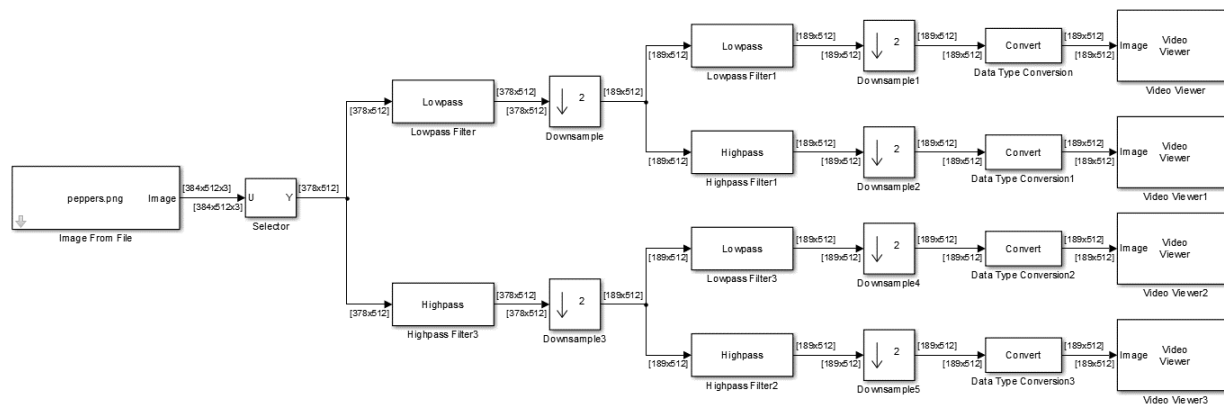


Рис. 2. Двовимірне вейвлет перетворення

Апроксимаційні коефіцієнти двовимірного вейвлет-перетворення



Рис. 3. Результуюче зображення після пар НЧ фільтрів.

Уточнюючі горизонтальні коефіцієнти двовимірного вейвлет-перетворення

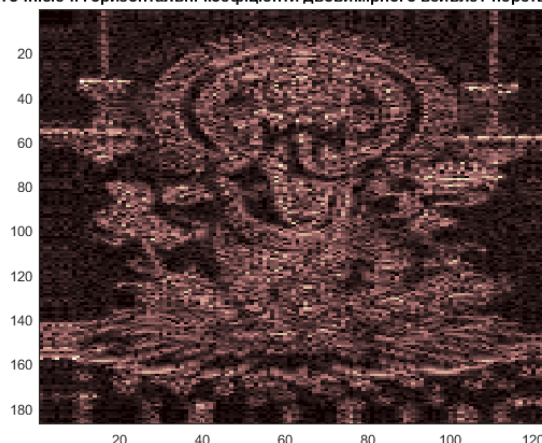


Рис.4. Результуюче зображення після пар НЧ та ВЧ фільтрів.

Уточнюючі вертикальні коефіцієнти двовимірного вейвлет-перетворення

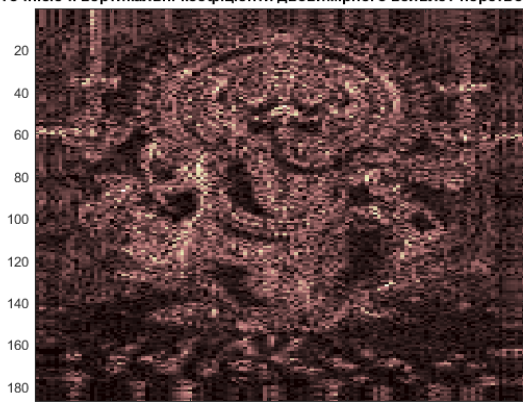


Рис. 5. Результуюче зображення після пар ВЧ та НЧ фільтрів.

Уточнюючі діагональні коефіцієнти двовимірного вейвлет-перетворення

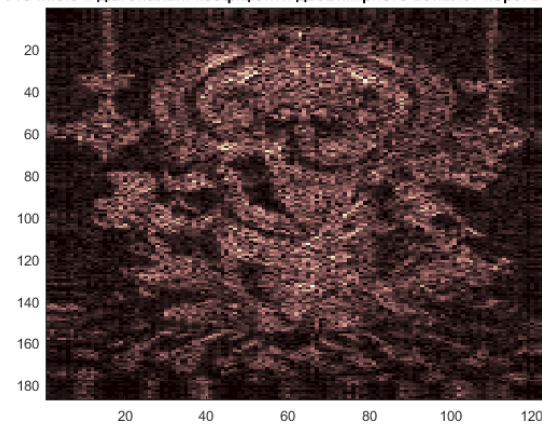


Рис. 6. Результуюче зображення після пар ВЧ фільтрів.

У роботі були обрані КІХ фільтри 50-го порядку, так як цей тип фільтрів стійкий має лінійну ФЧХ та високу швидкість фільтрації. Кожен фільтр налаштовується таким чином, щоб загальний спектр вхідного зображення був розподілений на субполоси, які далі піддаються децимації по строках та стовпцях отримуючи на виході зображення у чотири рази менше ніж вихідне на кожному кроці, при відновленні кожне з цих зображень підлягає зворотній фільтрації та інтерполяції в результаті відновлюється вихідний спектр зображення.

Вимоги до обрання класу вейвлетів

У дослідженні використовувався вейвлет наступних типів Хаара, Добеші, койфлети, сімплети, перетворення Майера та біртогональні перетворення з наступних причин: дані вейвлет володіють симетрією і лінійною фазою, дані вейвлет широко використовується в стандартизованих системах стиснення візуальної інформації, також в [2] були досліджені деякі властивості, які відрізняють ці вейвлет від інших при апроксимації зображень невеликим значенням вейвлет-коефіцієнтів.

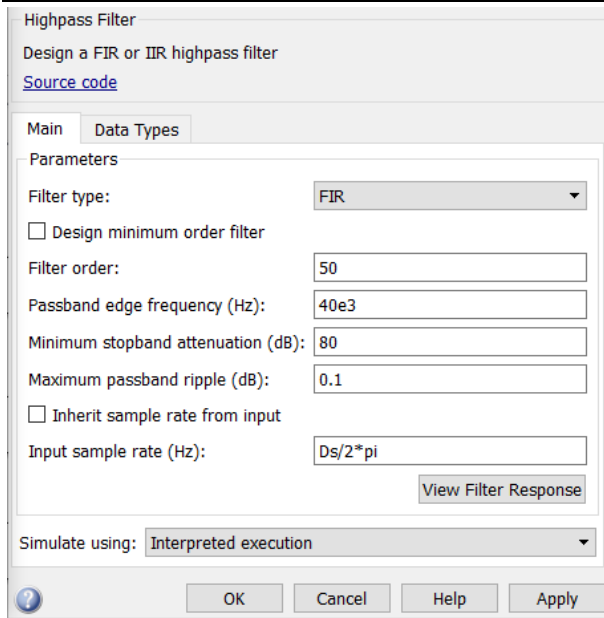


Рис.7. Налаштування фільтрів ВЧ

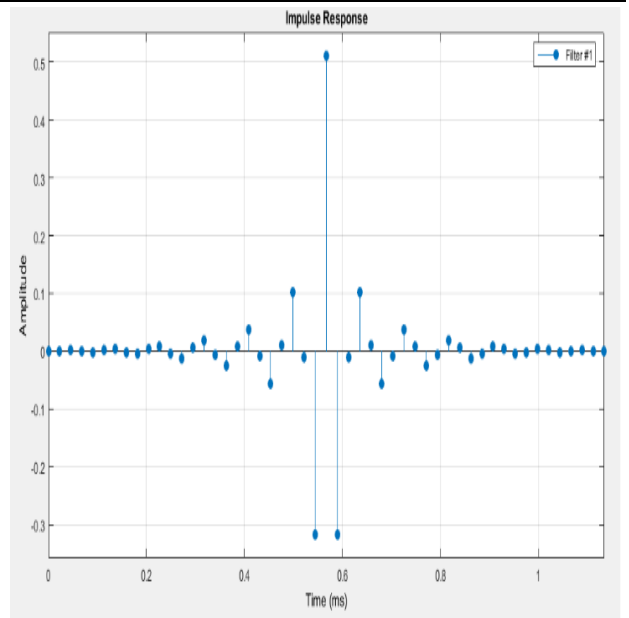


Рис. 8. Імпульсний відгук фільтру ВЧ

Розглянуті вейвлети становлять лише незначну частину тих багатьох вейвлетів, які були запропоновані. Вимоги, що пред'являються до вейвлетів, дуже різноманітні. Сюди відносяться: обчислювальна простота, хороші якості наближення, обчислювальна стійкість, гладкість, компактність носія у базисних вейвлетів (або їх швидке убивання на нескінченності - при відсутності такої компактності), симетричність базисних вейвлетів, ортогональність вейвлетного розкладання.

Оцінка зображення за відношенням сигнал/шум

Відношення сигнал / шум не дає повної картини, проте цілком підходить для якісного аналізу зображення високої чіткості, і у зв'язку з простотою реалізації був обраний саме цей метод (3).

$$PSNR = -10 \cdot \log \left(\frac{\sum_{x=1}^{1920} \sum_{y=1}^{1080} |P'(x, y) - P(x, y)|}{\sum_{x=1}^{1920} \sum_{y=1}^{1080} |P(x, y)|} \right) \quad (3)$$

де $P(x,y)$ – значення колірної компоненти пікселя вихідного зображення, а $P'(x,y)$ – компонента, яка отримана після декомпресії стисненого зображення. На рис 1 наведено залежності відношення сигнал шум (PSNR) від коефіцієнтів стиснення для досліджених вейвлетів.

Для апробації працездатності алгоритмів перетворень був використаний стандартний повнокольоровий малюнок Windows в форматі BMP. Моделювання проводилося в пакеті Matlab 2014b.

Перетворення здійснювалося за однаковою схемою паралельно для всіх колірних компонент. Перетворені зображення також зберігалися в форматі BMP. Деякі результати моделювання представлені на рис. 11-15. Зображення, отримані в результаті зворотного перетворення, не наводяться, тому що повністю збігаються з вихідним.

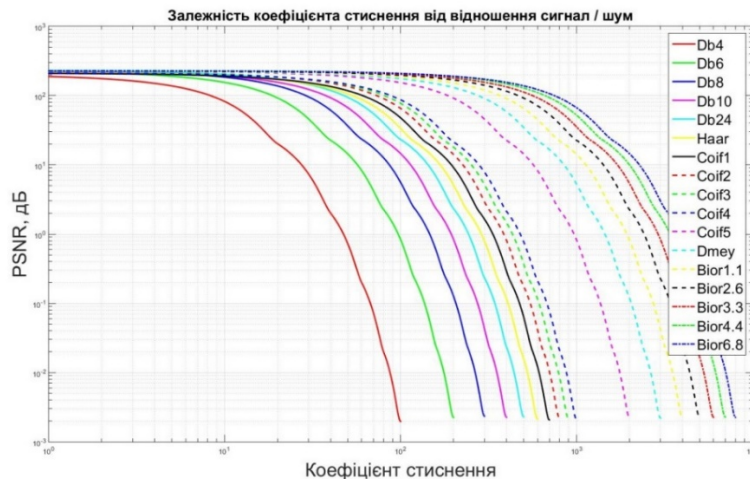


Рис. 9. Залежності відношення сигнал / шум від коефіцієнта стиснення

Для наочності розділимо графік на групи і проаналізуємо їх окремо. До першої групи віднесемо вейвлети Добеши та Хаара, до другої койфлети до третьої Мейера та біортогональні. рис. 7-10.

Будемо розглядати ступінь стиснення за рівнем відношення и сигнал / шум 45 дБ.

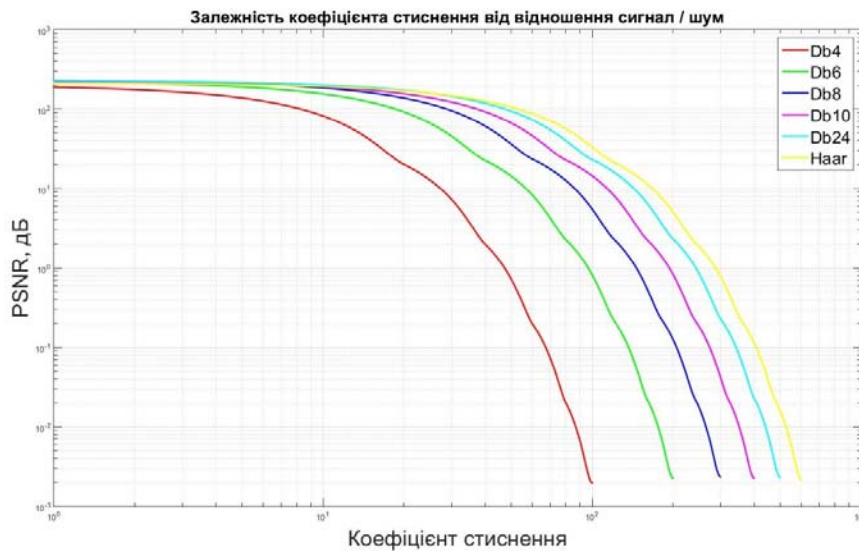


Рис. 10. Залежності PSNR від коефіцієнта стиснення для вейвлетів Добеши і Хаара

З рис.8 ми бачимо, що залежно від методу вейвлет перетворення на рівні відношення сигнал/шум 45 дБ, коефіцієнт стиснення різний. Кількісне відношення коефіцієнта стиснення від відношення сигнал / шум наведено у табл. 1.

Зростання коефіцієнта стиснення при збільшенні порядку фільтра Добеши пояснюється тим, що при збільшенні порядку збільшується число коефіцієнтів масштабуючої функції, що дозволяє збільшити ступінь стиснення зображення,

отримуючи задовільну оцінку цього зображення. Але при збільшенні масштабуючої функції збільшується довжина КІХ фільтра, що приводить до ускладнення реалізації цього методу.

Таблиця 1.

Значення коефіцієнту стиснення в залежності від виду компресії

Вид стиснення	Коефіцієнт стиснення
<i>Db4</i>	15
<i>Db6</i>	30
<i>Db8</i>	48
<i>Db10</i>	63
<i>Db24</i>	82
<i>Haar</i>	19

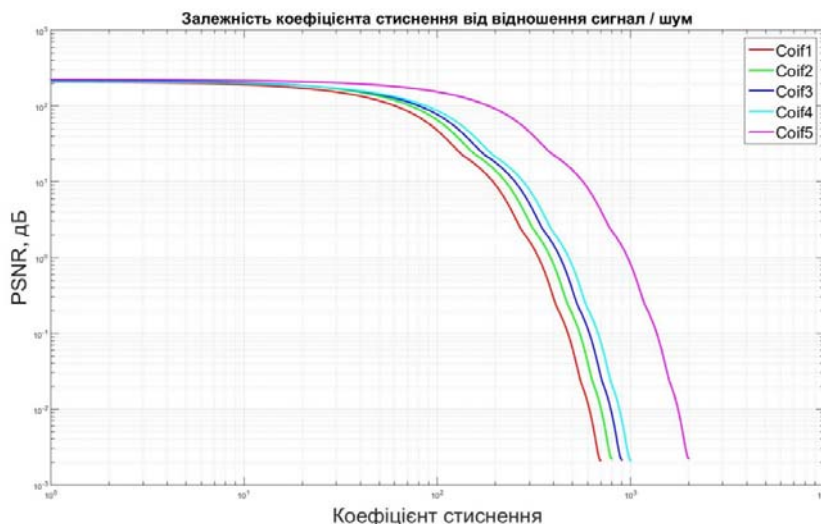


Рис. 11. Залежності PSNR від коефіцієнта стиснення для койфлетів

З рис.9 спостерігається зріст коефіцієнту стиснення в залежності від порядку койфлетів, на оптимальному рівні відношення сигнал / шум 45 дБ. Кількісне значення коефіцієнта стиснення наведено у табл. 2.

Велика кількість нульових моментів призводить до кращого стиснення, тому що вейвлет-коефіцієнти функції для малих масштабів будуть переважно нульовими там, де функція гладка. Койфлети більш симетричні ніж вейвлет Добеши. Розкид по гладкості у койфлетів більше, ніж у вейвлетів Добеши.

Але недоліком є те, що койфлети довше, ніж вейвлети Добеші. Якщо для останніх довжина області завдання одно 2M-1, то для койфлетов вона стає рівною 3M-1, у 3 рази більше ніж у вейвлетів Хаара.

Таблиця 2.

Значення коефіцієнту стиснення в залежності від виду компресії

Вид стиснення	Коефіцієнт стиснення
<i>Coif1</i>	102
<i>Coif2</i>	111
<i>Coif3</i>	113
<i>Coif4</i>	115
<i>Coif5</i>	310

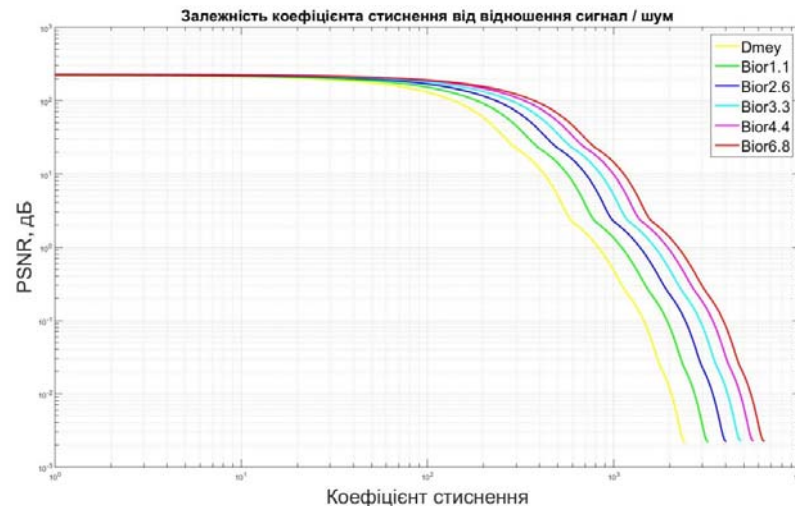


Рис. 12. Залежності відношення сигнал / шум від коефіцієнта стиснення для Мейера, біортогональних вейвлетів

Кількісне значення коефіцієнта стиснення наведено у табл. 3.

Біортогональні вейвлети використовуються, щоб забезпечити повну симетрію, гладкість, кількість нульових моментів частотної характеристики КХ фільтру і точну реконструкцію вхідного сигналу. При цьому використовуються два дуальних вейвлет-базису, пов'язані з двома різними багатомасштабними сходами. На відміну від вейвлетів Добеші, в яких регулярність тісно пов'язана з числом нульових моментів, біортогональні вейвлети мають більшу свободу вибору.

Результати експерименту

Метод візуальної оцінки якості, заснований на видимості помилки між оригіналом і спотвореним зображенням, використовуючи ледь помітну різницю при вейвлет-перетворенні (JND). Помилка, що перебуває нижче видимого порогу в кожній смузі частот ігнорується, у той час як деякі помилки, які перебувають у змістовній області, замасковані. За допомогою вимірювань видимих відмінностей двох входів і візуального маскування, була отримана формула оцінки зображень. Експерименти, проведені над випробувальними послідовностями групи VQEG, показали, що запропонований метод може досягти дуже гарної кореляції з суб'єктивними оцінками якості.

Середньоквадратична помилка (MSE) або пікове відношення сигнал/шум (PSNR) зазвичай використовується в області обробки сигналів як об'єктивна якісна метрика зображення. Одна з переваг – обчислювальна простота. Проте, відомо, що (MSE) або (PSNR) погано корелюють з якістю сприйняття в більшості додатків, тому що це засновано на вимірі точності відтворення. Іншими словами, це не враховує властивостей зорової системи людини (HVS). Деякі спотворення, які знаходяться нижче порога або є замаскованим фоном, все ще вважаються як помилки в MSE або PSNR. Ідея JND полягає в тому, що кожен сигнал кодується з граничним рівнем видимості помилки, нижче якого знаходяться невидимі помилки відновлення.

Для прикладу, стиснемо 5 різних зображень рис 13-17 (відрізняються наявністю дрібних деталей) методами вейвлет-перетворення: Хаара, Добеші, койфлети, симплети, перетворення Майера,

Таблиця 3.
Значення коефіцієнту стиснення в залежності від базису вейвлет-перетворення.

Вид стиснення	Коефіцієнт стиснення
<i>Dmey</i>	241
<i>Bior 1.1</i>	310
<i>Bior 2.6</i>	396
<i>Bior 3.3</i>	485
<i>Bior 4.4</i>	548
<i>Bior 6.8</i>	640

біртогональні.



Рис. 13. Зображення «Fireworks»



Рис. 14. Зображення «Deer»



Рис. 15. Зображення «Big tree»



Рис. 16. Зображення «Bridge»



Рис. 17. Зображення «Big building»

Для наочності зобразимо графік залежності оцінки спотворення зображення від коефіцієнта стиснення для кожного зображення рис.18.

Та визначимо коефіцієнт стиснення для кожного зображення на рівні оптимальних спотворень 80%. За 100% взято відношення сигнал / шум 45 дБ. Значення коефіцієнта стиснення наданні у табл. 4.

Таблиця 4

Значення коефіцієнта стиснення для тестових зображень

Назва тестового зображення	Коефіцієнт стиснення
<i>Fireworks</i>	11
<i>Deer</i>	30
<i>Big tree</i>	60
<i>Bridge</i>	130
<i>Big building</i>	211

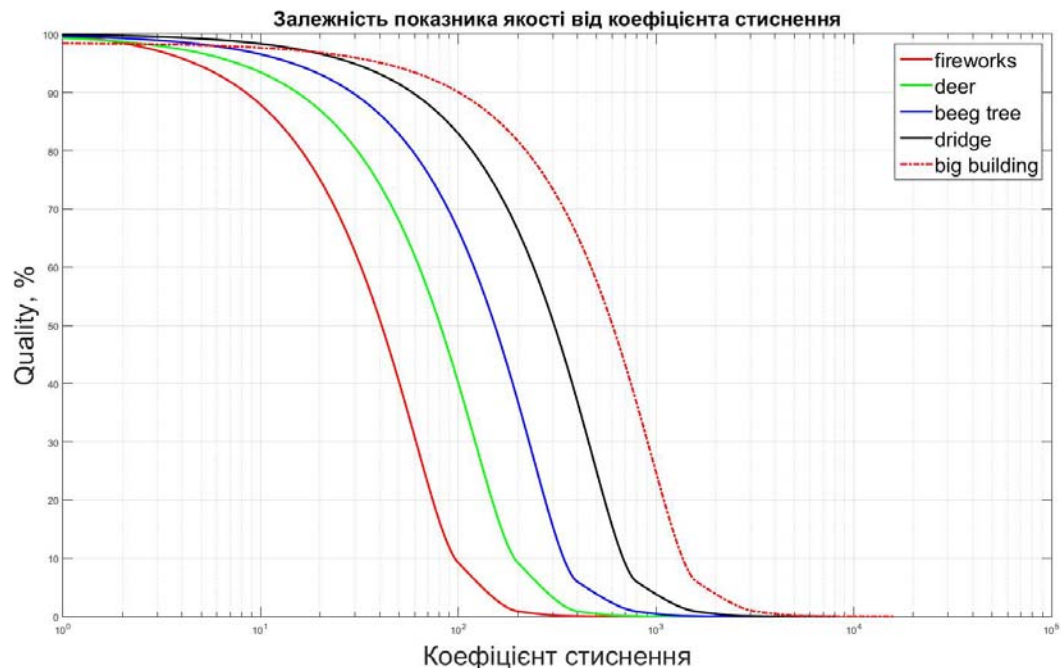


Рис. 18. Графік залежності показника якості від коефіцієнту стиснення

З рис. 7-10. бачимо що найефективнішим алгоритмом є біортогональний, завдяки тому, що він має компактний та симетричний носій, перетворення мають нульові моменти, можливо легко застосувати у КІХ фільтрах, та максимальний коефіцієнт стиснення з розглянутих вище.

Висновки

У статті розглянуті питання, щодо вибору типу вейвлет перетворення стиснення зображень, розглянуто вибір оптимального вейвлет алгоритму для обробки зображень. Була дана порівняльна характеристика сучасних перетворень (Добеши, Хаар, койфлети, Майера, біортогональні) щодо можливості оптимального використання для кодування зображень для досягнення найкращого відношення сигнал/шум при одному й тому же коефіцієнті стиснення.

Література

1. Патлаєнко Н.А. Оценка погрешностей координат 3D ТВ объектов. / В.И.Солодка, Е.В.Ошаровская, Н.А.Патлаєнко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014г.–№13. –с. 37–40.
2. Патлаєнко М.О. Аналіз методів стиснення цифрових відео послідовностей у телевізійних системах / В.И. Солодка, Н.А. Патлаєнко, М.І. Арделян // Цифрові технології. –2012.–№12. –С. 117–122
3. Ошаровская Е.В. Методы построения сеток в трёхмерных областях / Е.В. Ошаровская, Н.А. Патлаєнко, В.И. Солодка/ “Східноєвропейський журнал передових технологій”. – 2011. – No 5/4(53)
4. E. P. Simoncelli and E. H. Adelson, “Noise removal via Bayesian wavelet coding,” in Proc. 3rd Int. Conf. Image Processing, Lausanne, Switzerland, Sep.1996, vol. I, pp. 379–382.
5. J. Villasenor, B. Belzer and J. Liao, "Wavelet filter evaluation for efficient image compression," IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp. 1053-1060, 1995.

References

1. Patlaenko N.A. Otsenka pogreshnostey koordinat 3D TV ob'ektov. / V.I.Solodka, E.V.Osharovskaya, N.A.Patlaenko // Vimiryuvalna ta obchislyuvalna tehnika v tehnologichnih protsesah. –2014g.–№13. –с. 37–40.
2. Patlaenko M.O. Analiz metodiv stisnennya tsifrovih vido poslidovnostey u televiziynih sis-temah / V.I. Solodka, N.A. Patlaenko, M.I. Ardelyan // TsifrovI tehnologIyi. –2012.–№12. –S. 117–122
3. Osharovskaya E.V. Metodyi postroeniya setok v trYohmernih oblastyah / E.V. Osharovskaya, N.A. Patlaenko, V.I. Solodkaya/ “ShIdnoEvropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy”. – 2011. – No 5/4(53)
4. E. P. Simoncelli and E. H. Adelson, “Noise removal via Bayesian wavelet coding,” in Proc. 3rd Int. Conf. Image Processing, Lausanne, Switzerland, Sep.1996, vol. I, pp. 379–382.
5. J. Villasenor, B. Belzer and J. Liao, "Wavelet filter evaluation for efficient image compression," IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp. 1053-1060, 1995.

Рецензія/Peer review : 24.5.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСТАНОВКИ SMD-КОМПОНЕТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ

В работе рассмотрены вопросы ручного монтажа SMD-компонентов на плату, установлены погрешности (величины смещений) возникающие в процессе установки. Показано, что качество соединений напрямую зависит от квалификации рабочего и времени непрерывности процесса монтажа.

Результаты работы могут быть использованы при монтаже SMD-компонентов.

Ключевые слова: дефект, монтаж, качество, SMD-компонент.

V.V.STRELBITSKIY

Odessa national polytechnic university, Odessa

THE STUDY OF ERRORS THE INSTALLATION OF SMD-COMPONENT IN PCB

The paper considers the issues of manual insertion of SMD components on the Board, set the error (offset) occurs in the installation process. It is shown that the quality of the joints depends on the qualification of the worker and the time of the Assembly process.

The results can be used for mounting SMD components.

Keywords: defect, Assembly, quality, SMD-component.

Постановка проблемы в общем виде

Динамично развивающийся рынок электронной промышленности, с каждым годом расширяя номенклатуру изделий и ужесточая требования к точности и качеству выходного продукта, стимулирует производителя к совершенствованию оборудования для производства, ремонта и сборки.

В современных условиях для большинства предприятий и компаний характерна широкая номенклатура изделий при малой программе выпуска.

Большинство предприятий, частных компаний при изготовлении и ремонте сталкиваются с довольно сложной конструктивно и миниатюрной радиоэлектронной аппаратурой на основе электронных модулей с поверхностным монтажом. Что превращается в проблему для мелкосерийных изготовителей [1-6].

Анализ последних публикаций

Для решения проблемы производителю необходимо освоить и внедрить в производство технологию поверхностного монтажа (SMT), что на данный момент вызывает определенные экономические трудности. Поэтому, в качестве бюджетного варианта многие компании выбирают манипуляторы установки компонентов, которые при минимальных инвестициях позволяют повысить качество выпускаемой продукции и снизить потребности в высококвалифицированных монтажниках [4-6]. Однако вопрос по установлению влияния квалификации монтажника на качество и точность сборки SMD компонентов в литературе слабо освещен.

Следует отметить, что качество конечного изделия во многом зависит от правильного выполнения операции установки компонентов на печатную плату, кроме того возникшие в процессе монтажа дефекты могут получить дальнейшее развитие в процессе эксплуатации и привести к преждевременному отказу изделия в целом [7-18].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния квалификации монтажника на качество и точность сборки SMD компонентов.

Основная часть

Сокращение размеров электронных компонентов превратилось в проблему для небольших частных компаний, связанную с закупкой оборудования, импортного производства, обеспечивающего высокую производительность монтажных операций, гибкость, одновременную работу с широкой номенклатурой компонентов без многочисленных переналадок питателей, а также точность и повторяемости операций при минимальной цене. Поэтому, в частных компаниях получил распространение модульный установщик SMP-330, предназначенный для ручной установки компонентов поверхностного монтажа с помощью вакуумного пинцета (рис. 1), который гибко конфигурируется на подачу компонентов из лент в катушках, обрезках, россыпи, применяется для работы в условиях мелкосерийного производства и сборки единичных опытных образцов.

Поскольку многовыводные интегральные схемы представляют собой печатные платы с маленькими коммутационными дорожками и контактными площадками, то при монтаже могут возникнуть дефекты в виде уменьшения требуемого диэлектрического зазора, или его отсутствия, образования перемычек (мостиков) припоя между соседними контактными площадками и выводами.

Согласно требованиям стандарта IPC-A-610D контроль качества при приемке SMD-компонентов осуществляется визуально, основные требования предъявляются к установочным размерам и

расположению на печатной плате [19].

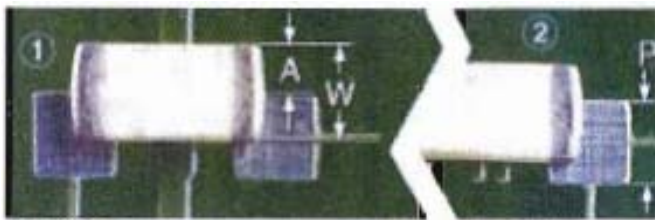
Для исследования погрешности установки, величины смещения по осям X и Y, см. рис. 2,б, и контроля качества установки SMD элементов был использован инструментальный микроскоп БИМ-1.

Экспериментальные образцы, согласно конструктивно-технологических особенностей, были разбиты на группы. Один из 3-х монтажников с незначительным опытом работы производил монтаж 3-х компонент, одной группы, на печатную плату с последующим контролем. Аналогичный эксперимент повторял монтажник со средним опытом работы. Полученные результаты усредняли.

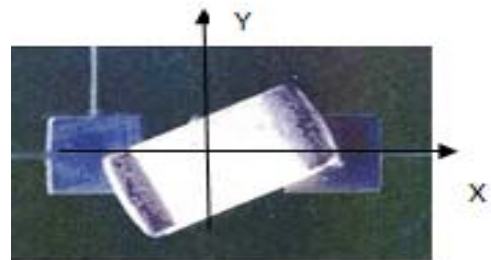
При визуальном обследовании плат с SMD-компонентами, были установлены дефекты (на рис.2), которые можно объяснить несоблюдение требований стандарта IPC-A-610D [19] в процессе производства.



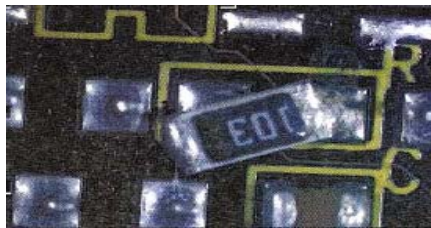
Рис. 1. Общий вид установщика SMD-компонентов SMP-330



а)



б)



в)

Рис. 2. Виды дефектов при установке компонентов: боковое смещение контактной поверхности компонента (а) [19] и торцевое смещение (б, в) относительно контактной площадки

По полученным экспериментальным данным построены графические зависимости погрешностей установки SMD-элементов от стажа работы монтажника и количества выводов компонента (рис. 3,4).

Как следует из представленных данных (рис. 3,4), зависимость погрешности установки от количества выводов носит нелинейный характер и зависит от квалификации монтажника, с увеличением количества выводов и опыта работы – погрешность спадает.

В процессе осмотра были обнаружено незначительное количество дефектов в виде уменьшенной ширины галтели с торца, контактная площадка элемента выступает за контактную площадку платы, разрушения припоев.

Было установлено, что величина смещения увеличивается с увеличением времени непрерывности процесса монтажа.

Анализ полученных результатов погрешностей установки SMD-компонент на плату показал, что:

- 1) погрешность установки вакуумным пинцетом составляет 100...600 мкм.;
- 2) величина смещения носит нелинейный характер и зависит от квалификации рабочего, количества выводов компонентов;
- 3) увеличение времени непрерывности процесса монтажа приводит к увеличению погрешности, вследствие усталости работника;
- 4) увеличение количества выводов и квалификации монтажника приводит к снижению погрешности установки.

Выводы

Проведенные исследования точности монтажа SMD-компонентов на печатную плату показали, что величина погрешности установки носит нелинейный характер, качество соединений напрямую зависит от квалификации рабочего, количества выводов и времени непрерывности процесса монтажа.

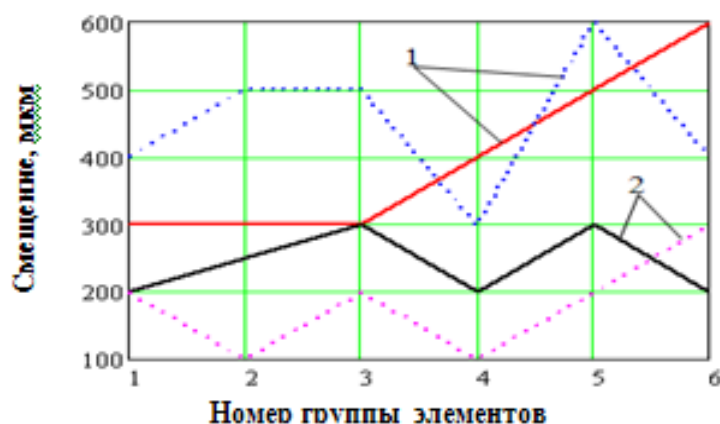


Рис. 3. Погрешности установки компонентов относительно осей X (сплошная линия) и Y (пунктирная линия) при монтаже работниками с незначительным (1) и средним (2) опытом работы

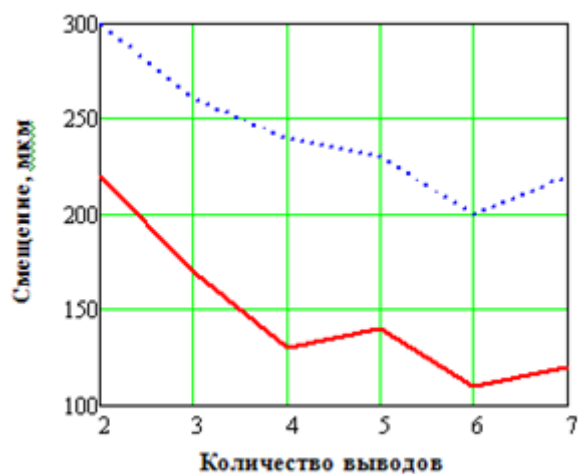


Рис. 4. Погрешности установки компонентов относительно оси X при монтаже работниками с незначительным (пунктирная линия) и средним (сплошная линия) опытом работы

Литература

1. Медведев А., Мылов Г. Будущее технологий электрических межсоединений в электронном приборостроении // Технологии в электронном приборостроении. - 2012. - № 6. – С.8-12.
2. Нисан А. Восемь тенденций, которые изменяют электронику // Технологии в электронной промышленности. 2011. - № 2. – С.12-15.
3. Ланин В.Л. Проблемы формирования микросварных соединений с повышенной плотностью монтажа // Компоненты и технологии. - 2014. - №1. – С. 47-49.
4. Ланин В., Петухов И., Царюк А. Сборка электронных модулей с поверхностным монтажом в мелкосерийном и опытным производстве // Технологии в электронной промышленности. 2011. - № 3. – С. 49-52.
5. Ланин В., Житников А. Повышение мобильности и качества сборки электронных модулей в многономенклатурном производстве // Технологии в электронной промышленности. 2015. - № 8. – С. 28-32.
6. Ланин В., Васильев А. Манипуляторы для поверхностного монтажа электронных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2015. - № 4. – С. 54-58.
7. Silin R, Royzman V, Strelbitsky V, (2007) "Theory and Practice of Vibroinsulation of Printed Circuit Boards on Fabric Hanger with Dry Friction Damper" 12th IFToMM World Congress, Besancon (France).
8. Стрельбицкий В. В. Надежность слаботочных реле при работе на авиационном транспорте / В.В. Стрельбицкий // Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” МНТК ВОТТП 13–2014. – 2014. – С. 242.
9. Стрельбицкий В.В. Некоторые результаты исследования демпфирующей способности рамы блока транспортируемой РЭА / В.В. Стрельбицкий // Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (ВОТТП-14-2015): сб. наук. пр. – Одеса, 5-10 червня 2015 р. – С.182-184.
10. Стрельбицкий В. В. Дослідження монтажних напружень у паяних конструкціях мікросбірок / В.В. Стрельбицкий // Вісник Хмельницького національного університету, серія Технічні науки. – 2012. - №2. – С. 42-45.

11. Стрельбицкий В. В. Влияние дефектов крепления блока электронной аппаратуры на вибронпряженность печатных плат / В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012 – № 2 – С.82-85.
12. Стрельбицкий В.В., Зиньковский А.П. Способы снижения вибронпряженности об'єднаних друкованих плат у блоках радіоелектронної апаратури / В.В. Стрельбицкий, А.П. Зиньковский // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2006. - Вип. 40. - С. 238-241.
13. Стрельбицкий В.В., Ройзман В.П. Исследование деформаций контактных узлов плат микромодулей, вызванные изгибом платы функционального узла / В.В. Стрельбицкий, В.П. Ройзман // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2004. - № 2 – С. 216 - 219.
14. Ройзман В.П., Стрельбицкий В.В. Вибрации объединительных плат, расположенных в электронных приборах / В.В. Стрельбицкий, В.П. Ройзман // Вибрации в технике и технологиях. – 2005. - № 1. – С. 31-36.
15. Rojzman V., Strelbitsky V. Influence of Deformations in Printed Circuit Boards on the Efficiency of Electronic Components Installed on them // *Mechanika 2005. Konferencijos programa.* – Kaunas, 2005. – p. 12.
16. Стрельбицкий В.В., Ройзман В.П. Методы защиты контактных узлов и электронных компонентов от механических воздействий со стороны их оснований / В.В. Стрельбицкий, В.П. Ройзман // Тр. 6 Научно-практ. конф. “Современные информационные и электронные технологии”. – Одесса. – 2005. – С. 256.
17. Стрельбицкий В.В., Зиньковский А.П. Влияние корпуса блока радиоэлектронной аппаратуры на возбудимость объединительных плат / В.В. Стрельбицкий, А.П. Зиньковский // Вісник Хмельницького національного університету. Сер. техн. наук. – 2006. – № 5. – С. 144-147.
18. Стрельбицкий В.В., Ройзман В.П. Изгиб объединительных плат и его влияние на деформирование контактных узлов // Тр. 7 Научно-практ. конф. “Современные информационные и электронные технологии”. – Одесса. – 2006. – С. 62.
19. IPC-A-610D. Критерии качества электронных сборок. www.ipc.org.

References

1. Medvedev A., Mylov G. Budushhee tehnologij jelektricheskikh mezhsoedinenij v jelektronnom priborostroenii // *Tehnologii v jelektronnom priborostroenii.* - 2012. - № 6. – S.8-12.
2. Nisan A. Vosem' tendencij, kotorye izmenjat jelektroniku // *Tehnologii v jelektronnoj promyshlennosti.* 2011. - № 2. – S.12-15.
3. Lanin V.L. Problemy formirovanija mikrosvarnyh soedinenij s povyshennoj plotnost'ju montazha // *Komponenty i tehnologii.* - 2014. - №1. – S. 47-49.
4. Lanin V., Petuhov I., Carjuk A. Sborka jelektronnyh modulej s poverhnostnym montazhom v melkoserijnom i opytном proizvodstve // *Tehnologii v jelektronnoj promyshlennosti.* 2011. - № 3. – S. 49-52.
5. Lanin V., Zhitnikov A. Povyshenie mobil'nosti i kachestva sborki jelektronnyh modulej v mnogonomenklaturnom proizvodstve // *Tehnologii v jelektronnoj promyshlennosti.* 2015. - № 8. – S. 28-32.
6. Lanin V., Vasil'ev A. Manipuljatory dlja poverhnostnogo montazha jelektronnyh modulej // *Tehnologii v jelektronnoj promyshlennosti.* 2015. - № 4. – S. 54-58.
7. Silin R, Rojzman V, Strelbitsky V, (2007) "Theory and Practice of Vibroinsulation of Printed Circuit Boards on Fabric Hanger with Dry Friction Damper" 12th IFToMM World Congress, Besancon (France).
8. Strel'bickij V. V. Nadezhnost' slabotochnyh rele pri rabote na aviacionnom transporte / V.V. Strel'bickij // *Materiali XIII mizhnarodnoї naukovо-praktichnoї konferencії “Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah” MNTK VOTTP 13–2014.* – 2014. – S. 242.
9. Strel'bickij V.V. Nekotorye rezul'taty issledovanija demp'firujushhej sposobnosti ramy bloka transportiruemoj RJeA / V.V. Strel'bickij // *Materiali XIV mizhnarodnoї naukovо-praktichnoї konferencії “Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah” (VOTTP-14-2015): sb. nauk. pr.* – Odesa, 5-10 chervnja 2015 r. – S.182-184.
10. Strel'bickij V. V. Doslidzhennja montazhnyh napruzen' u pajanih konstrukcijah mikrozbirk / V.V. Strel'bickij // *Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu, serija Tehnichni nauki.* – 2012. - №2. – S. 42-45.
11. Strel'bickij V. V. Vlijanie defektov krepnenija bloka jelektronnoj aпаратуры na vibronapryazhennost' печатных плат / V.V. Strel'bickij // *Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah.* – 2012 – № 2 – S.82-85.
12. Strel'bickij V.V., Zin'kovskij A.P. Sposobi znizhennja vibronapruzhennosti ob'єdnavchih drukovanih плат u blokah radioelektronnoj апаратури / V.V. Strel'bickij, A.P. Zin'kovskij // *Avtomatizacija virobничих процесів u mashinobuduvanni ta priladobuduvanni.* - L'viv : Vid-vo Nac. un-tu "L'viv. politehnika", 2006. - Vip. 40. - S. 238-241.
13. Strel'bickij V.V., Rojzman V.P. Issledovanie deformacij kontaktnyh uzlov плат mikromodulej, vyzvannye izgibom платы funkcional'nogo uzla / V.V. Strel'bickij, V.P. Rojzman // *Problemy legkoj i tekstil'noj promyshlennosti Ukrainy.* – 2004. - № 2 – S. 216 - 219.
14. Rojzman V.P., Strel'bickij V.V. Vibracii ob'єdinitel'nyh плат, raspolozhennyh v jelektronnyh priborah / V.V. Strel'bickij, V.P. Rojzman // *Vibracii v tehnikе i tehnologijah.* – 2005. - № 1. – S. 31-36.
15. Rojzman V., Strelbitsky V. Influence of Deformations in Printed Circuit Boards on the Efficiency of Electronic Components Installed on them // *Mechanika 2005. Konferencijos programa.* – Kaunas, 2005. – p. 12.
16. Strel'bickij V.V., Rojzman V.P. Metody zashhity kontaktnyh uzlov i jelektronnyh komponentov ot mehanicheskikh vozdejstvij so storony ih osnovanij / V.V. Strel'bickij, V.P. Rojzman // Тр. 6 Научно-практ. конф. “Sovremennye informacionnye i jelektronnye tehnologii”. – Odessa. – 2005. – S. 256.
17. Strel'bickij V.V., Zin'kovskij A.P. Vlijanie korpusa bloka radioelektronnoj апаратуры na vozбудimost' ob'єdinitel'nyh плат / V.V. Strel'bickij, A.P. Zin'kovskij // *Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Ser. tehn. nauk.* – 2006. – № 5. – S. 144-147.
18. Strel'bickij V.V., Rojzman V.P. Izgib ob'єdinitel'nyh плат i ego vlijanie na deformirovanie kontaktnyh uzlov // Тр. 7 Научно-практ. конф. “Sovremennye informacionnye i jelektronnye tehnologii”. – Odessa. – 2006. – S. 62.
19. IPC-A-610D. Kriterii kachestva jelektronnyh sbork. www.ipc.org.

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ КІЛ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

В роботі запропоновано мікропроцесорний пристрій для реалізації системи діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів на основі моделі обробки сигналів із застосування логіко-часових функцій. Здійснено синтез апаратного забезпечення, необхідного для побудови системи діагностування, та розроблено алгоритм роботи пристрою.

Ключові слова: мікропроцесор, гальмівні кола, частотно-керований асинхронний електропривод, логіко-часові функції.

A.A. BARTETSKYY

Vinnytsia National Technical University

MICROPROCESSOR DEVICE DIAGNOSTICS BRAKING CIRCUITS OF FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

Abstract – The aim is to improve the reliability of the frequency-controlled asynchronous electric drive by creating microprocessor diagnosing brake circuits frequency-controlled asynchronous electric model-based signal processing with application logic-time functions.

To implement the system diagnostics worked out a scheme tract measuring parameters required brake range also developed a block diagram block diagnosing brake circuits frequency-controlled asynchronous electric drives, and the algorithm of the microprocessor.

The proposed algorithm is easy to implement on any microprocessor manufacturers and microprocessor unit diagnosing brake circuits frequency-controlled asynchronous electric easily integrated into the overall system of diagnosis frequency converter.

Keywords: microprocessor, brake circles, frequency-controlled asynchronous electric drive, logical and timing functions.

Постановка проблеми

Широке використання регульованих електроприводів призвело до того, що сучасний електропривод є не тільки енергосиловою основою, що дозволяє забезпечити виробничі механізми необхідною механічною енергією, але і засобом управління технологічними процесами, так як завдання по реалізації якості виробничих процесів в даний час в більшості випадків покладаються на системи управління регульованими електроприводами в поєднанні з системами технологічної автоматики. У зв'язку зі зростанням цін на енергоносії, зокрема на електроенергію, і обмеженими можливостями збільшення потужності енергогенеруючих установок проблема енергозбереження, в тому числі зниження енергоспоживання, в поєднанні зі зростаючими вимогами до якості виробничих процесів, а також необхідність використання високих технологій обумовлюють застосування сучасних частотно-керованих асинхронних електроприводів в промислове виробництво [1]. Технологічні процеси, які передбачають гальмування електропривода, створюють необхідність комплектації частотно-керованого асинхронного електропривода системою гальмування з віддачею енергії на гальмівний резистор. Переважно це відноситься до електроприводів підйомно-транспортних механізмів [2], приводів міського електротранспорту [3], електроприводів які використовуються у нафтогазовій промисловості [4], важкій металургії, і т.п.

В результаті широкого застосування частотно-керованих асинхронних електроприводів з гальмівним колом зі скидом енергії на гальмівний резистор та зростаючою тенденцією розширення їх застосування, є необхідність створення пристроїв діагностування гальмівних частотно-керованих асинхронних електроприводів. Адже передчасний вихід з ладу гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода може призвести до простою виробництва, що понесе збитки для підприємства, погіршення якості продукції, пошкодження технологічного обладнання, а також може нести загрозу життю та здоров'ю робочому персоналу або пасажиром, якщо мова йде про електротранспорт.

Аналіз попередніх досліджень

Для прийняття ефективних рішень з оперативного управління виробничими процесами технічної експлуатації об'єкта виникає необхідність у використанні достовірної інформації про технічний стан кожного елемента електропривода. Основними джерелами цієї інформації є технічний контроль та інструментальне діагностування як метод отримання інформації про рівень працездатності електропривода в цілому.

У способі діагностування пошкоджень частотно-регульованого асинхронного двигуна [5] розглядається діагностика на несправність обмоток самого двигуна за допомогою багатофазної 50% симетричної широтно-імпульсної модуляції, а діагностування вузлів частотного перетворювача не розглядається, що в свою чергу не дає повної картини про стан частотного електропривода та окремих його вузлів. Пристрій діагностування технічного стану електромеханічних систем [6], дає можливість виявляти перевантаження двигуна, обрив фази на виводах обмотки статора, міжфазне коротке замикання обмотки статора, режим неправильного центрування вала двигуна, режим порушення вентиляції, а також підвищення і пониження напруги живлення двигуна. У даному пристрої діагностування силових напівпровідникових перетворювачів та їх вузлів непередбачено, що робить його непридатним для діагностування гальмівних кіл

частотно-керованих асинхронних електроприводів. Відомий спосіб діагностування перетворювача частоти, який пропонує виробник [7], передбачає діагностування безпосередньо перед пуском в робочий стан, причому діагностичний висновок виводиться у вигляді повідомлення для кожного транзистора на наявність короткого замикання, відкриття його чи закриття. Таку функцію підтримують перетворювачі окремої серії. Недоліком вже влаштованої опції є те, що не можливо визначити чи спрогнозувати несправність в робочому стані. Виробники інших фірм [8,9] передбачають діагностування для своїх серій перетворювачів частоти лише індикацією на справний чи несправний стан, та перевантаження по струму. Метод діагностування силових модулів частотного електропривода, що розглядається в роботі [10], базується на оцінюванні відповідності струму силового кола до зусилля в електромеханічній системі під час гальмування, однак взято до уваги варіант, коли розсіювання енергії гальмування здійснюється на самих модулях та електродвигуні, що доцільно лише для приводів з малими значеннями потужності, часу гальмування та невеликим моментом інерції. Відомий спосіб визначення роботоздатності силового транзисторного модуля, в тому числі і кола гальмування, що враховує значення абсолютної температури кристалу транзистора та перепаду температури на його радіаторі [11]. Даний спосіб не дозволяє оцінити поточний стан всього гальмівного кола, а також є малоефективним при визначенні роботоздатності модуля на коротких циклах гальмування.

Мета роботи

Метою роботи є підвищення надійності роботи частотно-керованого асинхронного електропривода шляхом створення мікропроцесорного пристрою діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів на основі моделі обробки сигналів із застосування логіко-часових функцій.

Матеріали досліджень

Враховуючи те, що архітектура мікропроцесорної системи традиційна [12-16], основну увагу треба зосередити на розробці алгоритмічного та програмного забезпечення.

В роботі [17] запропонована математична модель системи діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів із застосуванням логіко-часових функцій (ЛЧФ) та описано принцип, за яким формується таблиця зразкових станів гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода (таблиця 1).

Таблиця 1

Стани гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів

Стани	Діагностичні ознаки гальмівного кола				
	ΔU_C	U_{vs0}	I_g	T°_r	T°_{vs0}
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Q_0	1	1	1	1	1
Q_1	1	0	1	1	0
Q_2	0	1	0	1	1
Q_3	0	0	1	1	0
Q_4	0	0	0	1	1

У таблиці 1:

- Q_0 – справний стан;
- Q_1 – справний стан, з перегрівом силового модуля;
- Q_2 – несправний гальмівний резистор;
- Q_3 – критичний стан;
- Q_4 – несправний стан.

У відповідності до таблиці 1 формуються зразкові ЛЧФ, і в результаті почергового додавання за модулем два, двох ЛЧФ зі сформованих та вимірних сигналів, що являються діагностичними ознаками поточного стану гальмівного кола, отримуємо результуючі ЛЧФ. З яких за діагностичний висновок приймається ЛЧФ, що має найменший відрізок існування.

Для реалізації такої системи діагностування схема вимірювального тракту необхідних параметрів гальмівного кола, матиме вигляд, наведений на рис. 1.

Структурна схема блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти зображена на рис. 2.

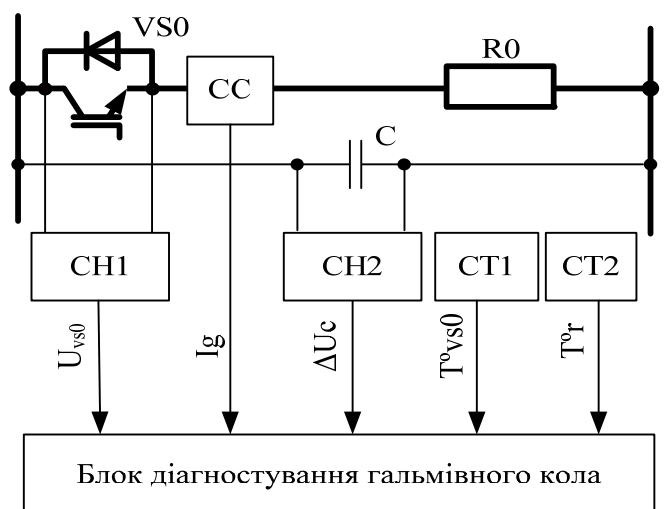


Рис. 1. Схема вимірювального тракту системи діагностування гальмівного кола: CC – сенсор струму гальмівного кола; CH1, CH2 – сенсори напруги; CT1, CT2 – сенсори температури

На схемі: C1-C5 – сенсори параметрів діагностичних ознак; MCU – мікроконтролер; ПРС – перетворювач рівня сигналів; БІ – блок індикації, БПГ – блок початку гальмування.

Сенсори C1-C5 підключені до входів внутрішнього комутатора, вихід якого підключений до входу внутрішнього АЦП. Сенсори призначені для безпосереднього вимірювання параметрів діагностичних ознак стану гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода. Блок початку гальмування формує сигнал про початок гальмування електропривода, який подається на вхід зовнішнього переривання. Блок ПРС призначений для перетворення рівня сигналів із внутрішнього передавача UART у будь-який інший протокол послідовних інтерфейсів, з метою з'єднання пристрою діагностування із системами вищого рівня обробки інформації та інтеграції у системи автоматизації. БІ призначений для індикації результату діагностування безпосередньо біля пристрою діагностування.

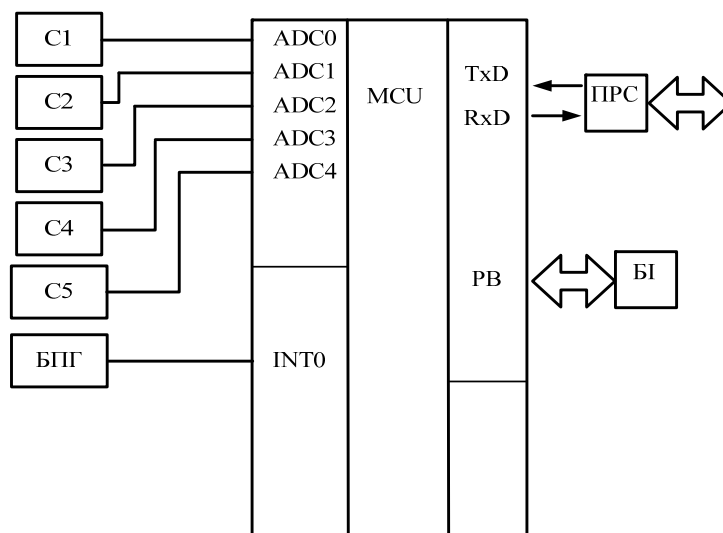


Рис. 2 – Структурна схема блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти

Із сигналів, отриманих при вимірюваннях, формуємо поточний стан гальмівного кола, відповідно наведеній у роботі [17] таблиці станів гальмівного кола. В результаті ми отримуємо сигнал логічної одиниці "1", якщо вимірне значення знаходиться в діапазоні значень при справній роботі, або сигнал логічного нуля "0", коли виходимо за межі цього діапазону значень.

Із сигналів, отриманих при вимірюваннях, формуємо поточний стан гальмівного кола, відповідно наведеній у роботі [17] таблиці станів гальмівного кола. В результаті ми отримуємо сигнал логічної одиниці "1", якщо вимірне значення знаходиться в діапазоні значень при справній роботі, або сигнал логічного нуля "0", коли виходимо за межі цього діапазону значень.

Блок діагностування гальмівних кіл перетворювача частоти побудований на основі мікроконтролера, наприклад, фірми ATMEL, модель Atmega16.[18]

Працює блок діагностування гальмівного кола так. Мікроконтролер підключає до входу АЦП відповідний канал, вимірює значення певного параметра. Після вимірювання відбувається перевірка вимірюваного параметра чи попадає він в діапазон допустимих значень. Аналогічним чином відбувається вимірювання і обробка параметрів з усіх інших сенсорів. В результаті проведених вимірювань формується логіко-часова функція поточного стану гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода. Програмним шляхом проводиться почергове додавання за модулем два зразкових логіко-часових функцій, які зберігаються у постійній пам'яті мікроконтролера, із логіко-часовою функцією поточного стану гальмівного кола. Із отриманих ЛЧФ вибирається та, яка має найменший період існування. Це свідчить про те, що гальмівне коло знаходиться або в робочому стані, або в станах які характеризують наближення до визначених режимів несправностей.

Отриманий результат відправляється по послідовному інтерфейсу в систему автоматизації вищого рівня та виводиться на пристрій індикації.

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів представлено на рис. 3.

Спочатку відбувається ініціалізація мікроконтролера, налаштування регістрів, портів введення-виведення інформації. У випадку якщо мікроконтролер отримав сигнал із блока початку гальмування, у блоках 4-14 відбувається зчитування сигналів із сенсорів та формування логіко-часової функції поточного стану гальмівного кола. Далі у блоках 15-25 проводиться додавання за модулем два логіко-часової функції поточного стану гальмівного кола зі зразковими, які зберігаються у постійній пам'яті мікроконтролера. У блоках 26-32 здійснюється вибір ЛЧФ з найменшим періодом існування. У блоках 33-39 здійснюється визначення належності отриманої ЛЧФ до відповідного зразкового стану гальмівного кола. Отриманий результат передається на пристрій індикації та UART передавач у блоці 40.

Висновки

Запропоновано мікропроцесорний пристрій для реалізації системи діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів. Здійснено синтез апаратного та програмного забезпечення, необхідного для побудови системи діагностування. Запропонований алгоритм легко реалізується на мікропроцесорах будь-яких виробників, а мікропроцесорний пристрій діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів, легко інтегрується у загальну систему діагностування перетворювача частоти.

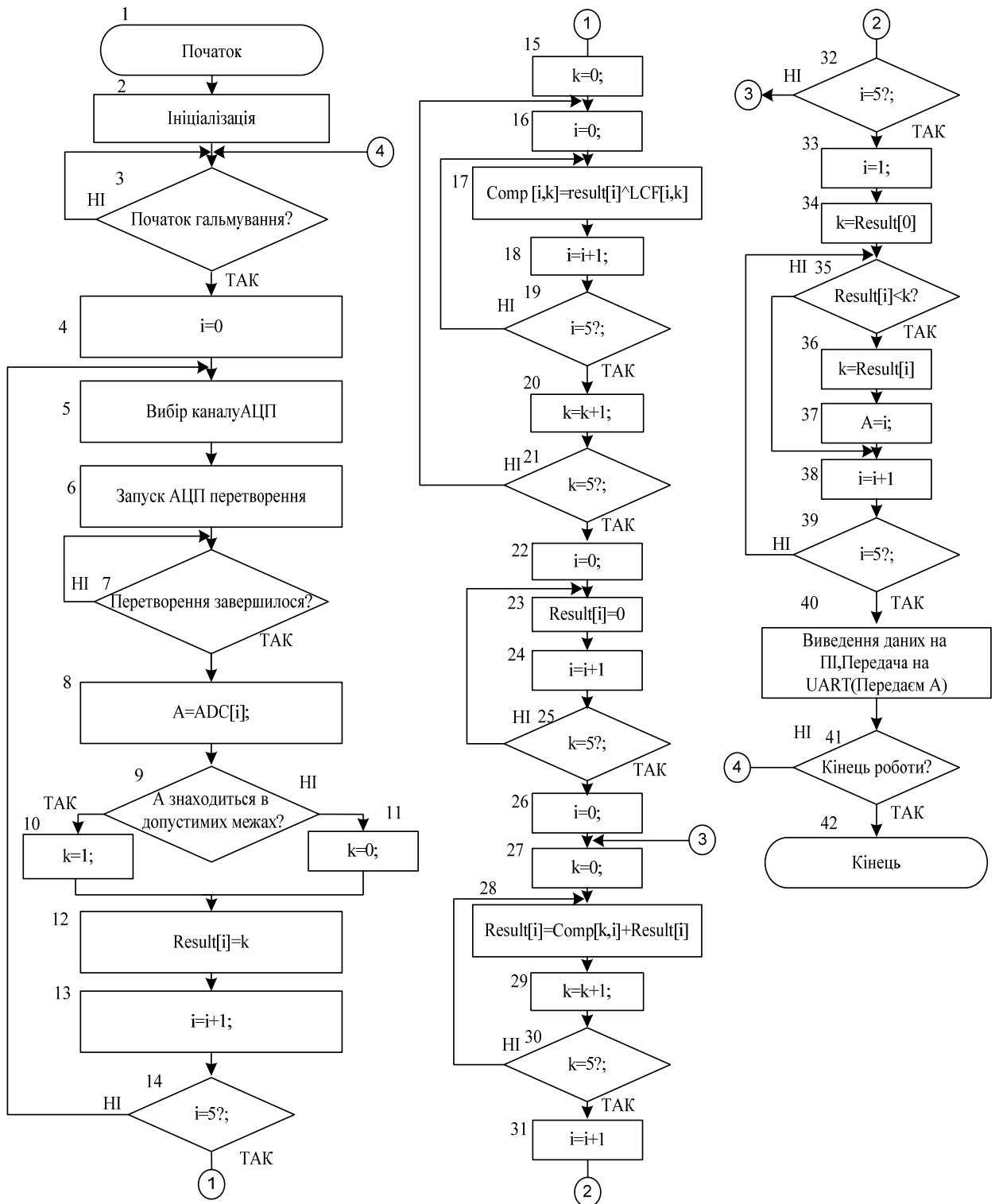


Рис. 3. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування гальмівних кіл частотно-керованих асинхронних електроприводів

Література

1. Колпаков А.И. Перспективы развития электропривода /Силовая электроника №1 2004, С 46-48.
2. Тетяев Е.Частотно-регулируемый электропривод подъемно-транспортных механизмов / Тетяев Е., Волегов А., Таран А.– Силовая Электроника. №4(2007), С. 41-42
3. Хворост М.В. Тяговый асинхронный электропривод для мiського електротранспорту/ Хворост М.В., Шпіка М.І., Бесараб А.І. – Энергосбережение №3(97)2012, С. 7-10.
4. Хакимьянов М.И. Анализ использования частотно-регулируемого электропривода в нефтегазовой промышленности по результатам патентного поиска/ Хакимьянов М.И., Гузев Б.В., – Нефтегазовое дело, №3, 2011, С 30-41
5. Пат. РФ, МПК G01R 31/34, Способ диагностирования поврежденных частотноре-гулируемого

- асинхронного двигателя/ Рожков В.И., Попов Е.А., Верещагин Г.А., –№2373548, бюл№32, 20.11.2009
6. Пат.РФ,МПК G01R31/34, Устройство диагностирования технического состояния электромеханических систем / Шпрекхер Дмитрий Маркович, Степанов Владимир Михайлович, Бабокин Геннадий Иванович, –№2014114354/28, Бюл.№23,20.08.2014
 7. Altivar 71. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей. Руководство по программированию./Schneider Electric, Telemecanique. — 12 / 2005. — 262 с.
 8. FR-D700 Преобразователи частоты Руководство по программированию/Mitsubishi Electric 08.12.2008–280 с.
 9. MICROMASTER 440 Преобразователи частоты Руководство по программированию 12/2011 –140 с.
 10. Pat. EP 1752351 A1 EU, B 60 T 13/74 Electric brake and electric brake control apparatus / Hitachi ltd (Japan). – № 20070035178; application 09.08.2006; publ. 14.02.2007.
 11. Колпаков А. И. Методы оценки надежности силовых модулей IGBT SEMIKRON в предельных режимах / А. И. Колпаков –Силовая электроника – №1(2004).-с.40-45.
 12. Агунов М.В. Микропроцессоры в вопросах ответа// Учебное пособие. Тольятти, ТоПИ, 2000,82с
 13. Белов А.В. Создаем устройства на микроконтроллерах// Наука и техника, 2007, 304с.
 14. Бойко В.И. Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры./ Бойко В.И., Гуржий А.Н., Жуйков В.Я., Зори А.А., Спивак В.М., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С.,– БВХ Петербург, 2004,–464с.
 15. Васильев А.Е., Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений/ БВХ Петербург,2008, –304с.
 16. Антошина И.В. Микропроцессоры и микропроцессорные системы/ Антошина И.В., Котов Ю.Т. Микропроцессоры Москва 2005, 432с
 17. Грабко В. В. Застосування логіко-часових функцій у задачі діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керуваних асинхронних електроприводів / В. В. Грабко, С. М. Левицький, А. А. Бартецький– Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – №1(2016). – С.25 – 31.
 18. Atmega16 Technical Reference Manual – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>

References

1. Kolpakov A. I. Perspektivy Razvitiia Elektroprivoda/ Silovaiia Elektronika №1 2004, p 46-48. [in Russian]
2. Tetiaev E., Volegov A., Taran A., Chastotno-reguliruemyi elektroprivod podieemno-transportnykh mekhanizmov. Elektronika. №4(2007), p. 41-42 . [in Russian]
3. Khvorost M. V., Shpika M.I, Besarab A.I., Asynkhronnyy elektroprivod dlya miskogo elektrottransportu/ Energoberezhenie №3(97)2012, p. 7-10.
4. Khakimianov M. I., Guzeev B. V., analiz ispolzovaniia chastotno-reguliruemogo elektroprivoda v neftegazovoi promyshlennosti po rezul'tatam patentnogo poiska/ Neftegazovoe Delo, №3, 2011, p 30-41. [in Russian]
5. Pat RF MPK G01R 31 34 sposob diagnostirovaniia povrezhdenii chastotnore-guliruemogo asinkhronnogo dvigatel'ia/ Rozhkov V. I., Popov E. A., Vereshchagin G. A., 2373548 Biul 32 20 11 2009 [in Russian]
6. Pat RF MPK G01R31 34 Ustroistvo diagnostirovaniia tekhnicheskogo sostoianiia elektromekhanicheskikh sistem/ Shprekher D. M., Stepanov V. M., Babokin G. I.,2014114354 28 Biul 23 20 08 2014. [in Russian]
7. Altivar 71 Preobrazovateli chastoty dlia asinkhronnykh dvigatelei rukovodstvo po programmirovaniiu/ Schneider Electric Telemecanique — 12 / 2005. — 262 s. [in Russian]
8. FR-D700 Preobrazovateli chastoty rukovodstvo po programmirovaniiu /Mitsubishi Electric 08.12.2008–280 s. [in Russian]
9. MICROMASTER Preobrazovateli chastoty rukovodstvo po programmirovaniiu 12/2011 –140 c. [in Russian]
10. Pat. EP 1752351 A1 EU, B 60 T 13/74 Electric brake and electric brake control apparatus / Hitachi ltd (Japan). – № 20070035178; application 09.08.2006; publ. 14.02.2007.
11. Kolpakov A. I., Metody otsenki nadezhnosti silovykh modulei igbt semikron v predelnykh rezhimakh Silovaiia Elektronika – №1(2004).-p.40-45. [in Russian]
12. Agunov M. V., Mikroprotsessory v voprosakh otvetakh uchebnoe posobie/ Toliatti– ToPI 2000 –82p. [in Russian]
13. Belov A. V., Sozdaem ustroistva na mikrokontrollerakh/ Nauka I Tekhnika 2007– 304s [in Russian]
14. Boiko V. I., Gurzhi A. N., Zhuikov V. Ia., Zori A. A., Spivak V. M., Tereshchenko T. A., Petergeria Iu. S., Skhemotekhnika elektronnykh sistem. Mikroprotsessory i mikrokontrollery / Peterburg 2004– 464p. [in Russian]
15. Vasilev A. E., Mikrokontrollery.Razrabotka vstraivaemykh prilozhenii/ BVKH Peterburg 2008 –P304. [in Russian]
16. Antoshina I. V., Kotov Iu. T., Mikroprotsessory i mikroprotsessornye sistemy/ Mikroprotsessory Moskva 2005 –432p. [in Russian]
17. V. V. Hrabko, S. M. Levytskyi, A. A. Bartetskyi Zastosuvannia lohiko-chasovykh funktsii u zadachi diahnostuvannia halmivnykh kil peretvoriuvachiv chastotno-kerovanykh asynkhronnykh elektroprivodiv / Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy. – №1(2016). – С.25 – 31. [in Ukrainian]
18. Atmega16 Technical Reference Manual – [Elektroni resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>

Рецензія/Peer review : 24.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 5.7.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ИССЛЕДОВАНИЕ И ЗАЩИТА МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Освоение морских слоев месторождения нефти в морском дне обуславливается с многими трудностями. Монтаж вышек бурения нефтяных скважин, установление вышек для эксплуатации и ремонта, монтаж фантанных арматур ит.д. требует обосновать первоначально опор от дна моря до его поверхности. Тяжелые погодные условия требует, чтобы эти опоры были долговечными, стойкими и антикоррозионными. В данной статье предлагаются методы обработки металлических опор, позволяющие увеличить их антикоррозийность.

Ключевые слова: опоры металлические коррозия, диссоциация, пульт управления, преобразовательная станция.

AYNUR SHIRINOVA, ULVIYYA HASANOVA, IRADA DJAMALKHANOVA
Sumqayit State University, Azerbaijan

SEA CONSTRUCTIONS RESEARCH AND PROTECTION FROM CORROSION

The study of oilfield marine layers is determined by great amounts of difficulties, towers installation, oil bore drillings, tower settings for repair and exploitations, assembly of fountain armatures and etc. demands first of all to set up pillars from sea bottom till its surface. Hard weather conditions, storms, snowfall, standing windy conditions require durable, firm and anticorrosive pillars. After long-term research's engineers decided to substantiate a metallic construction for such pillars. The mechanism of metals sea corrosion is electrochemical, mostly with oxygen depolarization. The point of that article is about acceptable methods of metal pillars refinement that will make them more anticorrosion and serve in sea bottom for decades.

Key words: base of metallic construction, dissociation, control point, transformation station

Введение

Широкий размах развития нефтедобычи из морских месторождений требует основательно заняться антикоррозией морских металлических сооружений, металлических опор и других металлических конструкций [1, 2]. Морская вода является нейтральной с высокой электропроводностью в виду наличия в ней солей с большим содержанием хлоридов, которое оказывает декассивирующее действие.

Механизм морской коррозии металлов электрохимической, преимущественно с кислородной деполяризацией. На скорость морской коррозии оказывают влияние состав морской воды, ее температура и скорость движения, механические факторы: аэрирование, хавитация, так же контакт разнородных металлов, биологически обрастание подводной части металлических сооружений морскими растительными и животными организмами. При этом общая концентрация солей в морской воде, а также йод и бром играют не маловажную роль, как катодных деполяризаторов, при ускорении процесса коррозии. Ионы хлора является сильным декассиватором, и ускоряют анодный процесс коррозии металлов. Сероводород подкисляет морскую воду и связывает ионы металлов в труднорастворимые сульфиды, облегчая протекание анодного и катодного электродных процессов электрохимической коррозии. При прохождении электрического тока через подводную часть трубы конструкции возникают их электрокоррозия.

Методы защиты от коррозии

Наиболее приемлемым методом защиты от коррозии в морской воде является погружение металлов в расплавленные соли. В результате взаимодействия между ними возникает разность электрических потенциалов, т.е. электродные потенциалы в расплавленных солях. Потенциалы от анионов расплава отличаются от электродных потенциалов в водных растворах по величине и расположению в электрохимическом ряду напряжений. Электродные потенциалы подчиняются термодинамическому уравнению [3,4].

Для металлов в расплавленных солях устанавливается необратимый электродный потенциал. Коррозия металлов в расплавленных солях устанавливает необратимый или стационарный электродный потенциал. Этот процесс является электрохимической и состоит из двух сопряженных электродных процессов: анодного (окисление металлов), катодного, (ассимиляция электронов деполяризатором).

Самопроизвольное протекание коррозионного процесса в расплавах приводит к уменьшению изобарно-изотермического потенциала реагирующей системы. Электрохимическое растворение металлов в расплавах хлористых солей идет в основном на анодных участках границ зерен, а центральные части зерен являются микроатомами.

В расплавленных солях при высоких температурах углеродистые стали, помимо их коррозионного растворения, подвергаются обезуглетиванию кислородом воздуха и влаги. На скорость коррозии в расплавленных солях очень сильно влияет вид соли, кислород и различные добавки. Расплавы сульфатов агрессивнее расплавы хлоридов, так как сульфат-ион является катодным деполяризатором. Пропускание через расплав соли кислорода, воздуха и водяного пара приводит к увеличению скорости коррозии, так как облегчается катодный процесс. Коррозию сталей в расплавленных солях снижается с помощью добавки некоторых веществ, например, графит, активированный уголь, бура и некоторые другие восстановители,

которые положительно влияют на уменьшение окислительной способности расплавов.

Для защиты металлов от коррозии в расплавленных солях, в основном, используются следующие способы:

1. Метод применение менее агрессивных расплавов.
2. Снижение содержания в расплавах вредных примесей
3. Максимальное снижение скоростей конвективных потоков
4. Электрохимическая катодная защита

Предложенный метод защиты

Здесь мы предлагаем способ защиты подводных сооружений, основанный на электрохимической катодной защите, поскольку он является легко реализуемой и наиболее эффективный с практической точки зрения. Такая защита включает в себя и пассивную защиту, в виде защитных покрытий сооружений, и активную, т.е. электрохимическую, защиту с применением ингибиторов коррозии и обработки почвы.

К примеру можно привести следующие схемы: защитное покрытие + катодная защита; защитное покрытие + катодная защита + обработка грунта.

Снижение электросопротивления покрытия в процессе эксплуатации подводных сооружений приведено на рис.1. Качественную оценку состояния изоляционного покрытия можно производить по величине его электрического сопротивления (см. табл.1).

К способам активной защите металлов от коррозии относится электрохимическая защита, осуществляемая принудительной поляризацией. Электрохимическую защиту подразделяют на электродренажную, протекторную, катодную и анодную.

Катодная защита это способ защиты сооружений принудительной катодной поляризацией с помощью внешнего источника постоянного тока (рис.2)

Таблица 1

Качество изоляции	Удельное электрическое сопротивление, Ом.м
Отличное	10000
Хорошее	10000 ÷ 1000
Удовлетворительное	1000 ÷ 100
Плохое	100 ÷ 10
Очень плохое	10 ÷ 5
Совершенно разрушенное покрытие	5

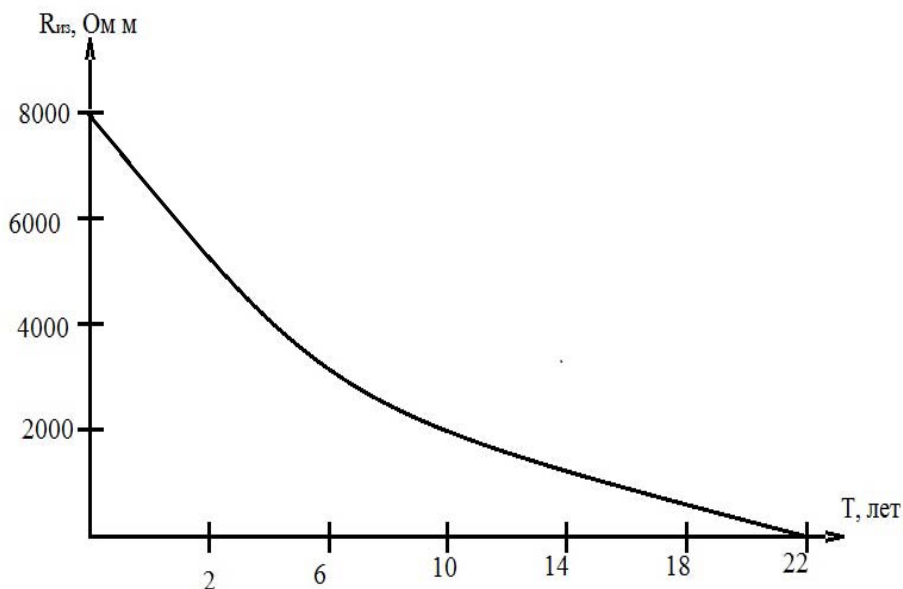


Рис 1. Уменьшение сопротивление покрытий в процессе эксплуатации

Катодная поляризация металлических опор должна осуществляться таким образом, чтобы стационарные потенциалы металла находились в пределах от (-0,85 до 1,15 В) по медно-сульфатному электроду сравнения.

Отрицательный полюс внешнего источника тока подключают к защищаемому сооружению, которое исполняет роль катода. Специальное анодное заземление подключается к положительному полюсу источника тока и вся установка работает по закону электролиза. При катодной защите внешним током на аноде из конструкционной стали (железа) идет процесс растворения, а на защищаемом изделии, которое поляризуется катодно, идет процесс либо восстановления водорода (кислая среда), либо ионизация

кислорода (щелочная среда). Происходит подавление анодного процесса, т.е. коррозия сооружения.

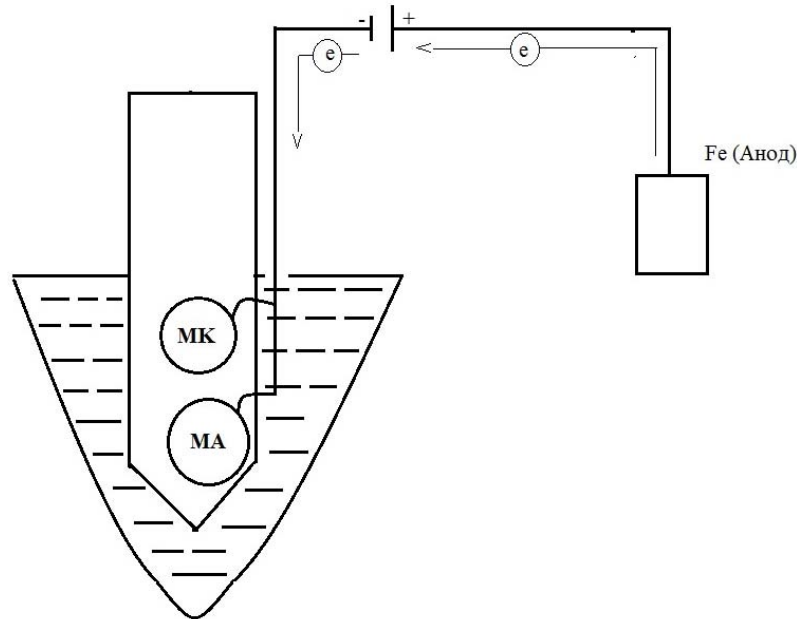


Рис. 2 Катодная защита

Катодная защита внешним током аналогична анодному и применяется для ликвидации анодных зон металлических опор. Она используется как правило, для предохранения подводных и подземных сооружений от почвенной коррозии, в ряде случаев для защиты от коррозии блуждающим током, когда применение электрического дренажа не целесообразно по технико-экономическим данным.

Катодные станции имеют плавную регулировку постоянного тока. Предполагаемая катодная станция имеет общую мощность для восьми металлических опор 0,360 кВт, работающая напряжением постоянного тока 10-24 В, силой тока от 5 до 12 А. В качестве анодов при катодной защите выбираются заземлители из черных металлов изношенные трубы толстостенные от бурения нефтяных скважин.

Структурная схема предлагаемой катодной станции дана на рис.3.

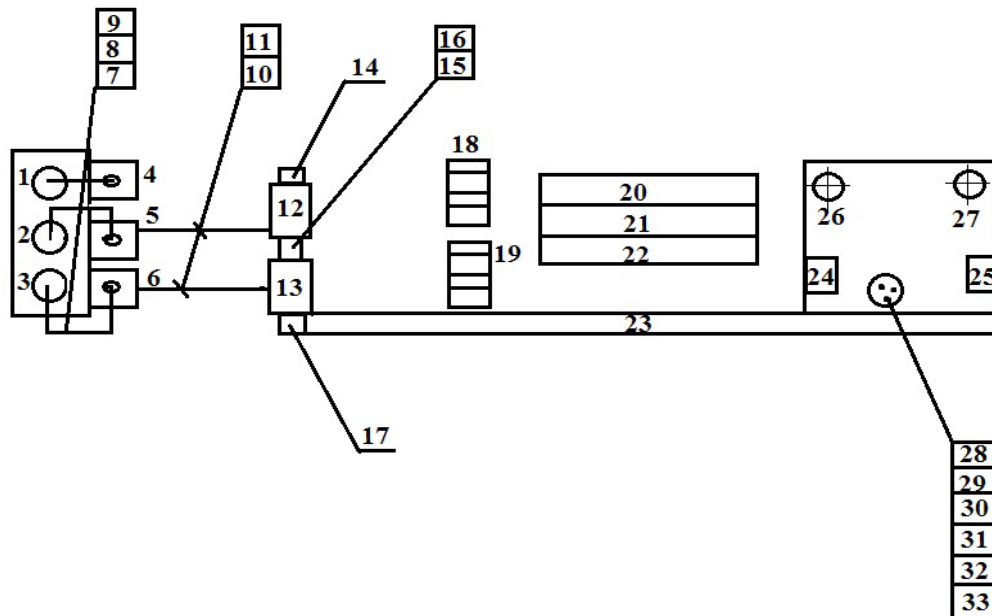


Рис.3 Структурная схема катодной станции мощностью 0,360 кВт

1, 2,3 - катод; 4, 5, 6 - выпрямительные установки; 7,8,9 -подводящие гибкие медные кабели, сечением 16 мм²; 10,11- гибкие медные кабели сечением 25 мм²; 12,13- силовые трансформаторы; 14,15,16- корректирующие дроссели; 18,19- фильтры; 20,21,22,23- электронные усилители; 24,25- выпрямительные установки; 26,27- сигнальные лампы; 28-33 розеточные разъемы, вилки, штепсельные соединения, подводящие кабели и т.д.

Отметим, что практическое применение предложенной катодной станции показало ее высокую эффективность. Так, ее применение предохраняет от коррозии металлических опор, сооруженными в морских водах «Каспийского моря» на участках «Нефтяные камни», остров Песчаный, Сангагал-Дуванны-

море, остров Хере-Зире, Багар, Булла и т.д. И в связи с этим удалось увеличить долготу службы металлических опор, и тем самым занижается себестоимость нефтепродуктов, добываемых из морских недр.

ВЫВОДЫ

Для защиты металлов подводных сооружений от коррозии в расплавленных солях предложена электрохимическая катодная защита. Такая защита включает в себя и пассивную защиту, в виде защитных покрытий сооружений и активную, т.е. электрохимическую защиту с применением ингибиторов коррозии и обработки почвы. В процессе исследования было выявлено, что качественную оценку состояния изоляционного покрытия можно производить по величине его электрического сопротивления. Предложена структурная схема новой катодной станции. Указано, что применение катодной защиты уменьшает коррозию металлических опор, сооруженных в морских водах Каспийского моря.

Литература

1. Варипаев, В.Н., Зайцева, Н.А. Электрохимическая коррозия и защита металлов. Ленинградский политехнический институт. – 1989. – 100 с.
2. Томатов, Н.Д., Чернова, Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. М. Металлургия. 1986. – 376 с.
3. Виноградов, С.Н., Мальцева, Г.Н., Перельгин, Ю.П. Изучение свойств растворов электролитов. Методическое пособие. Пенза: Издательство Пензенского Государственного Технического Университета. – 1994. – 24 с.
4. Виноградов, С.Н., Мальцева, Г.Н., Перельгин, Ю.П. Гальванические покрытия. Методическое пособие. Пенза: Издательство Пензенского Государственного Технического Университета. – 1994. – 24 с.

References

1. Varipaev, V.N., Zaytseva N.A. (1989). Elektroximicheskaya korrozziya i zashita metallov. Leningradskiy Politehniceskiy Institut. 100 pages.
2. Tomatov, N.D., Chernova Q.P. (1986). Teoriya korrozii i korroionnostoykiye konstrukcionnie splavi. Moskva, Metallurgiya. 376 pages.
3. Vinoqradov, S.N., Maltseva, Q.N., Pereligin, Y.P. (1994). Izuceniye svoystv rastvorov elektrolitov. Metodiceskoe posobie. Penza: Izdatelstvo Penzinskoqo Texniceskoqo Universiteta. 24 pages.
4. Vinoqradov, S.N., Maltseva, Q.N., Pereligin, Y.P. (1994). Qalvaniceskie pokritiye. Metodiceskoe posobie. Penza: Izdatelstvo PenzinskoqoTexniceskoqo Universiteta. 24 pages.

Рецензія/Peer review : 20.6.2016 р. Надрукована/Printed : 10.7.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЕЙЛЕРА ТА ЛАГРАНЖА В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ГІДРОДИНАМІКИ

Робота присвячена дослідженню обтікання лобової поверхні конфузорів типових конструкцій та опор мостових переходів. Встановлена доцільність гідравлічних розрахунків за методом Лагранжа з метою оптимізації форми їх лобової поверхні.

Ключові слова: в'язка рідини, лобовий опір, лагранжеві частинки, стиснення потоку, кут атаки, оптимізація.

O.B. SHADYBA

Sumy National Agrarian University

APPLICATION OF THE LAGRANGE AND EULER'S METHODS FOR HYDRODYNAMICS PROBLEMS

Annotation. The results shown in the present paper concern mainly water flow but may be used for the connection of the inside problem with the outside hydrodynamics problem. At the present time the main task of the proposed approach is to identify the contraction degree function correctly, defined only for the inside problem of hydroaerodynamics.

Keywords: viscous fluid drag, lagrangian particle stream compression, angle of attack, optimization.

Вступ

Порівняльний аналіз застосування класичних методів Ейлера та Лагранжа при чисельному вирішенні задач гідродинаміки був представлений ще на початку ери комп'ютеризації [1]. Автори при побудові розрахункових моделей рекомендують диференційований підхід, враховуючи особливості комплексу крайових умов і мети розрахунку, хоча зазвичай структура фізичних задач краще визначається в змінних Лагранжа. В той же час, незважаючи на природність та переваги цього методу, він не отримав належного розповсюдження і застосовується лише в окремих випадках, поступаючись підходу Ейлера [1-4].

В запропонованій роботі показано вирішення деяких практичних задач, що ілюструють можливості обох методів.

1. Постановка задачі

Зменшення гідравлічного опору руслових інженерних споруд має практичне значення як з точки зору надійності мостів в критичні повеневі періоди експлуатації при значному стисненні та великій швидкості річкового потоку, так і в екологічних процесах самоочищення водойм. Характер силової взаємодії потоку з наплавними чи стаціонарними опорами мостових переходів значною мірою залежить від форми їх лобової поверхні. На розподіл гідродинамічних характеристик в своєрідному конфузорі, який утворюється навколо лобової частини обтічних тіл впливають також геометричний параметр стиснення потоку $s=R^2/r^2$, коефіцієнт шорсткості змоченої поверхні, число Рейнольдса. В цьому прикладі ми обмежимося розглядом впливу лише геометричного параметру стиснення та форми лобової поверхні тіл форми при їх взаємодії з рівномірним турбулентним потоком в квадратичній області опору. Для спрощення задачі знехтуємо гідравлічними втратами на тертя. Як було показано в роботах [1, 4], тиск реальної в'язкої рідини, якою є вода, на лобову поверхню вісесиметричного конфузора перевищує тиск ідеальної рідини і це призводить до втрат енергії.

$$\Delta p S_2 = 2\pi \int_r^R f(r) r dr \quad (1)$$

де

$$f(r) = \frac{\rho V_f^2}{2} \int_1^s k^2 \sin^2 \alpha \cdot d(s^2) + f(R) \quad (2)$$

$f(r)$ - функція перевищення тиску потоку в'язкої рідини над ідеальною [4];

Δp - загальні втрати тиску в конфузорі;

$S_2 = \pi r^2$ - площа меншого перерізу конфузора;

r, R - відповідно радіуси меншого та більшого перерізів;

k - параметр, що враховує швидкість струменів відносно середньої швидкості потоку перед стисненням;

α - локальний кут атаки.

2. Виклад основного матеріалу

Слід звернути увагу, що з метою визначення функції $f(r)$ потік розглядається як сукупність елементарних струменів, тиск та швидкість в яких осереднені в часі (модель Рейнольдса-Буссинеска). В припущенні безвідривного обтікання характерною особливістю межових струменів є визначеність їх траєкторій формою лобової поверхні, яка утворює деякий локальний кут атаки з діючими на них імпульсами лагранжевих часток внутрішніх струменів потоку. На підставі закону збереження імпульсу дія внутрішніх струменів передається межовим таким же чином, як і при повороті їх самих на такий же кут. Інакше кажучи,

на лобовій поверхні зберігається певний розподіл надлишкової кінетичної та потенціальної енергії, отриманої лагранжевими частками межових струменів:

$$dE = dE \cos^2 \alpha + dE \sin^2 \alpha = \frac{\rho (k V_1)^2}{2} \cdot d(s^2) \quad (3)$$

Експериментальні дані підтверджують явище перевищення тиску в межовому струмені не тільки для конфузора, але й для зовнішнього обтікання лобової поверхні довільної форми [2-5], що в передній частині утворює своєрідний кільцевий конфузур (рис.1). Дійсно, якби такого перевищення не було, то обтікання перешкод відбувалося б без втрат енергії, що можливо лише для ідеальної рідини.

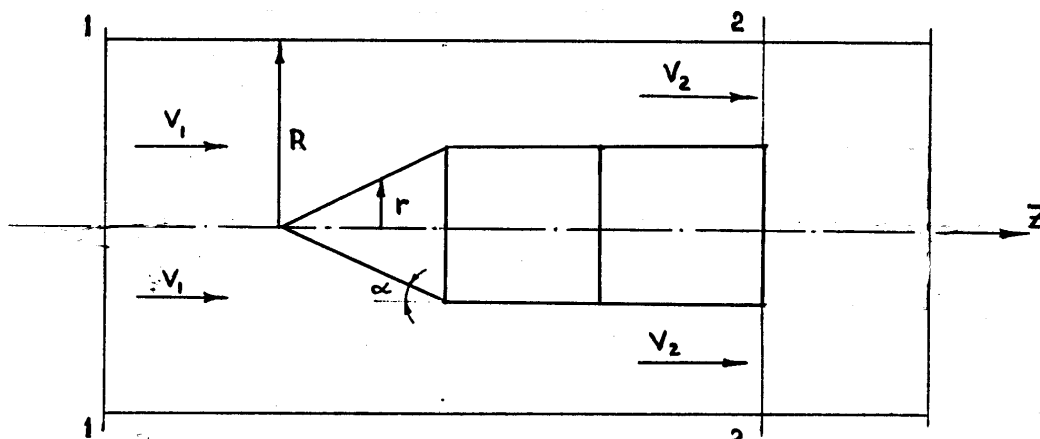


Рис. 1. Структура кільцевого конфузору

Очевидно, що кінетична імпульсна компонента надлишкової енергії матиме вигляд:

$$d\phi(r) = \frac{\rho (k V_1)^2}{2} \cos^2 \alpha d(s^2) \quad (4)$$

А надлишковий тиск в лагранжеві частинці межового струменя можна записати таким чином:

$$df(r) = \frac{\rho (k V_1)^2}{2} \sin^2 \alpha d(s^2) \quad (5)$$

В інтегральному вигляді розподіл надлишкового тиску на внутрішній поверхні конфузору буде:

$$f(r) = \frac{\rho V_1^2}{2} \int_1^s k^2 \sin^2 \alpha d(s^2) + f(R) \quad (6)$$

Тоді компонента опору форми лобової поверхні конфузору:

$$\Delta p S_2 = 2\pi \int_0^r \left[\frac{\rho V_1^2}{2} \int_1^s k^2 \sin^2 \alpha d(s^2) + f(R) \right] r dr \quad (7)$$

3. Експериментальні дані

Результати експериментальних досліджень також добре узгоджуються з залежністю функції перевищення тиску від квадрата синуса кута атаки [3-5]. Крім того, встановлено зростання вказаної функції уздовж обтічної поверхні. Це можна пояснити лише вказаним перерозподілом енергії поміж струменями при стисканні потоку, яке характеризується збільшенням енергії межових струменів з відповідним підвищенням в них тиску та зростанням швидкості. Процес відбувається за рахунок зменшення імпульсу внутрішніх струменів потоку, які не мають можливості безпосереднього контакту з поверхнею обтікання.

Таблиця 1

Вплив кута атаки та ступеню стиснення потоку n на лобовий опір вісесиметричного тіла, розташованого з утворенням кільцевого конфузора

n	Кут атаки конічного оголовка			
	60°	90°	120°	180°
0.1	103.5/102	126/125	148.5/146	171/174
0.2	21/20	26/26	31/30	36/37
0.3	7.4/7.2	9.3/9.5	11.3/11.5	13.2/13.0
0.4	3.2/3.3	4.1/4.2	5.1/4.9	6.0/6.0
0.5	1.5/1.6	2.0/2.0	2.5/2.4	3.0/2.9
0.6	0.72/0.7	1.0/0.98	1.3/1.3	1.56/1.60
0.695	0.35/0.39	0.51/0.52	0.67/0.67	0.82/0.83
Вільний потік (експеримент)	0.38	0.52	0.66	0.82

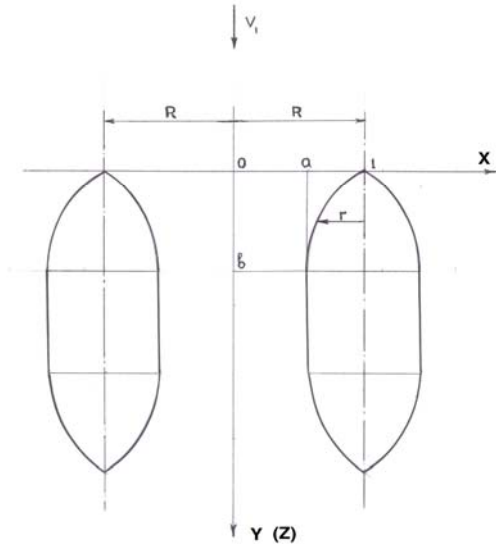


Рис. 2. Форми лобової поверхні опор мостових переходів до оптимізації

4. Оптимізація форми лобової поверхні опор мостових переходів

Для подальшого теоретичного аналізу розглянемо двовимірний випадок, коли ряд стаціонарних мостових опор розташований в руслі постійної глибини H з кроком $2R$. Звернемо увагу, що співвідношення площі перерізу вільного потоку до площі перерізу стисненого потоку обернено пропорційне середній швидкості $s = \frac{HR}{Hr} = \frac{v}{V_1}$, а

співвідношення кінетичних енергій пропорційне квадратам ширини відповідних перерізів $\frac{R^2}{r^2}$.

При цьому слід зазначити, що в аналогічному виразі (2) для вісесиметричних трьохвимірних потоків це є функція четвертого порядку відносно характерного розміру поперечного перерізу $\frac{R^4}{r^4}$ і тому має

більш складний розв'язок.

Таким чином, у прийнятій системі координат найпростіша двовимірна задача оптимізації полягає у визначенні кривої, яка доставляє мінімум інтегралу тиску на лобову поверхню

$$\frac{\rho(k \cdot V_1)^2}{2} \int_r^R \frac{R^2}{r^3} \cdot \sin^2 \alpha \cdot dr, \quad \text{або} \quad \int_1^x \frac{-dx}{x^3 \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]} \Rightarrow \min \quad (8)$$

де $X = \frac{r}{R}, \sin^2 \alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2}$, при крайових умовах $(y=0, x=1); (y = -b; x = x^2)$. (9)

Необхідну умову існування екстремуму запишемо у вигляді диференційного рівняння Ейлера

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{2 \frac{dy}{dx}}{x^3 \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^2} \right) = 0 \quad (10)$$

Але це означає, що диференційний вираз є константою C_1 . Вводячи додатний параметр $t = \frac{dy}{dx}$, отримаємо систему

$$dy = t dx \quad (11)$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{2}{C_1} \cdot \frac{t}{(t^2 + 1)^2}} \quad (12)$$

Звідки інтеграл у можна виразити таким чином

$$y = \sqrt[3]{\frac{2}{C_1}} \int_t^1 \left[\frac{4t^{\frac{7}{3}}}{3(t^2 + 1)^{\frac{5}{3}}} - \frac{t^{\frac{1}{3}}}{3(t^2 + 1)^{\frac{2}{3}}} \right] dt \quad (13)$$

Разом з (8), після перетворень та інтегрування, матимемо явний розв'язок у параметричному вигляді причому сталі інтегрування знайдемо з крайових умов (9), задаючись також локальним кутом атаки в початковій точці стиснення потоку за допомогою параметру $t=t_1$ при $x=1$. Таке рішення дозволяє отримати сукупність опуклих кривих лобової поверхні зі зменшенням їх кривизни в напрямі руху водного потоку. В даному випадку фізичний сенс мінімального опору мають рішення, які задовольняють умові достатньо гострого початкового кута атаки, тобто $t_1 \geq 1$.

Як висновок, слід вказати на можливість застосування викладеного підходу до зовнішньої задачі аеродинаміки. Так, наприклад, якщо розмістити циліндр діаметром $2r$ з конічним оголовком в трубі

діаметром $2R$ співвідносно, то лобовий опір такого тіла буде складатися з гідравлічних втрат в кільцевому конфузори, втрат на тертя в кільцевому зазорі та раптове розширення потоку згідно Борда. Очевидно, що збільшення діаметру труби (каналу) призводить до зменшення опору, який при цьому не може стати меншим за опір тіла, що обтікається вільним потоком. Визначення цієї межі, відповідної діаметру деякої фіктивної труби, в якій опір тіла не відрізняється від його опору у вільному потоці, може бути предметом подальших досліджень. Особливу актуальність при цьому мають задачі оптимізації форми обтічних тіл в двох- та трьох- вимірних асиметричних потоках з метою генерації максимальної підйомної сили при мінімальному лобовому опору.

Висновки

Запропонована гідравлічна модель обтікання лобової поверхні конфузора типової конструкції (внутрішня задача гідродинаміки) та кільцевого, що відповідає зовнішній задачі гідродинаміки. Встановлено зв'язок у гідравлічних розрахунках лобового опору обох типів конфузоров та експериментально підтверджене виникнення перевищення тиску на лобовій поверхні тіл, що стискають потік води.

Література

1. Вычислительные методы в гидродинамике / Под ред. Б.Олдер, С.Фернбах, М.Ротенберг. М.: Мир, пер.с англ.,1967.- 384 с.
2. Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости. – М.: Энергия, 1971. – 332 с.
3. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1984. – 294 с.
4. Шандыба А.Б. О гидравлических потерях в конфузоре. – Сб. науч. трудов СФТИ, сер."Химическое машиностроение". Киев УМК ВО, 1992.- С.89-94.
5. Shandyba A.B. Hydraulic Resistance of Bodies in Water Flow.- BWW Journal, May-June issue 2002, N3, USA.

References

1. Vyichislitelnyie metody v gidrodinamike/ Pod red. B.Older, S.Fernbah, M.Rotenberg. M.: Mir, per.s angl.,1967.- 384 s.
2. Deyli Dzh., Harleman D. Mehanika zhidkosti. – M.: Energiya, 1971. – 332 s.
3. Retter E.I. Arhitekturno-stroitel'naya aerodinamika. – M.: Stroyizdat, 1984. – 294 s.
4. Shandyiba A.B. O gidravlicheskih poteryah v konfuzore. – Sb. nauch. trudov SFTI, ser."Himicheskoe mashinostroenie". Kiev UMK VO, 1992.- S.89-94.
5. Shandyba A.B. Hydraulic Resistance of Bodies in Water Flow.- BWW Journal, May-June issue 2002, N3, USA.

Рецензія/Peer review : 2.5.2016 р. Надрукована/Printed : 18.7.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.056:004.7

С.В. СТАЙКУЦА, В.Й. КІЛЬДІШЕВ
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова**ІДЕНТИЧНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ
ЯК ЕЛЕМЕНТ МОДЕЛІ КІБЕРБЕЗПЕКИ**

Анотація. Наведені потенційні загрози безпеки телекомунікаційної мережі. Враховуючи роль соціально-психологічного (людського) фактору в інцидентах інформаційної безпеки сформульовано цілі та обґрунтовані задачі, функції та процеси визначення ідентичності об'єктів соціальної взаємодії та менеджменту ідентичності в інформаційно-комунікаційних мережах. Розроблені моделі загроз інформації та дій порушника як складові моделі кібербезпеки. Впровадження системи визначення ідентичності об'єктів взаємодії може привести до покращення ситуації з кіберзлочинністю та укріпити безпеку людини та безпеку суспільства.

Ключові слова: кібербезпека, ідентичність, мережа, менеджмент ідентичності.

S.V. STAYKUTSA, V.Y. KILDISHEV

Odessa National Academy of Telecommunications named after O.S. Popov

**OBJECTS OF IDENTITY INFORMATION NETWORK
AS AN ELEMENT MODEL CYBERSECURITY**

Abstract. These potential threats to the security of telecommunication networks. Given the role of social and psychological (human) factor in incidents of information security formulated objectives and reasonable tasks, functions and processes determine the identity of social interaction and identity management in the information and communication networks. The models of information threats and actions as offending component model cybersecurity. Implementation of determining the identity object interaction may lead to improvement in cybercrime and strengthen human security and safety of society.

Keywords: cyber, identity, network, identity management.

Вступ

Елементами взаємодії у кіберпросторі є криптографічні, технічні та соціальні методи та засоби захисту інформації. З міркувань потреб практичної діяльності має бути реалізований такий клас систем захисту інформації, в якому головну роль, поряд з технічним та криптографічним забезпеченням системи захисту, відігравали б соціально-психологічні організаційні засоби – робота з персоналом, користувачами, кадровим забезпеченням, тобто в якому головна увага приділялась би людському факторові [1].

В даному разі є вагомим обґрунтування введення поняття ще одного виду захисту – соціального захисту інформації (СЗІ). З численних статистичних даних випливає що до 60% інцидентів з інформаційною безпекою пов'язані з людським фактором: помилки чи некомпетентність персоналу та користувачів, зловмисні та незловмисні дії, підкуп персоналу, порушення корпоративної солідарності тощо [2]. У 2007 році Міжнародний союз електрозв'язку виступив з глобальною ініціативою із стандартизації менеджменту ідентичності [3]. Мова йде не про цензуру і не про тотальні перевірки, а про управління інформаціями, що підтверджують ідентичність об'єкта, наприклад, ідентифікаторами, реєстраційними даними й атрибутами. У групі Рекомендацій МСЕ-Т X.1250 – X.1279 [4] 17-ю дослідною комісією представлено стандарти менеджменту ідентичності об'єктів у телекомунікаціях, а в групі Рекомендацій МСЕ-Т Y.2720 – Y.2739 – стандарти менеджменту визначення ідентичності об'єктів у інформаційно-комунікаційних мережах (ІКМ) [5].

Актуальність проблеми визначення ідентичності обґрунтовується двома факторами: заходи боротьби з кіберзлочинністю поки що не досягають бажаних результатів і необхідно удосконалити систему кібербезпеки телекомунікацій, як критичної ланки інформаційно-комунікаційних систем; інтенсивність інформаційних потоків посилюється, інформація відіграє все більш значущу роль у життєдіяльності людини і підвищення захищеності інформації стає однією з найважливіших задач. Крім того, багато сучасних інформаційних послуг, таких як електронна торгівля, електронний уряд, вимагають від телекомунікаційного середовища посиленої спостережності.

Метою даної роботи є огляд цілей задач, функцій та процесів визначення ідентичності об'єктів соціальної взаємодії та менеджменту ідентичності в інформаційно - комунікаційних мережах, як засобів підвищення ефективності забезпечення кібербезпеки.

Модель дій порушника

Порушник розглядається, як особа, що може отримати доступ до роботи з включеними до складу ІКМ засобами. Порушники класифікуються за рівнем можливостей, що надаються їм штатними засобами ІКМ [6]. Виходячи з класифікації типів порушника складемо модель дій порушника (рис. 1).

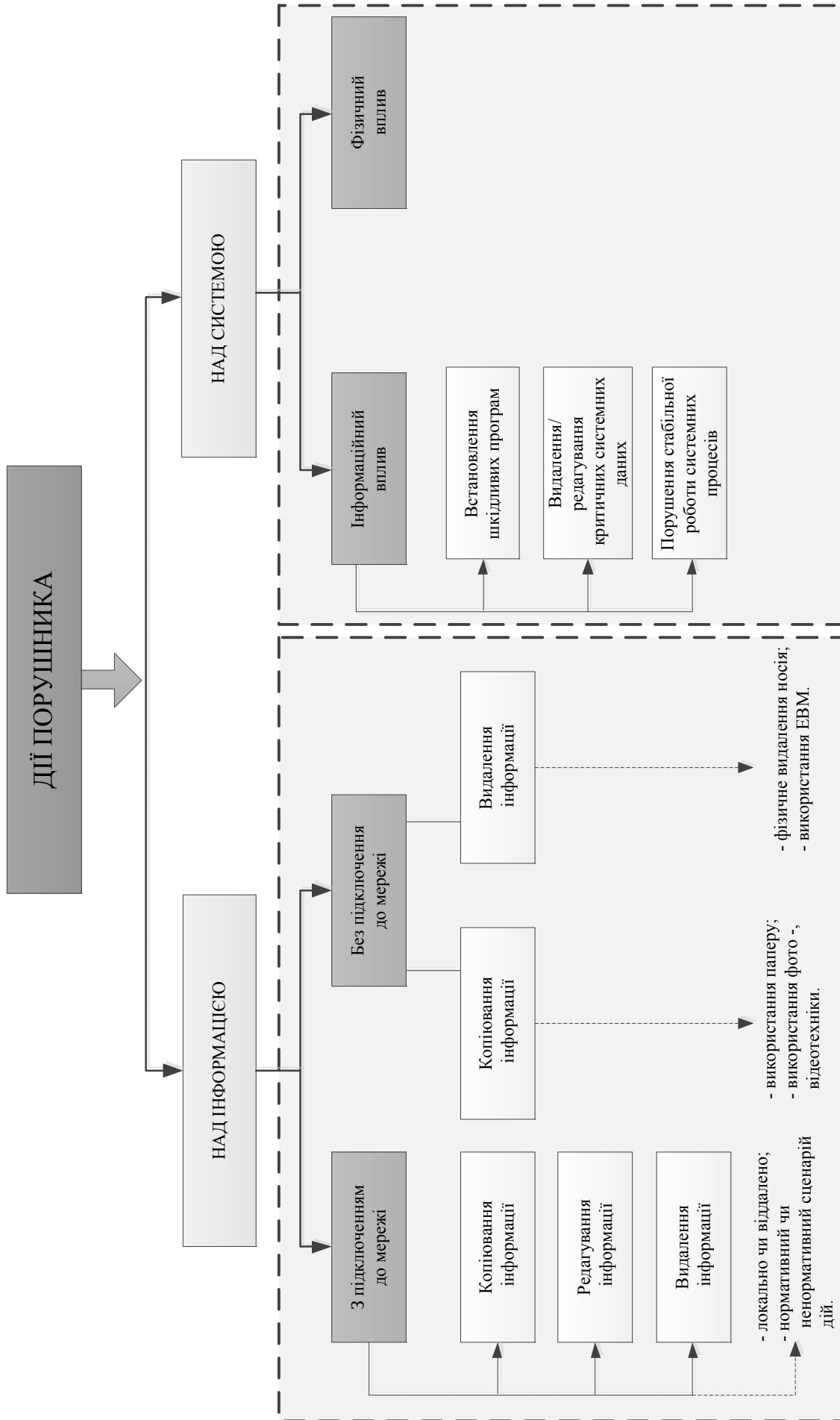


Рис. 1. Модель дій порушника

При контакті через телекомунікаційні засоби перцептивна функція спілкування обмежується. Проте бажано, щоб телекомунікації надавали хоча б частину можливостей, які доступні при безпосередньому контакті. У майбутньому розвиток телебіометрики, сенсорних мереж з сенсорами навколо людини, на людині та в середині людини, які будуть обслуговувати її, засоби віртуальної реальності дозволять наблизити можливості телекомунікаційних контактів до можливостей безпосереднього спілкування людей. Визначення ідентичності об'єктів є першочерговим і необхідним кроком на цьому шляху.

Повинна бути забезпечена ідентичність кожної транзакції у мережі і, за необхідності, транзакція має бути проконтрольована законними засобами. Крім правил та засобів маршрутизації, засобів законного моніторингу в інформаційних транспортних системах доцільно впровадити менеджмент визначення ідентичності об'єктів інформаційного обміну. Технологія ІКМ завдяки широкій функціональності та гнучкості послуг має можливості, за порівняно невеликих витрат, розробки й впровадження необхідних механізмів та процедур.

Ефект від системи визначення ідентифікації об'єктів телекомунікаційного обміну інформацією полягає у суттєвому зменшенні числа потенційних порушників за рахунок організаційно-технічних методів контролю. Таким чином, при відсутності контролю у спільноті приблизно 85% потенційних порушників. За наявності контролю та системи покарання/заохочення потенційних порушників може бути зменшено до 12%.

Потенційні канали проникнення в ІКМ – це сама автоматизована система комутації та її канали. Інформаційні загрози безпеки ІКМ показані на рис. 2.

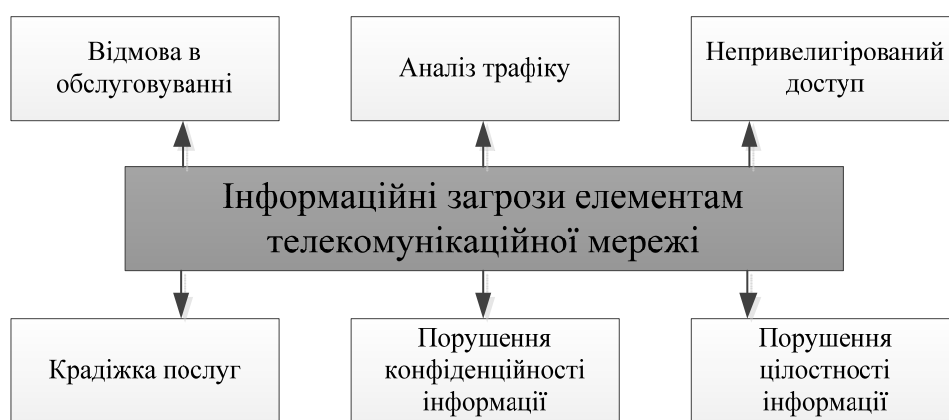


Рис. 2. Інформаційні загрози безпеки ІКМ

Крадіжка послуг – веденням зловмисником переговорів за чужий рахунок. Порушення конфіденційності інформації, включаючи зміст телефонних розмов і баз даних телекомунікаційного обладнання. Порушення цілісності інформації – неавторизована зміна конфігураційних баз цих, білінгових записів та іншої інформації. Непривілейований доступ – доступ неавторизованих користувачів з метою отримання контролю над системними ресурсами. Відмова в обслуговуванні – дії, націлений на порушення роботи системи зв'язку. Аналіз трафіку – пасивна дія з метою отримання інформації про трафік.

Менеджмент визначенням ідентичності

Визначення ідентичності об'єктів значно простіше і є розширенням поняття ідентифікація. «Ідентичність – це інформація щодо об'єкта, якої досить для ідентифікації цього об'єкта у тому чи іншому контексті. Менеджмент визначенням ідентичності – MBI (identify management) – це набір функцій та можливостей (наприклад, адміністрування, управління та технічне обслуговування, виявлення, обмін повідомленнями, співставлення та ув'язування, забезпечення реалізації політики, автентифікація та затвердження), які використовуються для: гарантування інформації, що підтверджує ідентичність (наприклад, ідентифікаторів, реєстраційних даних, атрибутів); гарантування ідентичності об'єкта; забезпечення комерційних застосувань та застосувань безпеки (рис. 3) [5].

Виходячи з розглянутих вище загроз витоку інформації в ІКМ, представимо структуру менеджменту визначенням ідентичності як елементу моделі кібербезпеки.

1. Управління життєвим циклом ідентичності, що включає процеси управління життєвим циклом та функцій для даних ідентичності та інформації, що підтверджує ідентичність (ідентифікатори, реєстраційні дані й атрибути тощо). Це управління охоплює процеси і процедури, що пов'язані з реєстрацією та видачею даних ідентичності об'єкта.

2. Функції експлуатації, адміністрування, технічного обслуговування та забезпечення (OAM&P) при MBI, які включають функції та можливості, що відносяться до підтримки MBI. OAM&P раніше була окремою службою – це група функцій з управління, які забезпечували пошук несправностей у системі або мережі, моніторинг якості роботи, управління безпекою, функції діагностики, конфігурацію та забезпечення користувачів.

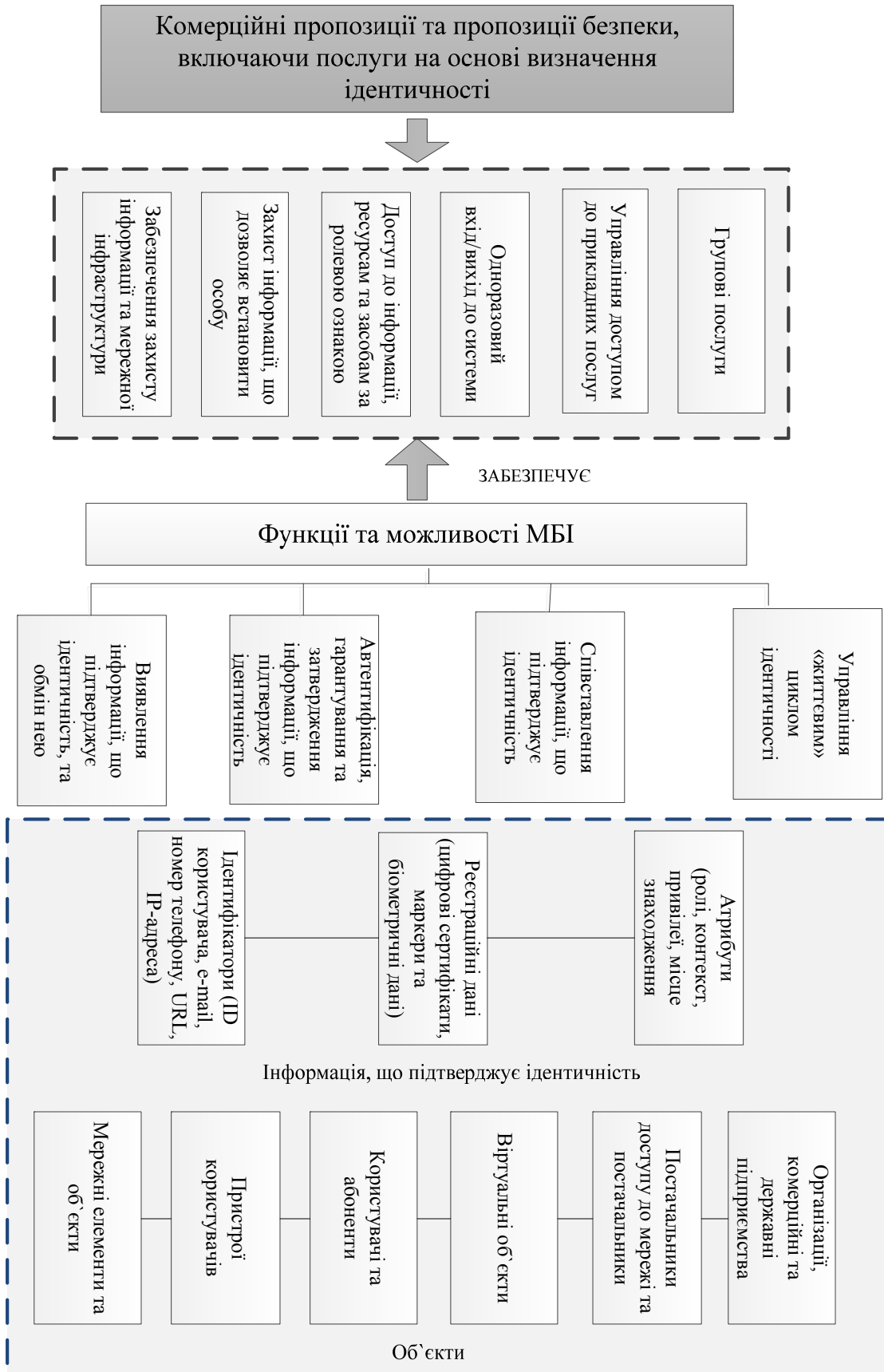


Рис. 3. Функції, об'єкти та можливості менеджменту визначенням ідентичності

3. Функції сигналізації та контролю при МБІ, які включають функції та можливості підтримки послуг МБІ і забезпечують сигналізацію та контроль при зв'язку у реальному часі та близькому до реального часу.

4. Функції групової ідентичності при МБІ для підтримання функцій та можливостей групових послуг.

5. Функції користувачів та абонентів при МВІ, які включають функції та процеси, що пов'язані із контролем із боку кінцевих користувачів та абонентів за інформацією, стосовну їх ідентичності. Сюди ж відносяться функції контролю, делегування та дозволу використання та розповсюдження інформації, пов'язаної з ідентичністю.

6. Функції та процедури відносно якості роботи, надійності та масштабованості.

7. Безпека при МВІ, що включає функції та процедури, що стосуються забезпечення захисту систем, послуг та можливостей МВІ. У структурі МВІ використовуються ресурси ІКМ, такі як: інформація у серверах абонентських профілів, місцеположення, політики, присутності, серверах абонентських даних, інформація функцій управління сеансами зв'язку, сервера прикордонного контролера сеансів зв'язку тощо. Останнє свідчить, що у ІКМ, за порівняно не великих витратах може бути реалізована структура та підтримка послуг МВІ.

Висновки

Впровадження МВІ на ІКМ надають нові можливості користувачам, абонентам, підприємствам. Зокрема державним підприємствам МВІ надає можливості впровадження послуг та застосувань із гарантування ідентичності та підвищує рівень довіри до підтримуваним даним ідентичності й рівень їх безпеки: у послугах електронного уряду; у суспільній службі невідкладної допомоги 911; у службі охорони правопорядку; у службі телекомунікацій у надзвичайних ситуаціях; у службі національної безпеки. Як результат, забезпечується захист інфраструктури телекомунікацій проти загроз кібербезпеки.

Література

1. Кононович В.Г. Еволюція парадигми інформаційної, соціально-психологічної та кібербезпеки / В.Г. Кононович // X Міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2011». – 2011. – №2. – С. 38-41.
2. Кононович В.Г. Соціальний захист інформації в класах систем захисту інформації / В.Г. Кононович // Науково-технічний журнал «Захист інформації». – 2008. – №4. – С. 4-16.
3. Глобальная инициатива по стандартизации управления идентичностью (ГИС-УИд) / Циркуляр 184 БСЭ. Приложение 1. – Женева, 2007. – 5 с.
4. Рекомендация МСЭ-Т Х.1250. Базовые возможности для улучшения доверия и функциональной совместимости при глобальном управлении определением идентичности. – Женева, 2009. – 26 с.
5. Рекомендация МСЭ-Т Y.2720. Структура управления определением идентичности в сетях последующих поколений. – Женева, 2010. – 26 с.
6. НД ТЗІ 1.1-002-99. Загальні положення щодо захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу. Затверджено наказом № 22 ДСТСЗІ СБ України від 28.05.99.

References

1. Kononovich V.G. Evolyutsiya paradigmi informatsiyanoi, sotsialno-psihologichnoyi ta kiberbezpeki / V.G. Kononovich // X Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya «AVIA-2011». – 2011. – №2. – S. 38-41.
2. Kononovich V.G. Sotsialniy zahist informatsiyi v klasah sistem zahistu informatsiyi / V.G. Kononovich // Naukovo-tehnichniy zhurnal «Zahist informatsiyi». – 2008. – №4. – S. 4-16.
3. Globalnaya initsiativa po standartizatsii upravleniya identichnostyu (GIS-UID) / Tsirkulyar 184 BSE. Prilozhenie 1. – Zheneva, 2007. – 5 s.
4. Rekomendatsiya MSE-T H.1250. Bazovye vozmozhnosti dlya uluchsheniya doveriya i funktsionalnoy sovmestimosti pri globalnom upravlenii opredeleniem identichnosti. – Zheneva, 2009. – 26 s.
5. Rekomendatsiya MSE-T Y.2720. Struktura upravleniya opredeleniem identichnosti v setyah posleduyuschih pokoleniy. – Zheneva, 2010. – 26 s.
6. ND TZI 1.1-002-99. Zagalni polozhennya schodo zahistu informatsiyi v komp'yuternih sistemah vid nesanktsionovanogo dostupu. Zatverdzheno nakazom № 22 DSTSZI SB Ukrayini vid 28.05.99.

Рецензія/Peer review : 21.6.2016 р.

Надрукована/Printed :28.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

FRactal Structure of the Universe

It is a hypothesis about the hierarchical fractal structure of the Universe. According to the hypothesis the Universe consists of an infinite number of spatial and hierarchic fractal- spherical levels of matter that are nested within each other. In ascending order of spatial hierarchy, the following main fractals Universe that conventionally associated with the types of interactions of matter: nuclear, atomic, electromagnetic, gravitational. It can also be assumed that there exist fractals which are older than the gravitational ones. Each fractal is characterized by finite geometrical dimensions and finite value of its own energy, consequently, by the finite value of the spatial density of energy. Hypothesis on the fractal structure of the Universe admits the absence of the dark energy. The apparent effect of its presence in the electromagnetic fractal of the Universe due to its finite geometrical dimensions, the spherical shape and the presence of the rotational motion of the sphere at least around one of the axes.

Keywords: fractal, structure, Universe, expansion, rotation, space, dark energy, dark matter, the Hubble constant, Planck's constant, universal proportions of Planck.

В.Ф. ТИМКОВ

Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины

С.В. ТИМКОВ, В.А. ЖУКОВ

Научно-производственное предприятие «ТЖК»

ФРАКТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ

Рассматривается гипотеза об иерархической фрактальной структуре Вселенной. Согласно гипотезе Вселенная состоит из бесконечного числа вложенных один в другой пространственно-иерархических фрактально-сферических уровней материи. В порядке возрастания пространственной иерархии, выделены следующие основные фракталы Вселенной, которые условно связаны с видами взаимодействий материи: ядерный, атомный, электромагнитный, гравитационный. Можно также допустить, что существуют фракталы, которые старше гравитационного. Каждый фрактал характеризуется конечными геометрическими размерами и конечным значением собственной энергии и, следовательно, - конечным значением пространственной плотности энергии. При переходе от фракталов меньшего иерархического уровня (ядерных) к большим (гравитационным) наблюдается инфляция пространства и пространственной плотности энергии. Гипотеза о фрактальной структуре Вселенной допускает отсутствие в ней темной энергии. Кажущийся эффект ее наличия в электромагнитном фрактале Вселенной объясняется его конечными геометрическими размерами, сферической формой и наличием вращательного движения этой сферы по крайней мере вокруг одной из осей.

Ключевые слова: фрактал, структура, Вселенная, расширение, вращение, пространство, темная энергия, темная материя, константа Хаббла, константы Планка, универсальные пропорции Планка.

Introduction

Consider some modern ideas about the structure of the Universe. Professor Martin Rees (Institute of Astronomy, University of Cambridge) argues that the Universe has a cellular structure, each such cell in the trillions of times smaller than an atom [1,2,3].

Professor Michael Longo (University of Michigan in Ann Arbor), having studied [4,5] 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 which 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) [6]. 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 rotation of the space of the universe is also supported by research Professors S.-C. Su and M.-C. Chu (Department of Physics and Institute of Theoretical Physics, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, Hong Kong, China) [7].

In 2006, Professor Laura Mersini-Houghton (University of North Carolina at Chapel Hill), Richard Holman (Carnegie Mellon University) and Tomo Takahashi (Saga University), in joint papers [8,9], predicted the existence of anomalies relic microwave background of the Universe and suggested that the cause of these anomalies may be an impact on observable of the Universe other of the Universes, which are located close by.

On the possible impact on observable of the Universe other of the Universes expressed [10] Dr. Stephen M. Feeney (University College London), Dr. Matthew C. Johnson (Perimeter Institute for Theoretical Physics,

Waterloo, Ontario N2L 2Y5, Canada), Dr. Daniel J. Mortlock (California Institute of Technology, Pasadena), Dr. Hiranya V. (Astrophysics Group, Imperial College London) and Dr. Peiris (Institute of Astronomy and Kavli Institute for Cosmology, University of Cambridge).

Examining data on the microwave background of the Universe, which are obtained based on the results of seven years of observations WMAP, the researchers found four spots with abnormal values CMB, which scientists believe are the result of collisions (close approach) of the observable Universe and other Universes.

Professor Douglas Scott (University of British Columbia), investigating anomalies CMB [11,12] concluded that the observed Universe has a spherical shape.

Professor Roger Penrose (Oxford University) together with Professor Vahe Gurzadyan (Yerevan Physics Institute in Armenia) conducted a study of the cosmic background radiation anomalies [13]. Professors claim to have found evidence of the existence of the Universe before the Big Bang.

Proposes to consolidate all of the above findings of theoretical and experimental studies in one hypothesis - a fractal structure of the Universe.

The Universe is an infinite aggregate of spatial hierarchic fractals of a spherical shape. Spatial hierarchy of fractals means that the smaller by size (and by hierarchy) fractals lie within the greater fractals, i.e., fractals are nested within each other. A certain linear dimension of the space length makes the similarity basis of the Universe fractals. This dimension tends to zero, however our knowledge about Nature does not still allow us of making analysis with the use of the linear dimensions which are smaller than the Planck dimension l_p [18]:

$$l_p = 1.616199 \times 10^{-35} m.$$

Let us consider that the Planck dimension is the universal constant for the all level fractals of the Universe.

Therefore, the basis of the spatial fractal structure of the Universe is selected as follows:

- for vacuum - the Planck cube. Its volume equals: $Q_p^c = 4.221672 \times 10^{-105} m^3$;
- for the space where a mass is - the Planck sphere. Its volume equals: $Q_p^s = 1.768370 \times 10^{-104} m^3$.

Let us consider the most accessible for observation electromagnetic fractal of the Universe – it is the observable Universe. We assume that it is shaped as a limited-size sphere. The sphere rotates in a single plane, as a minimum. Electromagnetic fractal of the Universe is located within the gravitational fractal of the Universe. In its turn electromagnetic fractal is senior in relation to the atomic and nuclear fractals.

The assumption that the sphere of the electromagnetic fractal of the Universe rotates makes useless the hypotheses about the expanding and accelerating Universe and dark energy. Really.

Any theory that is not confirmed by experience, or on the basis of which it is possible to make ambiguous judgments and conclusions, is a hypothesis. In terms of conclusions about the character and nature of the red shift from of distant objects of observable Universe, and depending on their speed from the Hubble constant, both hypotheses: expanding with an acceleration of the Universe and the rotating Universe [14] is equal. Their fundamental difference - in the choice of the reference system and the conditions of observation. The hypothesis of the existence of dark energy is incorrect due to incorrectly chosen frame of reference, and not properly defined the conditions of observation. Apologists for dark energy to repeat the mistakes that once made Archimedes and Ptolemy, and who chose the reference system with the Earth at the center of the Universe, and then Copernicus, who replaced in the reference frame the Earth to the Sun. Really. Solution of Einstein's equations of general relativity is carried out in the reference system, which is linked to the observable Universe, and which is declared as a global and absolute. In accordance with the choice of the reference system [14] of the observable Universe becomes the center of the whole Universe – Mega Universe. Further, by solving the equations of general relativity reference system actually breaks down into two parts: one of them - relatively immobile, and the second is removed rapidly from the first (if the chosen of reference system is global - the question is - where is removed?). The source of this accelerated movement of the second reference system is declared negative vacuum pressure (lambda constant in Einstein's equations of general relativity): $-P\Delta V$, where $(-P)$ - is a negative vacuum pressure, ΔV - this volume of space, increased under negative vacuum pressure. However, this formula is valid only for closed systems. That is, systems in which the vacuum pressure inside and outside are different, in other words in the formula $-P\Delta V$ instinctively understood that the vacuum pressure in the observable Universe, and the vacuum pressure in the rest of the Universe, vary. This violates the requirement that the lambda - it is constant for the entire Universe. The observable Universe is not closed, it is limited. For a limited system to change the position of their boundaries (eg, extension), you must have a vacuum pressure differential ΔP , that is, must: $-\Delta P\Delta V$. The differential vacuum pressure at the limited observable Universe means that the lambda - it is not a constant.

Conclusion: the negative vacuum pressure can not be the source of dark energy.

The hypothesis [14] of a rotating space of the observable Universe, i.e. her of electromagnetic of fractal of the Universe, is considered in a global of reference system, which is associated with Mega Universe – i.e. with her of gravitational of fractal of the Universe, and that includes the observable Universe as a part of it. Currently, the expansion of the observable Universe since the Big Bang is finished. The observable Universe is limited. Expansion of the observable Universe ended up at a time when its gravity factor (vacuum pressure) was equal gravity factor (vacuum pressure) the part of the Mega Universe in which is located the observable Universe. Equal gravity factors derived from the opposite hypothesis of a rotating Universe, which admitted the existence of dark energy force and the lack of rotation of the observable Universe space, and where it was found that the gravity factor observable

Universe has become equal to the acceleration of dark energy force, and actually gravity factor that part Mega Universe in which is located the observable Universe.

Conclusion: the assumption of the rotation of the observable Universe of space allows us to solve the question of the sources as dark energy and dark matter.

Further evidence of the lack of dark energy is the new law of physics [15]: "Universal Plank Proportions" (UPP), which establishes significant, sustained and repeated relations and connections between the three self-sufficient characteristics of any an object of the observable Universe (including itself), which is endowed with the mass, namely, the actual mass m , radius of curvature space S , a time delay t_{dm} signal light.

According to this law, in the observable Universe anybody having mass m , creates a gravitational field that curves the surrounding space with a radius of curvature S (actually S -is the length of a gravitational wave) and introducing into this space time delay t_{dm} in the dissemination of signal. Body characteristics m, S, t_{dm} interconnected universal proportions Planck:

$$m = \frac{m_p}{l_p} S; m = \frac{m_p}{t_p} t_{dm}; S = \frac{l_p}{t_p} t_{dm}; S = \frac{l_p}{m_p} m; t_{dm} = \frac{t_p}{l_p} S; t_{dm} = \frac{t_p}{m_p} m,$$

where l_p, m_p, t_p - is the Planck constant, respectively - length, mass and time.

Each body characteristics: m, S, t_{dm} separately from other uniquely determines him the energy parameters:

$$E = mc^2 = F_p S = h_e t_{dm},$$

where: $h_e = \frac{E_p}{t_p}$ - is the quantum of Planck energy, where E_p - Planck energy: $E_p = m_p c^2$; F_p - is the

Planck power: $F_p = m_p a_p$, where a_p - is Planck accelerating: $a_p = \frac{l_p}{t_p^2}$, and for two bodies with weight m_1

and m_2 , length of a gravitational wave S_1 and S_2 , the time delay t_{dm1} and t_{dm2} at a distance R from each other, the law of gravity is given by:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} = F_p \frac{S_1 S_2}{R^2} = F_p c^2 \frac{t_{dm1} t_{dm2}}{R^2}.$$

where G - is the gravitational constant, c - is the speed of light in vacuum.

Before this law, we know only one characteristic of the object - its mass. On the basis of the law UPP openly and confirmed by experiments a new property of matter - its gravity-electromagnetic resonance (GER) [15,16]. It is known that today in astrophysics is not possible to accurately determine the mass of distant objects observable Universe, and using the law UPP and the GER we can accurately calculate their mass. It is sufficient to measure the frequency of the envelope of the radiation spectrum [16]. On the basis of the UPP and GER, we can create new sources of energy. The versatility, efficiency, stability and repeatability of Planck of proportions also lies in the fact that for the gravitational constant G , of constants of Planck: l_p, m_p, t_p , of the relevant characteristics of the observable Universe: R_{Ue}, M_{Ue}, T_{Ue} , as well as of the relevant characteristics of any her body: S, m, t_{dm} is true [17]:

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2} = \frac{R_{Ue}^3}{M_{Ue} T_{Ue}^2} = \frac{S^3}{m t_{dm}^2} = 6.67408 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}.$$

On the basis of the Planck of proportions, we can also go to the geometrical system of units in physics, that additionally underscores their versatility.

Most dynamic physical processes have two basic states - steady state and transient state. In the steady state (when there is no movement of the masses with an acceleration when there is no merging of massive bodies) the gravitational field of the body, which has a mass, bends space around itself. This forms a kind of standing gravitational waves that are can be found only indirect methods, for example, based on gravitational-electromagnetic resonance. The LIGO experiment observed the process of transition, which occurred as a result of deformation of surrounding curved space formed to move in space gravitational wave. The parameters of curved space in steady state (standing gravitational waves) and the parameters of gravitational waves in the transition process to the same bodies are different.

As the fractal hierarchy grows, the Universe does expand but that expansion is fractal and stationary.

1. Evaluation of main spatial and energy parameters of the electromagnetic fractal of the Universe

The observable Universe is electromagnetic of fractal of the Universe. According to [18] National Institute of Standards and Technology (NIST) for 2015 constants G, c, l_p, m_p, t_p have the following meanings:

$$\left. \begin{aligned} G = 6.67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}; c = 299792458 \text{ m s}^{-1}; l_p = 1.616229(38) \times 10^{-35} \text{ m}; \\ m_p = 2.176470(51) \times 10^{-8} \text{ kg}; t_p = 5.39116(13) \times 10^{-44} \text{ s}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

According to Planck's mission [19] Hubble constant H is equal to:

$$H = 67.80 \pm 0.77 (\text{km}^1 \text{s}^{-1}) / \text{Mpc} \text{ or } H = 2.197248345 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}. \quad (2)$$

In [14,15,16,17] it is shown that the Gravity factor g_{Ue} , the radius R_{Ue} and mass M_{Ue} of the observable Universe can be represented as:

$$g_{Ue} = cH, \quad (3)$$

$$R_{Ue} = \frac{c}{H}, \quad (4)$$

$$M_{Ue} = \frac{g_{Ue} R_{Ue}^2}{G}, \quad (5)$$

or based on (4,5):

$$M_{Ue} = \frac{c^3}{HG}. \quad (6)$$

Expressions (3,4,6) shows that Gravity factor g_e , the radius R_{Ue} and mass M_{Ue} of the observable Universe depends only on the constants c , H and G . Then, in view of their numerical values (1,2) quantitative estimates of Gravity factor g_e , the radius R_{Ue} and mass M_{Ue} of the observable Universe are equal to:

$$g_{Ue} = 6.57184822 \times 10^{-10} \text{ m}^1 \text{ s}^{-2}; R_{Ue} = 1.364399517 \times 10^{26} \text{ m}; M_{Ue} = 1.837348566 \times 10^{53} \text{ kg}. \quad (7)$$

According to [20] of the International Astronomical Union, a light year is equal to 9460730472580800m. Then R_{Ue} radius of the observable Universe is 14.42 billion light-years, which correlates with the experimental data [19]. From (4) it follows that the value of the inverse of the Hubble constant - this is a temporary T_{Ue} delay [15] of the observable Universe:

$$T_{Ue} = \frac{1}{H}, \quad (8)$$

or taking into (2) evaluation of T_{Ue} is:

$$T_{Ue} = 4.551469 \times 10^{17} \text{ s}. \quad (9)$$

Obviously, T_{Ue} - is the period of rotation of the sphere electromagnetic of the fractal of the Universe.

Evaluation of the volume Q_{Ue} of the sphere of the electromagnetic fractal of the Universe equals:

$$Q_{Ue} = \frac{4}{3} \pi R_{Ue}^3 = 1.06393 \times 10^{79} \text{ m}^3. \quad (10)$$

Evaluation of the spatial (volumetric) density ρ_{Ue} of the mass of the electromagnetic fractal of the Universe equals:

$$\rho_{Ue} = \frac{M_{Ue}}{Q_{Ue}} = 1.727 \times 10^{-26} \text{ kg}^1 \text{ m}^{-3}. \quad (11)$$

The Hubble constant value for 2010 [21] which was obtained on the basis of seven years measurements made by NASA (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe -WMAP) in combination with other methods of measurement is equal to: $70.4_{-1.4}^{+1.3}$ (km/s)/mpc. As WMAP reported, the Hubble constant value for 2012 equals: 69.32 ± 0.80 (km/s)/mpc [22,23]. According to the observation data published by the Planck Mission of the European Space Agency in 2014, the Hubble constant value for 4 years (from 2009 to 2013) comprise: 67.80 ± 0.77 (km/s)/mpc [19]. Based on this data it can be supposed that the Hubble constant scattering for various methods of measurement and by years can also be caused by precession of the rotating sphere of the electromagnetic fractal of the Universe in the plane being at any a small angle to the major rotation axis.

The main kinds of matter motion within the electromagnetic fractal of the Universe are:

1. Motion of matter along the rotation axis of the electromagnetic fractal of the Universe caused by the Big Bang. This motion is similar to the existing vision about motion of the matter after the Big Bang, however without space expansion.

2. Rotational motion of matter around one of the axis of the sphere of the electromagnetic fractal of the Universe.

3. Motion of matter caused by precession of the sphere of the electromagnetic fractal of the Universe.
4. Motion of matter caused by centrifugal forces in the rotating and precessing sphere of the electromagnetic fractal of the Universe (effect of a centrifuge with precession).
5. Motion of matter caused by the own gravitational interaction forces.
6. Motion of matter caused by dark matter.

All above motions are independent. After superposition of all kinds of motion the resultant vectors of total velocity of matter in each point of space in the sphere of the electromagnetic fractal of the Universe within the near field of view zone will have a chaotic distribution of directions and meanings of the absolute values. As the distance from the observation point (Earth) increases, the component of the total velocity vector conditioned by the rotating motion of the sphere of the electromagnetic fractal of the Universe will grow proportionate to the Hubble constant and the distance. From the distance of 5 billion light-years and more the contribution of this component will become prevailing, which is confirmed by the experimental Hubble law. The effect of the imaginary presence of dark energy is most pronounced at a distance of 5 billion light-years too.

2. Evaluation of main spatial and energy parameters of the nuclear and atomic fractals of the Universe

As hydrogen comprises more than 75 percent of the baryon mass of the electromagnetic fractal of the Universe [24,25], the hydrogen nucleus and atom were selected as the model. Correspondingly, the proton mass and radius are [18]:

$$m_{pr} = 1.672621777 \times 10^{-27} \text{ kg}; r_{pr} = 8.768 \times 10^{-16} \text{ m}.$$

The mass and radius of the nuclear fractal of the Universe equals:

$$M_{Un} = m_{pr} = 1.672621777 \times 10^{-27} \text{ kg}; R_{Un} = r_{pr} = 8.768 \times 10^{-16} \text{ m}. \quad (12)$$

Then the volume of the sphere of the nuclear fractal of the Universe equals:

$$Q_{Un} = 2,823516 \times 10^{-45} \text{ m}^3. \quad (13)$$

The volumetric density of the nuclear fractal of the Universe equals:

$$\rho_{Un} = 5.92389721 \times 10^{17} \text{ kg}^1 \text{ m}^{-3}. \quad (14)$$

The mass of the atomic fractal can be determined at a first approximation as the sum of masses of the proton $m_{pr} = 1.672621777 \times 10^{-27} \text{ kg}$ and

of the electron $m_e = 9.10938291 \times 10^{-31} \text{ kg}$ [18]:

$$M_{Ua} = m_{pr} + m_e = 1.673532715291 \times 10^{-27} \text{ kg}. \quad (15)$$

The radius of the sphere of the atomic fractal of the Universe R_{Ua} is the Bohr radius, [1] i.e.:

$$R_{Ua} = r_b = 5,2917721092 \times 10^{-11} \text{ m}. \quad (16)$$

The volume of the sphere of the atomic fractal of the Universe equals:

$$Q_{Ua} = 6.2071466797 \times 10^{-31} \text{ m}^3. \quad (17)$$

The volumetric density of the atomic fractal of the Universe equals:

$$\rho_{Ua} = 2.6961385023 \times 10^3 \text{ kg}^1 \text{ m}^{-3}. \quad (18)$$

Let us construct a graph (log-log plot) which reflects dependence between the volumetric (spatial) density of the mass of nuclear, atomic and electromagnetic fractals of the Universe and their volumes (Fig.1).

The analysis of the graph and numeric characteristics of the atomic fractal of the Universe leads to a conclusion that this fractal is transitional, boundary between two basic fractals of the Universe -electromagnetic and nuclear. It can also be assumed that there exists a transitional fractal between the electromagnetic and gravitational fractals of the Universe. Based on the analysis of the atomic fractal characteristics it can be assumed that the fractal structure of the Universe can not have well-defined transitions between the main fractals. That is, the transitions between the main fractals Universe is not clear, fuzzy and "smoky" (sfumato), and the spatial structure of the Universe is actually sfumato-fractal. It is obvious that evaluation of the radius (and volume) of the electromagnetic fractal of the universe - it is their bottom verge.

3. Evaluation of main spatial and energy parameters of the gravitational fractal of the Universe

As fractals are self-similar events, processes and spatial forms, then the geometrical dimensions of the gravitational fractal of the Universe can be evaluated after we find the spatial analogue coefficient which correlates the electromagnetic and gravitational fractals of the Universe. The spatial analogue coefficient linking the gravitational fractal of the Universe and its electromagnetic fractal is determined similar to Coulomb laws and the universal law of gravitation:

$$F_e = \frac{kq_1q_2}{r_{12}^2}; F_g = \frac{Gm_1m_2}{r_{12}^2}, \quad (19)$$

where k is the electrical constant, $k = 8.854187817 \times 10^{-12} F^1 m^{-1}$ [18];

G is the gravitational constant. $G = 6.67408(31) \times 10^{-11} m^3 kg^1 s^{-2}$.

Let: $m_1 = m_2 = 1 kg$, for the gravitational force: $r_{12} = 1 m$.

Based on the formulas (19):

$$F_g = G.$$

As it is known [18] the elementary charge value q_e equals:

$$q_e = 1.602176565 \times 10^{-19} K.$$

Let us find a distance at which the force created by two elementary charges equals the force created by two bodies of 1 kg mass each that are located at 1 m distance from each other.

Based on the formulas (19):

$$r_{12}^2 = \frac{kq_1q_2}{G} = 3.405600411 \times 10^{-39} m^2. \quad (20)$$

Hence:

$$r_{12} = 5.8357522317 \times 10^{-20} m. \quad (21)$$

The ratio $\frac{1}{r_{12}}$ is assumed at a first approximation as similarity coefficient k_f between the gravitational and electromagnetic fractals of the Universe:

$$k_f = \frac{1}{r_{12}} = 1.713575149 \times 10^{19}. \quad (22)$$

Subsequently, the radius of the gravitational fractal of the Universe R_{Ug} equals:

$$R_{Ug} = R_{Ue} k_f = 2.303 \times 10^{45} m. \quad (23)$$

The volume of the gravitational fractal of the Universe Q_{Ug} equals:

$$Q_{Ug} = 5.117 \times 10^{136} m^3. \quad (24)$$

Define the upper and bottom border evaluation of the mass and evaluation of volumetric density mass of the gravitational of fractal of the Universe. The bottom border evaluation of the mass M_{Ug}^- and evaluation of volumetric density mass ρ_{Ug}^- of the gravitational of fractal of the Universe determined on the basis of the law [15] "Universal Plank Proportions":

$$M_{Ug}^- = m_p \frac{R_{Ug}}{l_p} = 3.101 \times 10^{72} kg; \rho_{Ug}^- = \frac{M_{Ug}^-}{Q_{Ug}} = 6.06 \times 10^{-65} kg^1 m^{-3}. \quad (25)$$

Define the upper border evaluation of the mass M_{Ug}^+ and evaluation of volumetric density mass ρ_{Ug}^+ of the gravitational of fractal of the Universe on the basis of fractal similarity logarithms volumetric density of the mass of nuclear, electromagnetic and gravitational fractals of the Universe. Let us construct a graph (log-log plot), which reflects dependence between the volumetric (spatial) density of the mass of nuclear and electromagnetic fractals of the Universe and their volumes (Fig.2), and extrapolate this graph to the common logarithm value of the volume of the gravitational fractal of the Universe.

It follows from the graph Fig. 2 that the value $Lg(Q_{Ug}) = 136.7$ of the common logarithm of the volume of the gravitational fractal of the Universe corresponds to the volumetric density of the fractal mass in the log scale which equals $Lg(\rho_{Ug}^+) = -46.68$. Assuming this upper border evaluation of density, the upper border

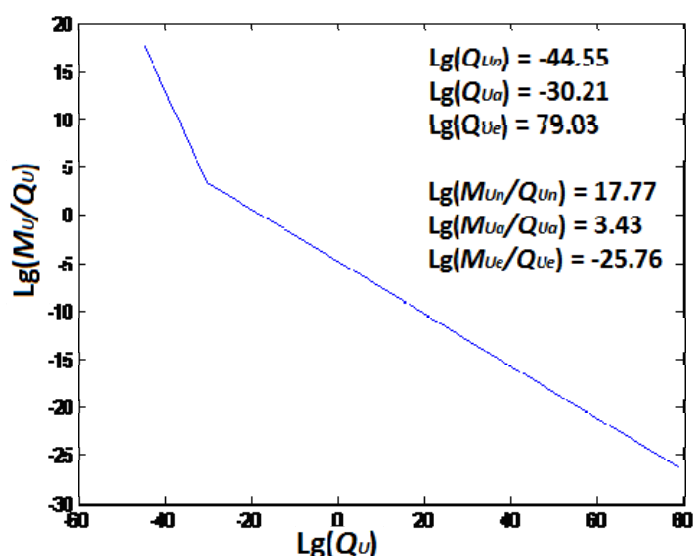


Fig. 1. Volumetric density mass of fractals of the Universe versus its volume for the nuclear, atomic and electromagnetic fractals of the Universe.

evaluation of mass M_{Ug}^+ of the gravitational fractal of the Universe is:

$$M_{Ug}^+ = 7,943 \times 10^{89} \text{ kg} . \quad (26)$$

To evaluate the gravity factor (for upper border evaluation of mass M_{Ug}^+) of the gravitational fractal of the Universe g_g , we apply its simplified model: let all mass of the fractal lies in the centre of its sphere and let the gravitational constant value is the same as for the electromagnetic fractal of the Universe, then (with formula 26):

$$g_g = \frac{GM_{Ug}^+}{R_{Ug}^2},$$

$$g_g = 1.0446 \times 10^{-11} m^1 s^{-2}. \quad (27)$$

The magnitudes of the gravity factor and volumetric density of the mass of gravitational of fractal of the Universe excludes the possibility for him to become a source of dark energy in the electromagnetic of fractal of the Universe.

Should the gravitational fractal of the Universe rotate, its period T_g can be determined by the formula of mathematical pendulum, then with formula (27):

$$T_g = 2\pi \sqrt{\frac{R_{Ug}}{g_g}},$$

$$T_g = 9.2246 \times 10^{28} \text{ s}. \quad (28)$$

There are fractals that are older than of the gravitational. Their scale factor is so big that we can not detect their presence by modern devices. If you assign serial numbers fractals (excluding transition fractals): nuclear - 1, electromagnetic - 2, gravitational - 3, ..., and take into account that the ratio of logarithms of the masses and the logarithms of the volume of fractals, and too the ratio of logarithms of masses and logarithms volumes junior and senior fractals is range of about 0.618 - the basis of the golden fractal, it can be assumed that the spatial and energy structure of the Universe is an algebraic multiplicative gold fractal, i.e. logarithms of masses and logarithms of volumes of fractals of the Universe are sequences of Fibonacci numbers. Then the fractal with the serial number 4, and older than the gravitational fractal, taking into account the upper estimate of its mass, is true:

$$Lg(Q_{U4}) = Lg(Q_{Ue}) + Lg(Q_{Ug}) = 79.03 + 136.7 = 215.73,$$

$$Lg(M_{U4}) = Lg(M_{Ue}) + Lg(M_{Ug}^+) = 53.26 + 89.9 = 143.16.$$

Proof of the fractal structure of the universe is also the fact that the fundamental constants are also algebraic structure of the gold fractal [17].

Conclusion

In each fractal of the Universe there is a dominant kind of energy (force interaction) while the "traces" of any and all kinds of energy of other fractals are also present. The energy value of these "traces" decreases with the increase of the difference of fractal numbers and is inversely proportionate to the product of similarity of fractal coefficients by energy between the intermediate fractals.

According to the adopted hypothesis the Universe has a sfumato-fractal structure with spatial and energy characteristics which is based on multiplicative golden fractal. Inflation of space and of energy of the Universe is a stationary sfumato-fractal process that does not require an assumption concerning expansion of the Universe due to dark energy. There exists no dark energy. The effect interpreted as a presence of dark energy is created by a rotary motion of the electromagnetic fractal spherical space.

The authors express gratitude to Professor Krivosheyev O.V. for critical comments and help in the work on this article.

References

1. Martin Rees, "Universe" Published October 2005 by Dorling Kindersley (general editor), updated in

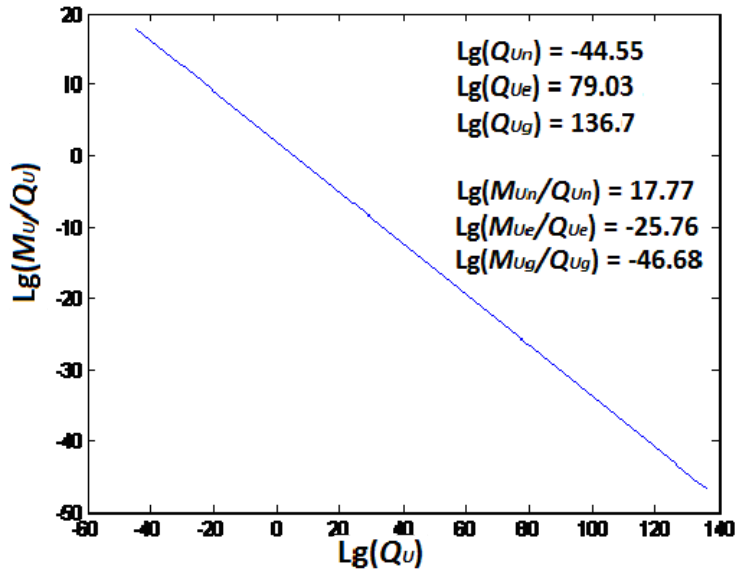


Fig. 2. Volumetric density mass of fractals of the Universe versus its volume for the nuclear, electromagnetic and gravitational fractals of the Universe.

2012.

2. Martin Rees, "From Here to Infinity: Scientific Horizons". Profile Books (2011), updated US edition, W W Norton, 2012.
3. Martin Rees, "What we still don't know" Penguin Press (UK), Pantheon Press (US), 2013.
4. <http://ccapp.osu.edu/workshops/GLCW8/glcw8/talks/mLongo.pdf>
5. <http://www-personal.umich.edu/~mlongo/Handedns/>
6. 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.
7. S.-C. Su and M.-C. Chu, "Is the Universe rotating?", *The Astrophysical Journal*, 703:354–361, September 2009.
8. R. Holman (Carnegie Mellon University), L. Mersini-Houghton (UNC-Chapel Hill), Tomo Takahashi (Saga University), "Cosmological Avatars of the Landscape I: Bracketing the SUSY Breaking Scale", <http://arxiv.org/pdf/hep-th/0611223v1.pdf>
9. R. Holman (Carnegie Mellon University), L. Mersini-Houghton (UNC-Chapel Hill), Tomo Takahashi (Saga University), "Cosmological Avatars of the Landscape II: CMB and LSS Signatures", <http://arxiv.org/abs/hep-th/0612142>
10. Stephen M. Feeney, Matthew C. Johnson, Daniel J. Mortlock, and Hiranya V. Peiris, "First Observational Tests of Eternal Inflation", <http://arxiv.org/pdf/1012.1995v3.pdf>
11. George F. Smoot & Douglas Scott, "The Cosmic Background Radiation, in the Review of Particle Physics", Barnett, R. M., et al., 1996, *Physical Review*, D54, 118; revised and updated 2002, 2004, 2007.
12. <http://www.astro.ubc.ca/people/scott/>
13. V. G. Gurzadyan, R. Penrose, "A rotating space of the Universe, as the source of dark energy and dark matter.", *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 200 – 204, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf
15. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A., "Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance.", *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 7 – 11, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf
16. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A., "Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun as one of the possible sources of auroral radio emission of the planets in the kilometer range.", *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365, 4 (53), p.p. 23 – 32, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-4.pdf
17. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A., "Evaluation of the main spatial characteristics of the observable Universe based on the law "Planck Universal Proportions".", *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365, 1 (54), p.p. 144 – 147, 2016.
18. <http://physics.nist.gov/constants>.
19. Ade, P. A. R.; Aghanim, N.; Armitage-Caplan, C.; et al. (Planck Collaboration): (20 March 2013). "Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results". *Astronomy&Astrophysics* (submitted). arXiv:1303.5062. Bibcode:2013arXiv1303.5062P
20. <http://www.iau.org/>
21. "Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Sky Maps, Systematic Errors, and Basic Results" (PDF). [nasa.gov](http://www.nasa.gov). Retrieved 2010-12-02. (see p. 39 for a table of best estimates for various cosmological parameters)
22. D.N. Spergel, R. Bean, O. Dore et al., "Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology. *Astrophysics*, arXiv:astro-ph/0603449
23. "Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps 2nd Results", p. 2, arXiv <http://arxiv.org/pdf/1212.5225.pdf>
24. Palmer, D., "Hydrogen in the Universe", NASA, 13 September 1997, Retrieved 2008- 02-05.
25. http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask_astro/answers/971113i.html

Рецензія/Peer review : 2.6.2016 р. Надрукована/Printed :28.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

THE GRAVITATIONAL-ELECTROMAGNETIC RESONANCE OF THE SUN IN THE LOW-FREQUENCY OF RADIO SPECTRUM OF THE JUPITER

Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun at frequency 202.97 kHz is found in the low-frequency spectrum of the radio emission of the Earth, Saturn, Jupiter. Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun may be one of the secondary sources of radio emission from planets that have an atmosphere. This resonance is detected not only at the fundamental frequency of 202.97 kHz, but at higher harmonics. The spectrum of the solar wind is modulated gravitational-electromagnetic resonance of the Sun.

Keywords: gravitational-electromagnetic resonance of the Sun, spectrum of the radio emission, universal Planck proportions.

В.Ф. ТИМКОВ

Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины

С.В. ТИМКОВ, В.А. ЖУКОВ

Научно-производственное предприятие «ТЖК»

ГРАВИТАЦИОННО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС СОЛНЦА В НИЗКОЧАСТОТНОМ СПЕКТРЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЮПИТЕРА

Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца на частоте 202.97 кГц обнаружен в низкочастотном спектре радиоизлучения Земли, Сатурна, Юпитера. Гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца может быть одним из вторичных источников радиоизлучения планет, которые обладают атмосферой. Этот резонанс обнаружен не только на основной частоте 202.97 кГц, но и на более высоких гармониках. Спектр солнечного ветра промодулирован гравитационно-электромагнитным резонансом Солнца.

Ключевые слова: гравитационно-электромагнитный резонанс Солнца, спектр радиоизлучения, универсальные пропорции Планка.

1. Introduction

In [1,2,3,4,5,6,7] it is shown, that the auroral radio emission of the planets with an atmosphere is closely connected with the emergence of magnetospheric storms (during magnetospheric sub storms), and its main source and drivers are the following phenomena: gyromagnetic resonance of electrons with an energy of 1 keV (and more) around the magnetic field lines of a planet in the cyclotron of frequency; plasma of planet's magnetosphere and the solar wind plasma.

In [8] it is proposed and experimentally proved the law of "Universal Planck proportions." According to this law, in the observable universe, any body with mass m , creates a gravitational field, which bends the surrounding space with a radius of curvature S (in fact, S - is the length of a gravitational wave) and introduces time delay in signal propagation t_{dm} into this space. Characteristics of the body m , S and t_{dm} are interconnected with universal Planck proportions [8]:

$$m = \frac{m_p}{l_p} S; m = \frac{m_p}{t_p} t_{dm}; S = \frac{l_p}{t_p} t_{dm}; S = \frac{l_p}{m_p} m; t_{dm} = \frac{t_p}{l_p} S; t_{dm} = \frac{t_p}{m_p} m, \quad (1)$$

where: l_p, m_p, t_p - is Planck's constant, correspondingly - length, mass and the Planck time.

Based on the data about the mass of astronomical objects [9] and universal Plank proportions (1) there were calculated length value of a gravitational wave and frequency for thus: Earth, Jupiter, Saturn, Sun [8]:

Name	Weight, kg	Length of a gravitational wave, m	Frequency, GHz
Earth	5.9722×10^{24}	0.00443474	67.6
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	$2,0297 \times 10^{-4}$

In [10] demonstrated the existence of gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency spectrum of the radio emission of the Earth and Saturn. We show the existence of gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency spectrum of the radio emission of Jupiter.

2. The gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency spectrum of the radio emission of the Earth and Saturn

Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun [10] has varying degrees of influence on the auroral

radio emission planets. For comparison, the overall picture of the auroral radio emission of 5 planets is shown in Fig. 1 [7], which shows graphs of dependence of the spectrum of electromagnetic signals the auroral radio emission to the frequency.

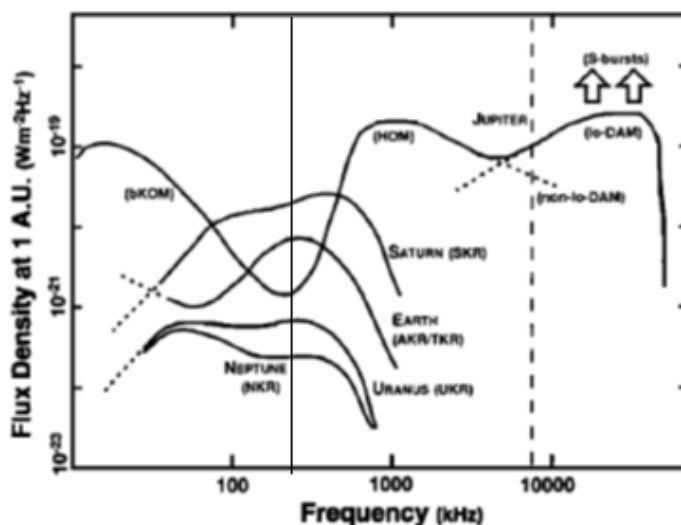


Fig. 1. Comparative spectra of auroral radio emissions of 5 planets: Earth, Saturn, Jupiter, Neptune and Uranus [7].

The auroral radio emission of Uranus and Neptune, as seen from their graphs in Fig. 1 are similar to each other. Despite the fact that the frequency of GERS is in the local maxima of the graphs, the impact of GERS on the auroral radio emission of Uranus and Neptune is minimal. This is due to the considerable distance of the planets from the Sun and therefore a significant reduction in its gravitational potential and a decrease in the density of the solar wind at the location of Uranus and Neptune.

Influence of GERS on the magnetosphere of Jupiter and consequently on his the auroral radio emission is lower than for example in the auroral radio emission of Earth and Saturn (see. Fig. 1). GERS frequency 202.97 kHz is located in a local minimum of low-frequency spectrum of the radio emission of Jupiter.

GERS frequency 202.97 kHz is located in a local maximum of low-frequency spectrum of the radio emission of Earth and Saturn.

As for Saturn in [11] it is presented the results of experiments conducted on board of the Cassini spacecraft studying the effect of radio waves, the waves in the plasma and of the solar wind at auroral radio emission of Saturn. These experiments are the Radio and Plasma Wave Science experiment (RPWS) [12], the Dual Technique Magnetometer (MAG) [13] and the Cassini Plasma Spectrometer (CAPS) [14]. At Fig. 2a (spectrum was obtained in the experiment Cassini - RPWS in the time interval 08/19/2004 - 08/21/2004, that is, day of year DOY 232.5-234.0) and Fig. 3a (DOY 224.0-240.0) [11] present the dynamic spectra, which was obtained during the experiment Cassini - RPWS. In the figures it is clearly seen almost continuous line of high values of the power spectral density of electromagnetic signals at frequencies close to the frequency of 202.97 kHz. At the same time, at other frequencies the spectral power density of the electromagnetic signal is of an intermittent nature. At Fig. 2b in the experiment Cassini - RPWS presents research of the Stokes parameter (Stokes parameter $S = \text{total intensity}$), and Fig. 2c and Fig. 2d present studies of the degree of polarization of the signal, respectively, the circular 2c and line 2d. All figures show the line corresponding to the presence of gravitational-electromagnetic resonance of the Sun at frequency 202.97 kHz.

According to the experimental studies Cassini and Voyager missions, according to [15,16] frequency of auroral radio emission range of Saturn is in the range from several kHz to 1.2 MHz - 1.3 MHz with a peak of signal at a frequency of about 200 kHz. That also confirms the assumption [10]: GERS can be a secondary source auroral radio emission of Saturn at a frequency of 202.97 kHz.

GERS has the greatest influence on the auroral radio emission of Earth. Nature, sources and parameters of the auroral radio emission of Earth studied, for example, in [1,2,3,4,5,6,7,17,18]. In [17] it is presented the results of experiments on the auroral radio emission of Earth, carried on a space probe JIKIKEN (EXOS-B). The authors note that the peak of the power spectrum of signals auroral radio emission of Earth is in the range from 100 kHz to 300 kHz. On the spectrum of auroral radio emission of Earth [17] in Fig. 4 it is clearly seen almost continuous line of signal intensity of auroral radio emission of Earth at a frequency of approximately 202.97 kHz. At the same time, at other frequencies the signal intensity of auroral radio emission of Earth is usually intermittent nature. The presence of a solid line at the frequency of 202.97 kHz says about the relative stability of the signal source at that frequency. The nature of the spectra in Fig. 4 confirms the earlier suggestion that the cyclotron maser mechanism is the primary source of auroral radio emission of Earth. Further, the primary resonance frequencies near 202.97 kHz is captured by electromagnetic gravitationally resonance of the Sun and as the gravity of the Sun is always present,

there is the effect of gravity - electromagnetic generator on frequency 202.97 kHz with paging signal at the cyclotron frequency (or its harmonics).

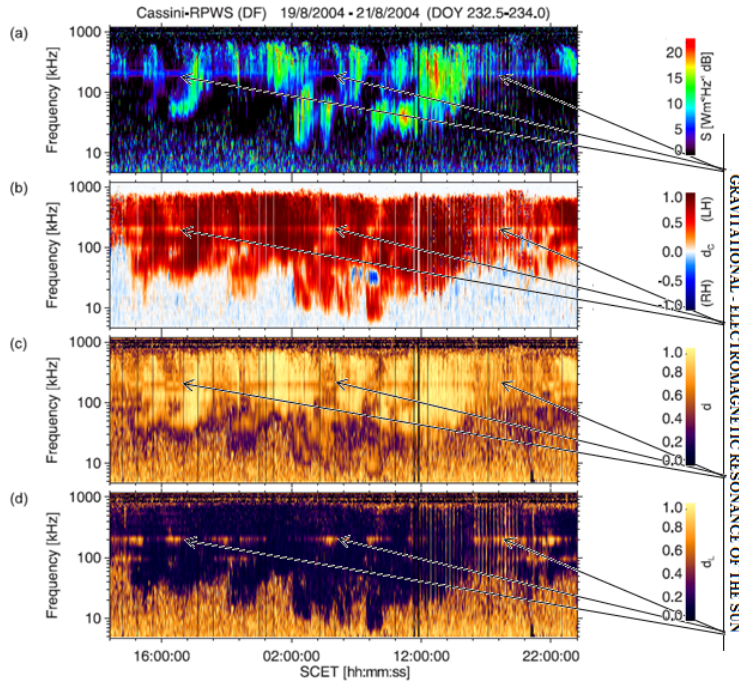


Fig.2. Cassini-RPWS dynamic spectra for (a) the Stokes parameter S (= total intensity), (b) the degree of polarization d_c , (c) the degree of linear polarization d_l and (d) the degree of circular polarization d_r as a result of the Direction-Finding computations for the time period DOY 232.5–234.0, 2004 [11].

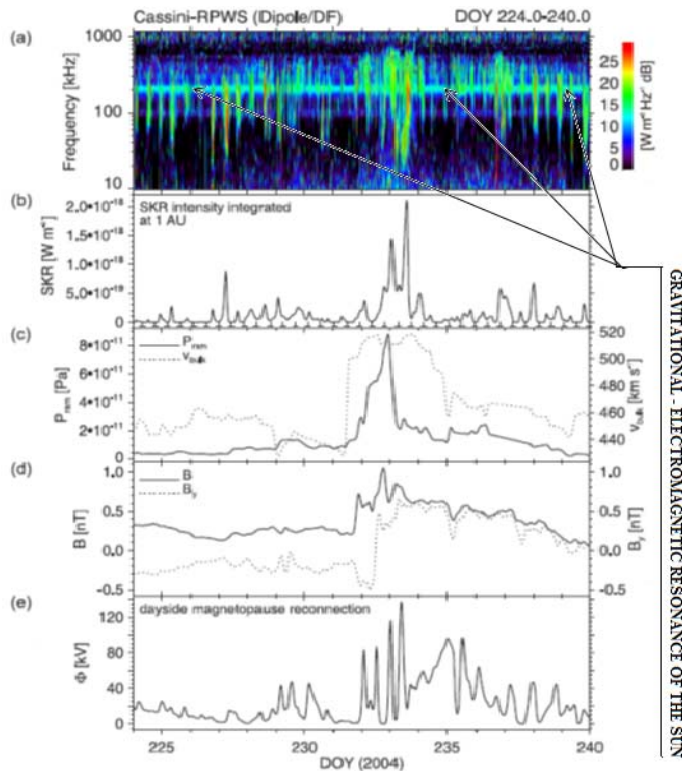


Fig. 3. (a) The RPWS dynamic spectrum, (b) the integrated intensity radio emission profile, (c) profiles for the SW ram pressure (solid) and bulk velocity (dotted), (d) profiles for the interplanetary magnetic field strength (solid) and its y-component (dotted) in KSM-coordinates and (e) the profile of the reconnection voltage at the dayside magnetopause of Saturn during DOY 224–240, 2004 [11].

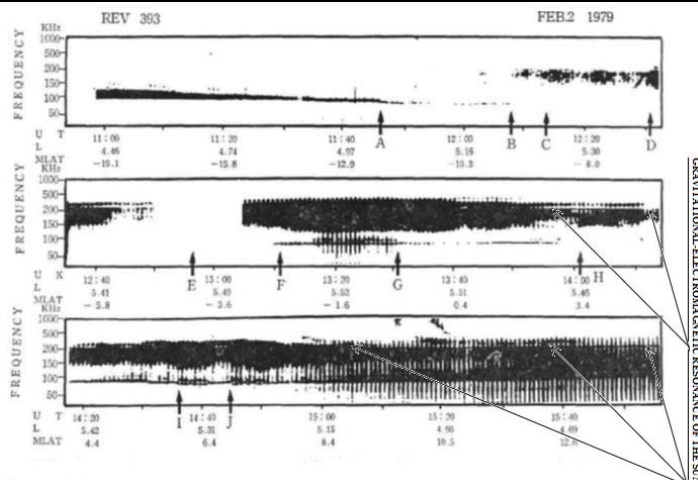


Fig.4. Dynamic spectrum of the auroral radio emission of Earth with a space probe JIKIKEN [17].

During the experiment POLRAD mission Interball 2 it was obtained spectrum of auroral radio emission of Earth in the range of 4 KHz - 1 MHz. In Fig. 5 [18] in addition to the fundamental frequency of 202.97 kHz GERS it is shown second and third harmonics at frequencies of about 406 kHz and 609 kHz.

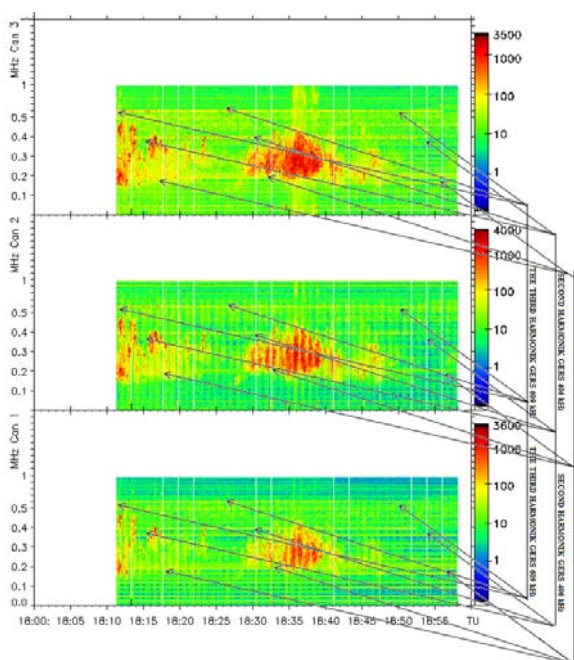


Fig.5. Dynamic spectrum of the auroral radio emission of Earth with Interball 2 by the POLRAD radio-spectro-polarimeter [18].

The presence of higher harmonics GERS in the spectrum of the auroral radio emission of Earth says that the GERS is stable and stationary secondary source of auroral radio emission.

3. The gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency spectrum of the radio emission of the Jupiter

The frequency 202.97 kHz of the gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency of radio spectrum of the Jupiter is located in a range a local minimum intensity of the radio emission of Jupiter (see Fig.1).

In [19] presented a study of low-frequency spectrum of the radio emission of Jupiter, which is obtained by the Cassini mission. In Fig. 6, Fig. 7 and Fig. 8 shows the spectra of Jupiter's radio emission, which are obtained in the course of these studies.

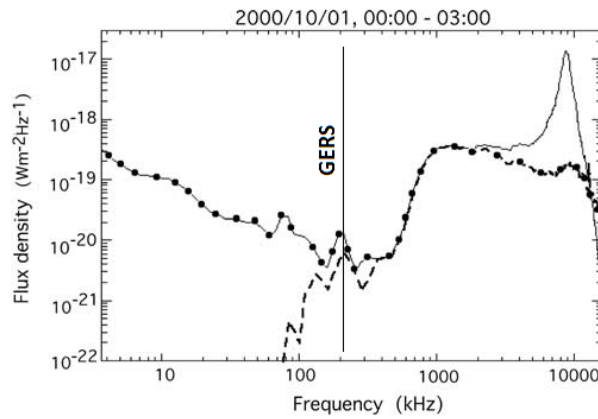


Fig.6. Average spectrum of Jovian radio emissions measured by Cassini [19].

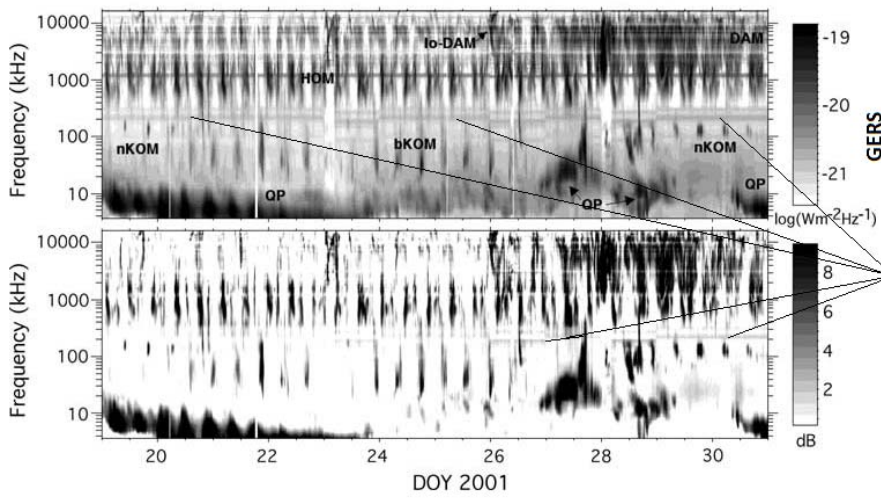


Fig.7. Long-term dynamic spectra of Jovian radio emissions measured by Cassini [19].

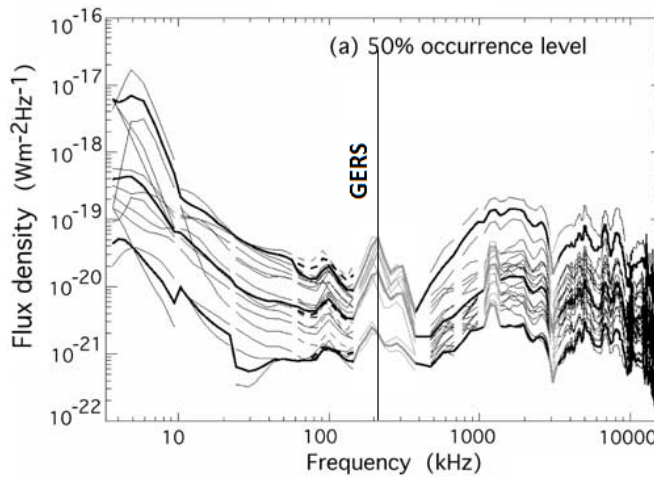


Fig.8. Individual spectra of Jovian radio components computed over 21 selected time intervals during which one or several components is present. Flux density level exceeded 50% of the time [19].

According to the experimental studies of Cassini mission, a local maximum of the spectrum of radio emission of Jupiter is at a frequency close to the frequency 202.97 kHz – it is a frequency of the gravitational-electromagnetic resonance of the Sun.

Conclusion

The experimental studies of mission's: Cassini, JIKIKEN, Interball 2 and Voyager indicate that the low-frequency spectrum of the radio emission from Earth, Saturn and Jupiter have a component at the frequency of 202.97 kHz, which corresponds to the presence of gravitational-electromagnetic resonance of the Sun.

References

1. Gurnett, D. A.,: The Earth as a radio source: Terrestrial kilometric radiation, *J. Geophys. Res.*, 79(28), 4227–4238, doi:10.1029/JA079i028p04227, 1974.
2. Kurth, W. S., M. M. Baumbach, and D. A. Gurnett,: Direction-finding measurements of auroral kilometric radiation, *J. Geophys. Res.*, 80, 2764 - 2770, 1975.
3. Kaiser, M. L., and Alexander, J. K.,: Terrestrial kilometric radiation. III - Average spectral properties, *J. Geophys. Res.*, 82, 3273-3280, 1977.
4. Wu, C. S. and Lee, L. C.,: A theory of terrestrial kilometric radiation, *Astrophys. J.*, 230, 1979.
5. Benson, R.F., Auroral kilometric radiation: Wave modes, harmonics, and source region electron density structures., *J. Geophys. Res.*, 90, 2753- 2784, 1985.
6. Hayes, L. M. and D. B. Melrose,: Generation of ordinary mode auroral kilometric radiation from extraordinary mode waves., *J. Geophys. Res.*, 91, A1, 1986.
7. Zarka, P.,: Auroral radio emission at the outer planets: Observations and theories, *J. Geophys. Res.*, 103, 20159, 1998.
8. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance., *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 7 – 11, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf
9. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>
10. Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun as one of the possible sources of auroral radio emission of the planets in the kilometer range., *International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes*, ISSN 2219-9365, 4 (53), p.p. 23 – 32, 2015. http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-4.pdf
11. Taubenschuss, U., H. O. Rucker, W. S. Kurth, B. Cecconi, P. Zarka, M. K. Dougherty, and J. T. Steinberg,: Linear prediction studies for the solar wind and Saturn kilometric radiation, *Ann. Geophys.*, 24, 3139–3150, 2006, www.ann-geophys.net/24/3139/2006/
12. Gurnett, D. A., Kurth, W. S., Kirchner, D. L., Hospodarsky, G. B., Averkamp, T. F., Zarka, P., Lecacheux, A., Manning, R., Roux, A., Canu, P., Cornilleau-Wehrin, N., Galopeau, P., Meyer, A., Bostrom, R., Gustafsson, G., Wahlund, J.-E., Ahlen, L., Rucker, H. O., Ladreiter, H. P., Macher, W., Woolliscroft, L. J. C., Alleyne, H., Kaiser, M. L., Desch, M. D., Farrell, W. M., Harvey, C. C., Louarn, P., Kellogg, P. J., Goetz, K., and Pedersen, A.: The Cassini radio and plasma wave investigation, *Space Sci. Rev.*, 114, 395–463, 2004.
13. Dougherty, M. K., Kellock, S., Southwood, D. J., Balogh, A., Smith, E. J., Tsurutani, B. T., Gerlach, B., Glassmeier, K.–H., Gleim, F., Russell, C. T., Erdos, G., Neubauer, F. M., and Cowley, S. W. H.: The Cassini magnetic field investigation, *Space Sci. Rev.*, 114, 331–383, 2004.
14. Young, D. T., Berthelier, J. J., Blanc, M., Burch, J. L., Coates, A. J., Goldstein, R., Grande, M., Hill, T. W., Johnson, R. E., Kelha, V., McComas, D. J., Sittler, E. C., Svenes, K. R., Szego, K., Tanskanen, P., Ahola, K., Anderson, D., Bakshi, S., Baragiola, R. A., Barraclough, B. L., Black, R. K., Bolton, S., Booker, T., Bowman, R., Casey, P., Crary, F. J., Delapp, D., Dirks, G., Eaker, N., Funsten, H., Furman, J. D., Gosling, J. T., Hannula, H., Holmlund, C., Huomo, H., Illiano, J. M., Jensen, P., Johnson, M. A., Linder, D. R., Luntama, T., Maurice, S., McCabe, K. P., Mursula, K., Narheim, B. T.,
15. Nordholt, J. E., Preece, A., Rudzki, J., Ruitberg, A., Smith, K., Szalai, S., Thomsen, M. F., Viherkanto, K., Vilppola, J., Vollmer, T., Wahl, T. E., West, M., Ylikorpi, T., and Zinsmeyer, C.: Cassini Plasma Spectrometer Investigation, *Space Sci. Rev.*, 114, 1–112, 2004.
16. Cecconi, B., P. Zarka, and W. S. Kurth,: SKR polarization and source localization with the Cassini/RPWS/HFR instrument: First results, <http://www.lesia.obspm.fr/perso/baptiste-cecconi/preprint/cecconiPRE6.pdf>
17. Menietti, J. D., S.-Y. Ye1, C. W. Piker, and B. Cecconi,: The influence of Titan on Saturn kilometric radiation, *Ann. Geophys.*, 28, p.p.395–406, 2010.
18. Oya Hiroshi, : Summary on Plasma Wave Emissions Observed by JIKIKEN - Preliminary Report for the Initial Phase of the Observation Results, *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 5, Geophysics, Vol. 26, No. 1, pp. 1-14, 1979.
19. http://www.iki.rssi.ru/images/auroral/polrad_1.gif
20. Zarka, P., Cessoni, B., Kurth, W. S.,: Jupiter's low-frequency radio spectrum from Cassini/Radio and Plasma Wave Science (RPWS) absolute flux density measurements., *J. Geophys. Res.*, VOL. 109, A09S15, doi:10.1029/2003JA010260, 2004.

Рецензія/Peer review : 5.5.2016 р. Надрукована/Printed :28.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ОЦІНЮВАННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА
ПОЗИЦІЙНОГО МЕТОДІВ

Виконано оцінювання роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок в дискретних каналах зв'язку. Показано, що кореляційний метод має більшу роздільну здатність, тобто характеризується кращою стійкістю до адитивних завад, оскільки криві, які відповідають кореляційному методу, завжди розміщені нижче, при $m=3-5$.

Ключові слова: бітові помилки, вставки бітів, випадання бітів, адитивні бітові помилки

V. M. KYCHAK, V. D. TROMSYUK
Vinnytsia National Technical University
tvd1989@mail.ru

RESEARCH RESOLUTION CORRELATION AND POSITION METHODS

Annotation. The research-resolution correlation techniques and positional control parameters bit errors in discrete channels. Determined that the correlation method has a higher resolution that has great resistance to the additive noise as curves that match the correlation method, are always lower when $m=3-5$.

Keywords: bit errors, insertion bits, falling bits, additive bit errors.

Вступ

Основна проблема, яка виникає при виявленні бітових помилок і визиває принципові труднощі, полягає в тому, що ці помилки (вставки та випадання біт) безпосередньо спостерігати неможливо. На відміну від адитивних помилок досягнення достатньої точності знаходження бітових помилок є дещо складнішою задачею. Ситуація ще більше ускладнюється при наявності в аналізованому потоці даних фонових адитивних помилок в межах бітових помилок [1, 2].

Для вирішення проблем контролю бітових помилок використовують різноманітні апаратні та програмні засоби. Існуючі методи контролю вимагають вдосконалення та визначення їхніх основних можливостей. Оцінювання можливостей кореляційного та позиційного методів можливе лише через визначення їхньої роздільної здатності, тобто через визначення фази при наявності фонових адитивних помилок в дискретному каналі.

Бітові помилки можна локалізувати лише з деякою похибкою, яка визначається, як місцем виникнення вставки або випадання біт в тестовій послідовності, так і параметрами самої помилки. Загальна похибка та максимальні розміри виявлених бітових помилок залежать від типу застосованої тестової послідовності, а також від рівня помилок в каналі. Тому для виявлення бітових помилок важливо оцінити роздільну здатність позиційного та кореляційного методів, щоб з'ясувати рівень ймовірності невірної визначення фази, яка може виникати при застосуванні цих методів.

Кореляційний і позиційний методи дозволяють виявляти бітові помилки на фоні адитивних завад і обчислювати їх параметри, а також відокремлювати одну від одної помилки різних типів: вставки, випадання та фонові адитивні помилки. Позиційний метод допускає просту як апаратну, так і програмну реалізацію [1]. Оцінка роздільної здатності кореляційного та позиційного методів, повинна дати загальне представлення про ефективність цих методів при виявленні вставок і випадань бітів в аналізованій тестовій послідовності при наявності в дискретному каналі фонових адитивних помилок.

Ймовірність невірного виявлення фази

Для отримання попередніх оцінок роздільної здатності визначення фази при наявності фонових адитивних помилок необхідно провести дослідження чутливості кореляційного та позиційного методу до цих помилок. В якості оцінки будемо використовувати ймовірність невірного визначення фази p_{err} відрізка прийнятої із каналу послідовності (вікна) в залежності від рівня адитивних бітових помилок (BER) в досліджуваному каналі передачі або відновлення даних (без врахування бітових помилок) [3-6].

В результаті повного перебору всіх можливих комбінацій помилок за допомогою програмної моделі отримані залежності кількості випадків невірного визначення фази від кількості помилок в досліджуваній послідовності (вікні). При цьому довжина послідовності вибирається рівною періоду ПВП (для $m=3, 4, 5$ відповідно $T=7, 15, 31$). Названі залежності для кореляційного та позиційного методів приведені в табл. 1-5.

Залежності ймовірностей неправильного виявлення фази у послідовності від ймовірності помилок в дискретному каналі приведені на рис. 1-3. При цьому графіки із суцільною лінією відносяться до позиційного методу, а графіки пунктиром відносяться до кореляційного методу. Ймовірність неправильного виявлення фази розраховується таким чином [2]:

$$p_{err} = \sum_{i=1}^T e_i p^i \cdot (1-p)^{T-i},$$

де e_i – кількість випадків неправильного виявлення фази при наявності i -того числа бітових помилок у

Таблиця 1.

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів при $m=3, T=7$

i	p	Кореляційний метод		Позиційний метод	
		e_i	p_{err}	e_i	p_{err}
1	10^{-6}	0	10^{-14}	0	10^{-9}
2	10^{-5}	0	10^{-13}	6	$5 \cdot 10^{-9}$
3	10^{-4}	24	$2 \cdot 10^{-12}$	20	$1,5 \cdot 10^{-8}$
4	10^{-3}	6	$5 \cdot 10^{-11}$	31	10^{-7}
5	10^{-2}	18	$6 \cdot 10^{-8}$	21	$1,63 \cdot 10^{-5}$
6	10^{-1}	0	$9,2 \cdot 10^{-5}$	7	$4,1 \cdot 10^{-3}$
7	10^0	0	$0,35 \cdot 10^{-1}$	0	$1,1 \cdot 10^{-1}$

Із графіка на рис. 1 можна зробити висновок, що кореляційний метод має більшу роздільну здатність, тобто характеризується кращою стійкістю до дії адитивних завад, оскільки крива, яка відповідає кореляційному методу розміщена нижче. Для $m=3$ при ймовірності фонові адитивної помилки $p=0,1$ ймовірність невірної виявлення фази p_{err} складає $4,1 \cdot 10^{-3}$ і $9,2 \cdot 10^{-5}$ для позиційного та кореляційного методів, відповідно.

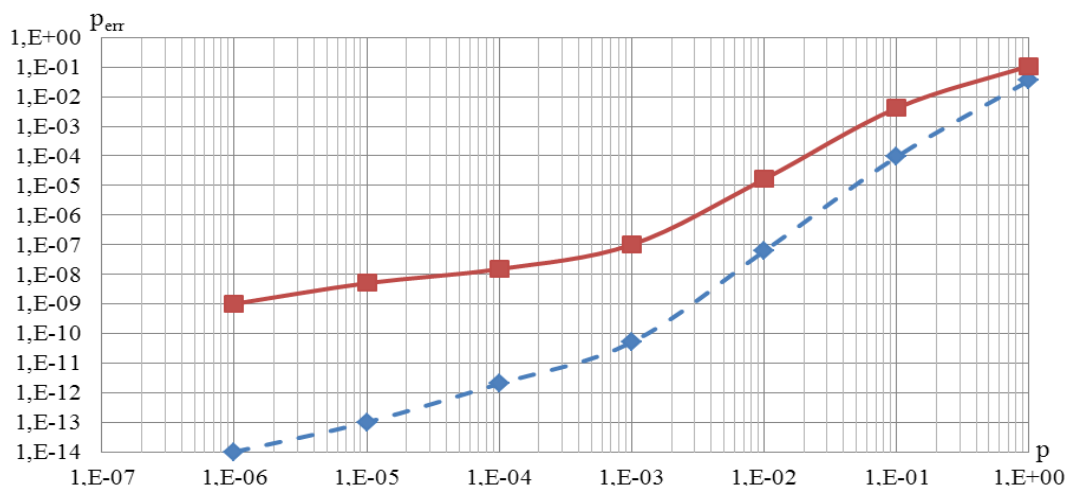


Рис. 1. Залежність ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=3$

Для порівняння проведемо дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок в дискретних каналах при $m=4, T=15$ (табл. 2, 3). Графік залежності ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=4$ наведений на рис. 2.

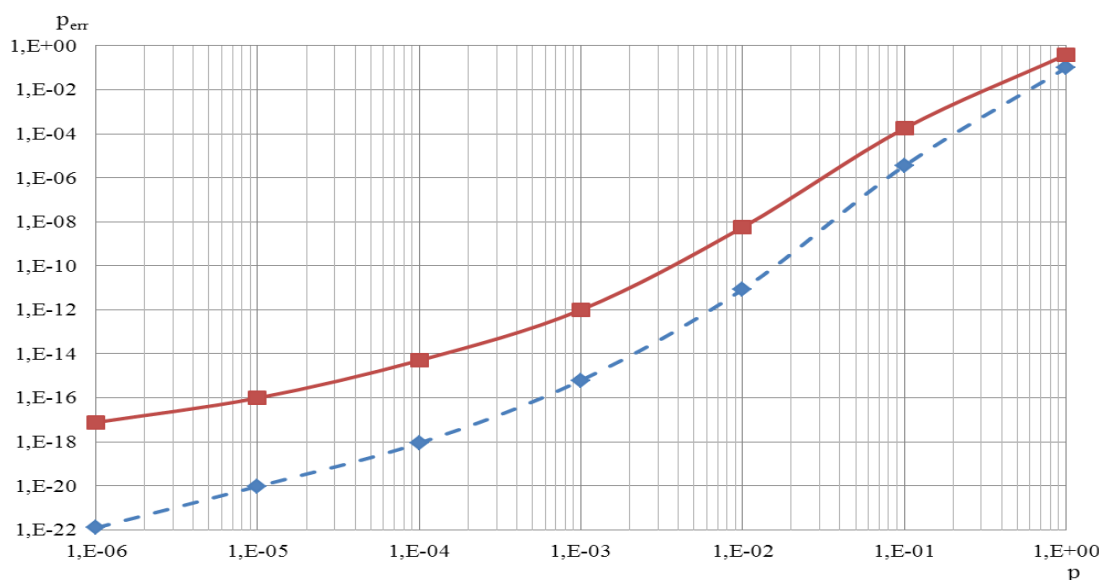
Таблиця 2.

Випадки невірної визначення фази для кореляційного та позиційного методів при $m=5, T=31$

i	C_i^r (кількість комбінацій)	e_i (кореляційний метод)	e_i (позиційний метод)
1	15	0	0
2	105	0	0
3	455	0	0
4	1365	0	303
5	3003	784	1341
6	5005	2968	3683
7	6435	2856	5630
8	6435	3486	6142
9	5005	2450	4892
10	3003	1302	2990
11	1365	490	1364
12	455	392	455
13	105	0	105
14	15	0	15
15	1	0	0

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів при $m=4$, $T=15$

ρ	Кореляційний метод	Позиційний метод
	P_{err}	P_{err}
10^{-6}	$1,23 \cdot 10^{-22}$	$7,6 \cdot 10^{-18}$
10^{-5}	$9,4 \cdot 10^{-21}$	$9,75 \cdot 10^{-17}$
10^{-4}	$8,7 \cdot 10^{-19}$	$5 \cdot 10^{-15}$
10^{-3}	$6,2 \cdot 10^{-16}$	$9,89 \cdot 10^{-13}$
10^{-2}	$8,34 \cdot 10^{-12}$	$5,61 \cdot 10^{-9}$
10^{-1}	$3,48 \cdot 10^{-6}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$
10^0	$9,78 \cdot 10^{-2}$	$3,91 \cdot 10^{-1}$

Рис. 2. Залежність ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки ρ при $m=4$

Для порівняння та отримання остаточної оцінки проведемо дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок в дискретних каналах зв'язку при $m=5$, $T=31$ (табл. 4, 5). Графік залежності ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки ρ при $m=5$ наведений на рис. 3.

Отримання оцінки роздільної здатності позиційного та кореляційного методів контролю параметрів бітових помилок при $m=5$, $T=31$ пов'язано із додатковими підрахунками ймовірності невірного визначення фази для всіх існуючих комбінацій помилок (вставок і випадань бітів) при наявності в каналі фонових адитивних помилок. За рахунок отримання таких оцінок можна більш точно говорити про можливість позиційного та кореляційного методів при реєстрації вставок і випадань бітів в досліджуваній тестовій послідовності в дискретному каналі, що досліджується.

Таблиця 4.

Випадки невірного визначення фази для кореляційного і позиційного методів при $m=5$, $T=31$

i	C_i^T (кількість комбінацій)	e_i (кореляційний метод)	e_i (позиційний метод)
1	31	0	0
2	465	0	0
3	4495	0	0
4	31465	0	0
5	169911	0	0
6	736281	0	5146
7	2629575	0	155486
8	7888725	0	1317616
9	20160075	343200	6486642
10	44352165	5332560	21794531
11	84672315	33729360	54775096
12	141120525	78794520	108841155

13	206253075	101892840
14	265182525	145586520
15	300540195	157217640
16	300540195	160546350
17	265182525	138891090
18	206253075	112514430
19	141120525	72530850
20	84672315	43631910
21	44352165	21238170
22	20160075	11444070
23	7888725	3227610
24	2629575	1375320
25	736281	241080
26	169911	80640
27	31465	25200
28	4495	0
29	465	0
30	31	0
31	1	0

Таблиця 5.

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів при $m=5, T=31$

p	Кореляційний метод	Позиційний метод
	p_{err}	p_{err}
10^{-6}	$1,1 \cdot 10^{-35}$	10^{-27}
10^{-5}	$4,1 \cdot 10^{-33}$	$1,7 \cdot 10^{-25}$
10^{-4}	$7,3 \cdot 10^{-30}$	$6 \cdot 10^{-23}$
10^{-3}	$1,2 \cdot 10^{-27}$	$5,8 \cdot 10^{-21}$
10^{-2}	$9,54 \cdot 10^{-20}$	$3,61 \cdot 10^{-14}$
10^{-1}	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$3,73 \cdot 10^{-3}$
10^0	$5,68 \cdot 10^{-3}$	$1,41 \cdot 10^{-1}$

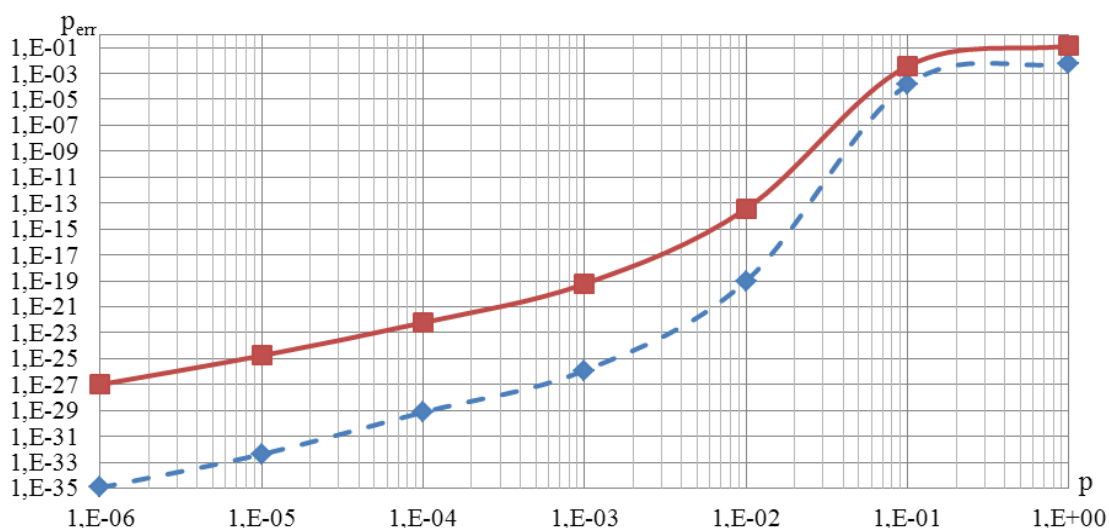


Рис. 3. Залежність ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=5$

Із графіка на рис. 3 можна зробити висновок, що кореляційний метод має кращу роздільну здатність, тобто характеризується кращою стійкістю до адитивних завад, оскільки крива, яка відповідає кореляційному методу, розміщена нижче, при всіх значеннях m . Наприклад, для $m=5$, при ймовірності фонові адитивної помилки $p=0,1$ ймовірність невірного виявлення фази p_{err} складає $3,73 \cdot 10^{-3}$ для позиційного і $1,46 \cdot 10^{-4}$ для кореляційного методів. Такий результат свідчить про кращі можливості кореляційного методу при визначенні фази в досліджуваних бітових послідовностях, що дозволяє уникати невірних оцінок появи в ставок і випадань в аналізованій бітовій послідовності.

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок дозволяє зрозуміти можливості цих методів при аналізі дискретних каналів на наявність вставок і випадань бітів в інформаційній або тестовій бітовій послідовності. Також можна побачити, як

адитивні бітові помилки впливають на здатність методів виявляти вставки та випадання бітів в аналізованій тестовій послідовності.

Ефекти роздільної здатності кореляційного та позиційного методів

Один із ефектів роздільності здатності кореляційного та позиційного методів полягає в тому, що запропоновані методи, особливо при наявності бітових помилок не можуть розділяти дві та більше рядом розміщених помилки (рис. 4). Таким чином має місце об'єднання бітових помилок при їх виявленні і як наслідок, реєстрація на виході пристрою однієї помилки з іншими параметрами.

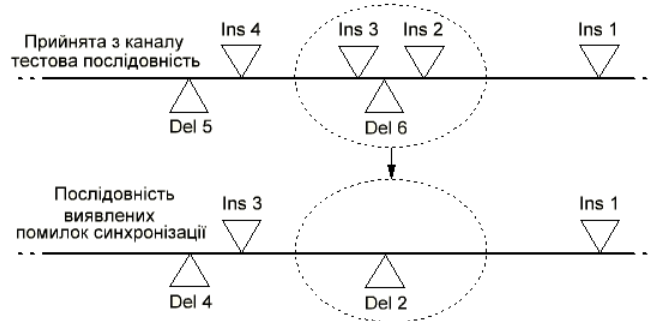


Рис. 4. Ефект об'єднання бітових помилок (Ins – вставки, Del – випадання)

Як видно з рис. 4 параметри такої помилки пов'язані із параметрами декількох розміщених поряд помилок. У вхідному потоці параметр і тип виявленої бітової помилки знаходиться таким чином:

$$\Delta L_{SE} = \sum_{i=1}^n \Delta L_i,$$

де n – кількість бітових помилок в межах деякої невеликої локальної області; ΔL_i – параметр (кількість вставлених або випавших біт) і тип i -тої бітової помилки в локальній області (випадання зі знаком "-", вставка – зі знаком "+"); ΔL_{SE} – параметр і тип виявленої бітової помилки.

Отже, у випадку групування бітових помилок при правильній роботі пристрою виявлення бітових помилок на його виході в потоці станів дискретного каналу буде спостерігатися таке співвідношення:

$$p_{ins} - p_{del} \approx p'_{ins} - p'_{del},$$

де p_{ins} – ймовірність вставки біта в каналі, p_{del} – ймовірність випадання біта в каналі p'_{ins} – ймовірність вставки біта на виході пристрою, p'_{del} – ймовірність випадання біта на виході пристрою.

Об'єднання бітових помилок, які знаходяться поряд, в першу чергу пояснюється обмеженими можливостями тестової послідовності. Даний ефект, очевидно, буде підсилюватися при наявності адитивних помилок. Необхідність прийняття рішення про наявність бітових помилок в межах ділянки кінцевої довжини (дві послідовності) прийнятої із каналу тестової послідовності є іншою причиною, яка викликає ефект об'єднання бітових помилок. Зменшення довжин послідовностей призводить до збільшення ймовірності невірного визначення фази у випадку високого рівня бітових помилок.

Другий ефект пов'язаний із локалізацією бітових помилок, що призводить до виникнення похибки обчислення позицій бітових помилок, що призводить до появи помилкових (кінцевих) пакетів адитивних помилок при реєстрації. На рис. 5 показано виникнення помилкового пакета адитивних помилок (випадок 1) внаслідок неточної локалізації бітової помилки. У випадку точної локалізації (випадок 2) бітової помилки і додаткові адитивні помилки не реєструються.

При виявленні та визначенні параметрів бітових помилок виникає таке поняття, як недопустима похибка. Ймовірність недопустимої похибки рівна відношенню кількості невірно виявлених бітових помилок і їх невірно знайдених параметрів (тип помилки та довжина в бітах) до числа всіх бітових помилок.

До причин виникнення недопустимої похибки відносяться:

- не виявлення бітової помилки (вставки та випадання біт), якщо її довжина кратна періоду тестової послідовності;
- об'єднання бітових помилок, які знаходяться поряд;
- неправильне визначення параметрів вставки (випадання), якщо її довжина перевищує половину періоду тестової послідовності;
- неможливість правильного визначення параметрів вставок (випадань) при недопустимому зниженні величини ваги оцінок фази у послідовностях обробки через велику інтенсивність фонових адитивних завад в досліджуваному каналі [5, 6].

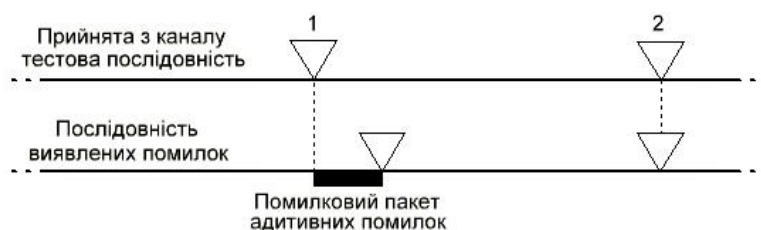


Рис. 5. Помилковий пакет адитивних помилок, який являється наслідком неточної локалізації бітових помилок

Потрібно відмітити, що якщо найбільш ймовірні фази сигналів у двох послідовностях визначені правильно, то параметри вставки або випадання біт будуть завжди визначені правильно при наявності однієї бітової помилки довжиною менше ніж $T/2$ в межах двох суміжних аналізованих відрізках прийнятої із каналу тестової послідовності, а також у всіх інших випадках при відсутності ефекту об'єднання. В свою чергу, якщо параметри бітових помилок знайдені правильно (знайдена позиція в потоці, тип і довжина в бітах), то подальше визначення параметрів фонових адитивних (бітових) помилок в межах вставки або випадання представляє собою досить просту задачу.

Висновки

Проведене дослідження роздільності здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок. При цьому показано, що кореляційний метод характеризується кращою роздільною здатністю, тобто є стійкішим до адитивних завад, оскільки крива (позначена пунктиром), яка відповідає кореляційному методу на приведених графіках завжди розміщена нижче.

Досліджені ефекти роздільної здатності кореляційного та позиційного методів дозволяють однозначно визначити випадки в яких не можливо розрізнити бітові помилки, які знаходяться поряд, що призводить до появи додаткового пакету адитивних помилок.

Література

1. Кичак В. М. Кореляційний метод оцінювання параметрів бітових помилок / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2015. – №5. – С. 180-185.
2. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999. – 196 с.
3. Sudhir Babu and Dr. K.V Sambasiva Rao. Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 26– No.9, July 2011.
4. Deepak K. Chy , Md. Khaliluzzaman. Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER. International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing (2330-1007) Volume 6– No.6, February 6, 2015, pp. 7-12.
5. Ian Poole. Bit Error Rate Testing: BER Test [електронний ресурс] // RF Tecnology & Design: Resources and analysis for electronics engineers. – Режим доступу: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-testing-bert.php> (дата звернення 01.06.2016).
6. Gary Breed. Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issues. High Frequency Electronics, LLC., January 2003, pp. 46-48.

References

1. Kychak V. M. Koreljacijnyj metod ocinjuvannja parametriv bitovykh pomylok / V. M. Kychak, V.D. Tromsjuk//Visnyk Khmeljnycjkogho nacionaljnogho universytetu. Tekhnichni nauky – 2015. – №5. – С. 180-185.
2. Baklanov Y. G. Metody yzmerenyj v systemakh svjazy/ Y. G. Baklanov – М. : ЭКО-ТRENДЗ, 1999. –196 s.
3. Sudhir Babu and Dr. K.V Sambasiva Rao. Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 26– No.9, July 2011.
4. Deepak K. Chy , Md. Khaliluzzaman. Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER // International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing (2330-1007) Volume 6– No.6, February 6, 2015, pp. 7-12.
5. Ian Poole. Bit Error Rate Testing: BER Test [elektronnyj resurs] // RF Tecnology & Design, INC: Resources and analysis for electronics engineers. – Rezhym dostupu: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-testing-bert.php> (data zvernennia 01.06.2016).
6. Gary Breed. Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issues. High Frequency Electronics, LLC., January 2003, pp. 46-48.

Рецензія/Peer review : 25.5.2016 р.

Надрукована/Printed :28.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МОДЕЛЬ ПОЯВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА В ПРИРОДЕ

Предложена модель появления в природе элементарных частиц вещества таких, как: электрон, позитрон, гравитационные массы, движущиеся в противоположные направления. На основе этих частиц показано, каким образом из них формируются нейтрон, протон и атом водорода. Предложена модель способности запоминать информацию в природе на основе близости свойств фотона и электрона. Эта модель запоминания показана на примере атома водорода.

Ключевые слова: нейтрон, протон, позитрон, гравитационный диполь, водород

V.A. VYSHINSKIY

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

MODEL APPEARANCE ELEMENTARY PARTICLES OF MATTER IN NATURE

A model of visiting the nature of elementary particles of matter such as electrons , positrons , gravitational mass, moving in opposite directions . On the basis of these particles is shown how they are formed from a neutron, proton and hydrogen. The model 's ability to memorize information in nature , based on proximity to the properties of the photon and electron. This model is shown in Example storing hydrogen atom.

Keywords: neutron, proton, positron, the gravitational dipole, hydrogen

1. Введение

Напомним – вакуум представляет собой невещественную форму существования материи. Он имеет однородную структуру сгустков материальной субстанции, каждый из которых вне вакуума находится во вращательном движении по аналогии с планетарной системой Земля-Луна [1], т.е. в нем имеется материальное содержимое, которое расположено в центре сгустка, и вращается вокруг него, как бы «играет» роль Земли. Вокруг этой центральной части вращается меньшая совокупность материального содержимого сгустка, которая также проворачивается вокруг собственного центра, как и Луна в системе Земля-Луна. Обратим особое внимание на то, что вращение «лунной» части сгустка происходит в результате взаимодействия гравитационного и кинетического полей, генерируемых в рассматриваемой конструкции сгустка между центральной материальной его частью и той внешней, которая находится на орбите вращения [1]. Если остановить это «лунное» вращение, то под действием силы, исходящей из центра сгустка, «лунная» его часть, пытается возобновить движения вдоль своей орбиты. Это свойство по-особому проявляется в вакууме, который представляет собой однородную совокупность таких сгустков. Под действием взаимного их притяжения вращение спутниковых частей останавливается, причем в одном и том же положении каждого сгустка [1]. Такая остановка вызывает напряженное состояние, как в каждом сгустке, так и в вакууме в целом, тем самым, появляется упругость, и регистрируется она в виде известной взаимозависимости электрического и магнитного поля.

Рассмотренное выше взаимодействие сгустков в вакууме позволяет построить более аргументированную модель физических процессов, происходящих в электромагнитных явлениях. Ведь нарушение напряженного состояния сгустка вызывает колебательный процесс в нем, после чего он распространяется на материальную среду вакуума в целом, в виде волнового состояния, и которое физиками-экспериментаторами регистрируется, как электромагнитная волна (фотон). Следуя, предложенной нами модели вакуума [1], фотон распространяется в его «независимой» двумерной части пространства. Эта особенность формирует обособленность от остальной части вакуумной среды, что, в конечном итоге, придает ему свойство дискретности, которое присуще частице. Отсюда, фотон можно отнести к элементарной частице вещества. Причем, первой, поскольку, начиная с нее, происходит «рождение» всего вещества в окружающей среде. Кроме того, как показывают наши исследования, эта обособленность фотона в своем двумерном пространстве, «играет» в живой природе очень важную роль. Как будет показано «живая» форма существования материи неразрывно связана с обработкой информации, носителем которой является фотон, и его нахождение в своем двумерном пространстве ограждает полезную (рабочую) информацию для живого организма от помех, появляющихся в других двумерных пространствах вакуума. Однако, если фотоны расположены в одном и том же пространстве, то в этом случае они взаимодействуют друг с другом – их переменные напряженности электрического и магнитного поля накладываются друг на друга, создавая таким способом, например, эффект интерференции. Издавна такие фотоны называют когерентными.

Дальнейшее формирование привычного для нас вещества начинается с обрыва электромагнитных колебаний в фотоне, во время которого и рождаются шесть его элементарных частицы. Напомним, что кроме этих частиц в природе существуют еще две элементарные частицы, представляющие оба знака напряженности электрического поля, и которые появляются в результате механических взаимодействий (трений, ударов) вещественных образований. Эти элементарные частицы, в отличие от им подобным по знаку напряженности электрического поля – электрона и позитрона, не находятся в движении. Они остаются в том месте пространства, где и появились. Итого, вместе с фотоном элементарных частиц вещества в природе насчитывается девять. В этом месте статьи обратим внимание на то, что под элементарной частицей вещества следует понимать материальное образование, часть которого уже не проявляет себя как вещество. В настоящей работе, на основе такого понимания элементарных частиц, попытаемся, на основе,

отмеченных выше девяти таких частиц, построить модель возникновения в природе более сложных формирований вещества таких, как нейтрон, протон, атом и его ядро. Кроме того, попытаемся «заглянуть» в природу появления живой материи.

2. Виды обрыва электромагнитных колебаний в фотоне.

Итак, как уже отмечалось «рождение» вещества в вакууме возникает при нарушении его однородности, которая является результатом ликвидации напряженности спутниковой части в любом его сгустке. Сняв со сгустка напряженность, спутниковая его часть приходит в движение, проворачиваясь на один оборот, и, тем самым, вызывает изменение величин силовых линий напряженности электрического и магнитного поля в вакууме, а это, в свою очередь, приводит его в волновое состояние. Так в «невидимом» вакууме появляется («засвечивается») электромагнитная волна (фотон), и ее, как уже отмечалось, мы относим к первой элементарной частице, поскольку с нее начинается дальнейший путь формирования вещества, связанный [1] с обрывом колебательного процесса в фотоне. Поскольку колебания имеют свои минимумы и максимумы значений напряженности электрического и магнитного поля, то, именно при наступлении одного из этих положений и происходит обрыв волны, в результате чего и появляются последующие элементарные частицы вещества – частицы гравитационной массы и массы магнитного поля, электроны и позитроны.

Элементарные частицы вещества, «ответственные» за его массу, как уже отмечалось в [1] появляются при обрыве колебаний в то время, когда фотон отражает максимальное значение магнитного полюса Норд, либо полюса Зюйд. Для осуществления обрыва в этот момент колебания необходимо подействовать на фотон большой напряженностью магнитного поля. То есть, по аналогии с генерацией катодных лучей в электронной лампе, когда «рождается» фотон на подогретом катоде, то в этот момент сгусток вакуума, пришедший во вращение, поворачивается в ту сторону, в которую в вакууме увеличивается отрицательная составляющая силовой линии электрического поля, соответствующая заряду электрона. В природе магнитные поля с такой достаточной для рассматриваемого обрыва колебаний напряженностью могут появляться при так называемом Большом взрыве, происхождение которого, как известно, гипотетично, и оно может быть, а может и не быть. Ведь эта гипотеза о таком взрыве, выдвинутая почти сто лет тому назад, и так еще никем не подтверждена.

В то же время в природе «рождаются» сложные частицы вещества из тех же элементарных и без катаклизма, к которому относят отмеченный взрыв. Покажем возможность несколько иного явления в природе, при котором могут возникнуть большие потенциалы напряженности, как магнитного поля, так и электрического, и которые «способны» оборвать колебательный процесс в фотоне. В [2] исследуется распределение напряженности силовых линий, характеризующие произвольные поля, как одно полярные – гравитационные, так и двух полярные – электрические и магнитные. Выведена функция изменения напряженности поля, т.е. количество силовых линий в зависимости от расстояния до их источника. Эта функция имеет вид

$$F = \arctag \frac{1}{x} \quad (1),$$

где F – потенциал напряженности, измеряемый силой воздействия, x – расстояние до источника поля, потенциал которого измеряется.

Анализируя график этой функции, заметим, что она напоминает гиперболу. Отличие состоит только лишь в том, что ее приближение к нулевой точке абсциссы стремится, не к противоположным направлениям бесконечности (плюс, минус), а к фиксированному значению напряженности, которое способно «выработать» рассматриваемый источник поля в точке пространства, где он расположен. Покажем, что в природе имеются явления, в которых, с учетом модели согласно выражению (1), возникает напряженность магнитного поля достаточная, чтобы остановить колебательный электромагнитный процесс в фотоне, и получить элементарную частицу гравитации вещества. Предположим, что в вакууме движутся два фотона по соседним лучам, т.е. в одном и том же двумерном пространстве на минимальном, как позволяет это природа вещества, расстоянии. Их появление во времени должно быть сдвинуто на 90^0 в электромагнитных колебаниях. Тогда, в сгустках, генерирующих эти фотоны, спутниковые части, проворачиваясь, будут вызывать магнитные силовые линии противоположных полюсов. Таким образом, между фотонами, в соседних сгустках на минимальном расстоянии x появятся силы притяжения, которые, по своему максимальному значению напряженности магнитного поля, способны остановить колебательный процесс, сформировав, тем самым, две частицы, которые начинают двигаться вдоль оси абсцисс в противоположных направлениях Декартовой системы координат каждого, в отдельности, сгустка. Однако силы притяжения напряженности магнитного поля этого движения не «допустят», и будет сформирована «покоящаяся» структура вещества, состоящая из двух элементарных его частиц гравитационного поля, названного нами гравитационным диполем.

В таком диполе силовые линии гравитации не располагаются на общей оси аппликат их Декартовых систем координат. В составляющих диполь сгустках такой общей оси не существует, ведь их оси несколько сдвинуты друг по отношению к другу, и в результате чего не все силовые линии в элементарных частицах гравитации будут скомпенсированы. Часть, из них, «выйдут» в вакуумную среду за пределы диполя, тем самым, формируя силы притяжения гравитационного поля, но уже диполем.

Следует заметить, что по ходу движения рассмотренных выше двух фотонов, аналогичные гравитационные диполи появляются друг за другом, и что, при достаточной их плотности в определенном

месте пространства, и в результате взаимного гравитационного притяжения, в одной пластине (плоскости двумерного пространства) формируются их скопления. Так появляется нейтрон [3], который, обратив внимание, представляет собой плоскую структуру, расположенную в одной пластине, и только при возникновении явления инерции, эта пластина может перемещаться в пространстве в ту либо иную сторону вдоль оси абсцисс, т.е. при этом появляется третье измерение.

Как уже отмечалось, кроме элементарных частиц вещества, отвечающих за его массу, в природе из фотона, в результате обрыва его колебательного процесса, образуются представители электрического поля – в одном случае электрон, а в другом позитрон. Напомним, в работе [1] рассмотрен обрыв фотона, который происходит при генерации катодных лучей, т.е., например, в электронной лампе. Такой способ обрыва фотона – рукотворный и природой для генерации, отмеченных выше частиц, представляющих электрическое поле, по всей видимости, не предусмотрен. Покажем, как аналогично гравитационным диполям, в скоплениях фотонов, может появиться, и электрон, и позитрон.

Предположим, что в одной пластине вакуума вдоль оси ординат друг за другом появятся два фотона, электромагнитный колебательный процесс в которых сдвинут на 180° . Тогда в вакууме, на этой оси, появятся, в течение колебательного процесса, напряженности электрического поля противоположного знака, которые, находясь друг от друга на таком малом расстоянии, что согласно функции (1), их напряженности будут достаточны для обрыва колебательного процесса, а это и позволит, при взаимодействии друг с другом, их колебательный процесс оборвать. Так в природе появляются два движущихся электрических заряда противоположных знаков вдоль следования их фотонов, с известной скоростью света. Эти два электрических заряда и представляют собой элементарные частицы вещества.

3. Формирование частиц вещества со сложной структурой

Если в вакуумной среде происходит массовая генерация фотонов, отстоящих в пространстве и во времени на самом малом расстоянии друг от друга, то, тем самым, в ней создаются необходимые условия для появления гравитационных диполей и посылки пар элементарных частиц вещества, представляющих противоположные заряды электрического поля. Кроме того, малые расстояния между такими частицами вещества способствуют, как уже отмечалось ранее, формированию нейтронов, состоящих из гравитационных диполей [2]. Между нейтронами и парами элементарных частиц – позитронами и электронами возникают гравитационные взаимодействия, таким образом, что отмеченная выше пара частиц начинает двигаться по окружности вокруг центра нейтрона со скоростью света. Поскольку электрон находился вовремя своего движения впереди позитрона то в новой структуре вещества, он находится на внешней орбите вращения вокруг нейтрона. Что касается позитрона, который двигался вслед за электроном до формирования, рассматриваемой структуры, то его место расположения будет ближе к центру нейтрона.

Такая структура вещества, состоящая из нейтрона, позитрона и электрона является атомом водорода [2]. Движение пары противоположных электрических зарядов вокруг нейтрона (ядра атома) подчинено взаимодействию двух полей – электрического и гравитационного. Оба эти поля притяжением своих силовых линий стремятся «упасть» на нейтрон, т.е. осуществить так называемую аннигиляцию (возникновение двух фотонов). Если электрон и позитрон, притягиваясь, друг к другу, находятся под действием электрических сил, то в это их взаимодействие вмешиваются гравитационное взаимодействие совместно с кинетическим явлением (кинетическим полем). Такое влияние гравитации и кинетики на электрон и позитрон не позволяет совместиться им в пространстве орбиты вокруг нейтрона. Здесь ситуация, которую мы уже неоднократно наблюдали в природе, которая имеет место между двумя источниками гравитационного поля. Напомним, между Землей и Луной, когда приближение Луны к Земле вызывает наш естественный спутник двигаться перпендикулярно к оси, соединяющей центры этих двух источников гравитации. Такое их взаимодействие приводит к тому, что спутник вращается по круговой орбите, не позволяя Луне упасть на Землю. В этом месте следует обратить внимание на то, что гравитационные силовые линии вместе с кинетикой значительно превышают, по своей величине, электрическое взаимодействие электрона и позитрона. Ведь их носителями является нейтрон, в котором материи представлено больше, нежели она находится в элементарных частицах электрон и позитрон. Обратим внимание еще и на то, что если электрон «покинет» свою орбиту вокруг нейтрона (ядра атома), в силу своей более удаленности от центра нейтрона то оставшийся позитрон (в паре электрон-позитрон) настолько приблизится к центру нейтрона под действием гравитационного притяжения, что уже будет составлять с ним единое целое. Такая структура материальных частиц (сгустков материальной субстанции вакуума) будет более устойчивой, нежели структура, состоящая только из нейтрона, т.е. без позитрона. Как следствие этому нейтрон имеет время для своего распада, а новое материальное образование, нейтрон вместе с позитроном, является устойчивой и не распадается. Физики его обозначили протоном.

4. Живая и неживая материя

В материальном объекте, который мы обозначили атомом водорода, есть одно интересное свойство, вызванное структурным строением электрона. Электрон, как уже об этом упоминалось выше, является частным случаем фотона, который подобно фотону находится в двумерном пространстве, обозначенном нами пластиной вакуума. Ядро атома, состоящее из протона, тоже расположено в той же пластине. Таким образом, атом водорода представляет собой материальную структуру, расположенную в двумерном пространстве. Кроме того, электрон, как и фотон [1] представляет собой цепочку сгустков материальной субстанции, расположенную вдоль оси ординат Декартовой системы координат, того сгустка, в котором началось генерирование фотона, обычно именуемого лучом. Напомним, количество сгустков в этой

цепочке определяет, с одной стороны, длину электромагнитной волны фотона и, в конечно счете электрона и, с другой, количество энергии, содержащейся в нем. На орбите электрона, вращающегося вокруг ядра атома водорода, длина его волны помещается восемь раз – так устроена природа. Незаполненная часть на такой орбите представляет интерес в химии, для так называемых валентных связей посредством так называемых «валентных» электронов. Именно эта часть орбиты вращения электронов есть действенным рычагом у природы для формирования более сложных материальных структур вещества, с которыми, в конечном итоге имеет дело человек. Несложно заметить, что для такого формирования необходимо, чтобы в конкретном участке вакуума имело место сосредоточение достаточного количества фотонов (с достаточной плотностью). В таких условиях происходит возникновение новых атомов и молекул и это явление в природе отнесено к ядерным реакциям синтеза. Наличие большого скопления, в определенном месте пространства, фотонов обычно человек фиксирует, как повышение температуры, и тогда ядерный синтез у него рассматривается как термоядерный. Хотя, практически повсеместно, происходит эта ядерная реакция, без ощущения теплоты, природу которой следует рассмотреть в отдельной публикации. Таким образом, необходимым условием для формирования в природе сложных структур вещества является генерация фотонов с большой их плотностью в пространстве. Этот путь получения вещества приводит к появлению в природе так называемой **неживой материи**. Исследования в этом направлении еще предстоят в будущих публикациях.

Обратим внимание еще на одно свойство материальной структуры атома водорода. Дело в том, что незаполненная («валентная») орбита в водороде, о которой шла речь выше, вполне может «принять на себя» не только электроны, но при определенных условиях, под действием гравитационных сил притяжения, и фотоны. Их материальная структура, как уже отмечалось, уж «больно» похожа на структуру электрона. Иными словами, пролетающий мимо атома водорода фотон (300 000 км./с), сможет «зацепиться» за его валентную орбиту и вращаться там, как и электрон с той же скоростью. Таким способом в природе может задержаться в атоме водорода фотон. Принятие на себя валентной орбитой не электронов, а фотонов в природе сопровождается появлением так называемой живой материи. Дело в том, что фотон, кроме того, что характеризуется энергетическим своим содержанием, т.е. отражает меру движения материи, он еще и отражает меру неоднородности распределения материи. В кибернетике эта неоднородность [3] уже давно отнесена к такому понятию, как информация. Известно, что человек с этой скалярной характеристикой материи – информацией в виде фотона имеет дело в подавляющем большинстве практической деятельности. Именно такую неоднородность он воспринимает и обрабатывает в пользу своего автономного существования в агрессивной внешней среде. Восприятие и обработка фотона (информации), в этом случае, требует возможностей ее запомнить, т.е. задержать фотоны, которые в свободном состоянии движутся с огромной скоростью. В нашем случае природе это «удается» с помощью валентной орбиты вокруг ядра атома водорода. Обратим внимание на то обстоятельство, что сложные структуры вещества, как живой материи, так и неживой требует одних и тех же условий – скопление фотонов в месте их создания, только для неживой материи такое скопление должно быть очень плотным.

5. Выводы

Приведенные выше исследования показывают, что создание в природе сложных частиц вещества в виде атомов и молекул, начинается с возникновения в вакууме его волнового состояния, т.е. электромагнитных колебаний, которые, как самые первые элементарные частицы вещества (фотоны) «рождают» другие его тоже элементарные частицы. Сегодня теоретическая физика указывает на то, что количество таких частиц считается сотнями, а по некоторым данным, и тысячами. Однако наши исследования показывают, что природа «взяла» на вооружение всего девять элементарных частиц вещества, и из них «умудряется» строить мир, в котором живет человек. Кроме того, очень важным выводом, приведенным выше исследований, является обнаружение «водораздела» между живым веществом и неживым, т.е. живой и неживой материей. Этот «водораздел» в пространстве вакуума находится в месте скопления фотонов. Для неживого вещества из них формируются его элементарные частицы, а для живого способность задерживаться (запоминаться информации) на валентной орбите сложной структуры вещества (атома, молекулы). И в том и другом случае фотоны «играют» первостепенную роль.

Литература

1. Вышинский В.А. О возникновении элементарных частиц вещества. Инерция// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. №2 –С.18-24
2. Вышинский В.А. Скалярная и векторная характеристики движения вещества // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. №3 –С.12-21
3. Глушков В.М. О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь. – 1964.

References

1. V.A. Vyshinskiy O vosniknovenii elementarnish shastic veshestva . Inerciha // Vimiruvalna ta oshislualna teshnika v teshnologishnish procesash. – 2015. №2 – P.18-24
2. V.A. Vyshinskiy .Scalarmaiy vektornaiy chrakteristika dvijeniy veshestva // Vimiruvalna ta oshislualna teshnika v teshnologishnish procesash. – 2015. №3 – P.12-21
3. V.M. Glushkov O kibernetike kak nauke // Kibernetika, mishleniy, gizn . – 1964

Рецензія/Peer review : 7.6.2016 р. Надрукована/Printed :28.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ СТАНДАРТУ 802.11n
ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ 5 ГГц**

В даній роботі, проведено дослідження ефективної швидкості передачі інформації для безпроводного каналу 802.11n у неліцензованому діапазоні 5 ГГц із врахуванням архітектурних перешкод, та особливостей напівдуплексного режиму роботи. Для цього було виконано експериментальні дослідження та аналіз залежностей ефективної швидкості передачі інформації від потужності сигналу на вході приймача для типового приміщення із архітектурними перешкодами.

На основі запропонованої структури мережі та проведених експериментальних досліджень, було встановлено, що ефективна швидкість передачі інформації має лінійну характеристику спадання, архітектурні перешкоди мають найбільший вплив на високопродуктивний режим роботи для каналу шириною 40 МГц. А також, для каналів діапазону 5 ГГц характерна висока стабільність ефективної швидкості передачі при значній зміні рівня потужності сигналу на вході приймача.

Ключові слова: безпроводний канал, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу на вході приймача, стандарт 802.11 Wi-Fi.

D. MIKHALEVSKIY, L. ROHOZINA, A. KRUTIN
Vinnytsia national technical university

**INVESTIGATION OF THE WIRELESS CHANNEL OF 802.11n
STANDARD FOR THE FREQUENCY RANGE OF 5 GHz**

In this paper, was investigation of the effective speed of transferring information for the wireless channel of 802.11n standard in a non-licensed range of 5 GHz was conducted in this work, taking into account architectural obstacles and features of the half-duplex regime of work. For this purpose experimental studies and the analysis of dependencies of the effective speed of transferring information on the signal power at the entry of the receiver for a typical building with architectural obstacles were conducted.

Based on the proposed network structure and conducted experimental investigations it was concluded that the effective speed of transferring information has a linear decline characteristic and architectural obstacles have the strongest influence on the high-performance regime of work for the channel of 40 MHz width. High stability of the effective speed of transferring information during the significant changes of the signal power at the entry of the receiver is typical for channels of 5 GHz range as well.

Keywords: wireless channel, effective speed of transferring information, signal power at the entry of the receiver, 802.11n Wi-Fi standard.

Вступ

Однією із основних задач сучасних засобів для передачі трафіку, з використанням безпроводних каналів, є забезпечення високої пропускної здатності для окремо взятого абонента. По мірі росту об'ємів інформації відбувається постійне вдосконалення апаратних і програмних засобів, що в більшості випадків надає можливість використання більш високочастотних діапазонів. Так як, високошвидкісні канали передачі інформації для стандартів 802.11x, створюються за рахунок розширення спектра, то при збільшенні частоти робочого діапазону можна використовувати їх більшу кількість. Перехід до більш високих частот зумовлюють ряд факторів: значний ріст кількості та якості інформації яка передається, стрімкий ріст кількості об'єктів інтернету речей, перехід на нові формати мультимедійного трафіку.

Як відомо [1], основними показниками якості безпроводних мереж сімейства стандартів 802.11x є ефективна швидкість передачі та потужність сигналу на вході приймача, які є взаємопов'язаними. Але, як правило мають місце фактори, що впливають на ці показники. До основних із них можна віднести [2]: зміна параметрів безпроводного каналу під час передачі в часі; завади які є самостійними джерелами випромінювання; архітектурні перешкоди. Це є умовами для пошуку оптимальних рішень при проектуванні та розгортанні безпроводних мереж.

Це підтверджують дослідження каналів передачі у частотному діапазоні 2,4 ГГц [3], на якому зараз працюють більшість пристроїв сімейства стандартів 802.11x. Він є досить завантаженими, що приводить до погіршення характеристик безпроводних каналів та, в свою чергу, значно знижує пропускну здатність. Але, більшість сучасних пристроїв підтримують неліцензований частотний діапазон 5 ГГц [4]. В нього є свої переваги та недоліки.

Тому, для встановлення реальних характеристик мережі, необхідно проводити експериментальні дослідження каналів передачі на можливість встановлення впливу різних факторів середовища передачі на основні показники якості.

Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є дослідження ефективної швидкості передачі інформації (V) у діапазоні 5 ГГц на базі безпроводного каналу 802.11n із врахуванням архітектурних перешкод, та врахування особливостей напівдуплексного режиму роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз спектру для не ліцензованого частотного діапазону 5 ГГц та визначити особливості формування частотних каналів;
- розробити структуру мережі та методику експериментальних досліджень;
- виконати експериментальні дослідження та аналіз залежностей ефективної швидкості передачі інформації від потужності сигналу на вході приймача для типового приміщення із архітектурними перешкодами.

Теоретичні відомості

Весь неліцензований діапазон 5 ГГц поділений на три піддіапазони, для кожного з яких відведена смуга у 100 МГц [4]. Такі частотні піддіапазони отримали назву неліцензійної національної інформаційної інфраструктури (Unlicensed National Information Infrastructure), що не потребують отримання ліцензій. Для сімейства стандартів 802.11x використовуються наступні смуги: нижній UNII - 1 від 5,150 ГГц до 5,250 ГГц; середній UNII - 2 від 5,250 ГГц до 5,350 ГГц; середній розширений UNII – 2 extended від 5,470 ГГц до 5,725 ГГц; верхній UNII - 3 від 5,725 ГГц до 5,825 ГГц. Відповідно до [4], частотний розподіл цих каналів можна представити як на рис. 1.

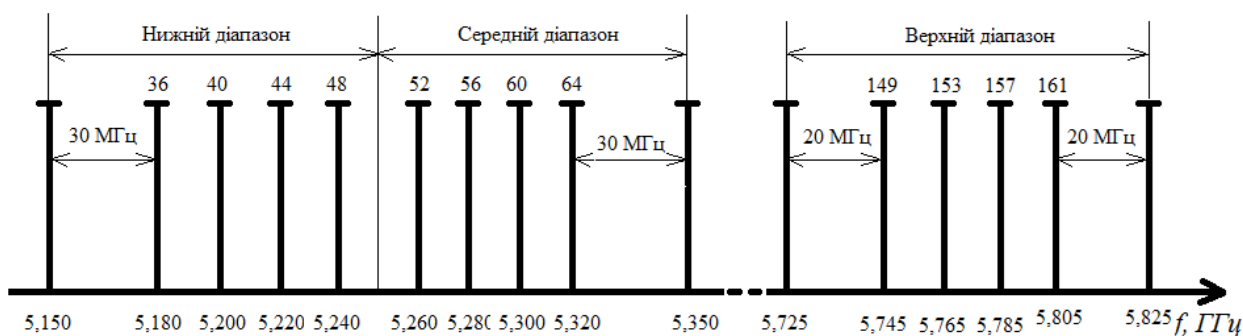


Рис. 1. Розподіл каналів у частотному діапазоні 5 ГГц

Відстань між носійними частотних каналів становить 20 МГц, це означає, що при використанні каналів із смугою $\Delta f = 20$ МГц можна отримати до 23-х каналів, які не будуть перетинатись головними та бічними пелюстками спектру та впливати один на одного, а при застосуванні $\Delta f = 40$ МГц, можна отримати до 12 каналів. Крім того, в даному діапазоні можна формувати канали зі смугою $\Delta f = 80$ МГц та $\Delta f = 160$ МГц, які використовує стандарт 802.11ac. Єдиним недоліком цього є законодавство країн, що не завжди дозволяє вільно використовувати неліцензований діапазон повністю без дозволу [5]. Наприклад, середній частотний діапазон від 5,260 ГГц до 5,725 ГГц використовується для радіолокаційних систем, тому використання таких каналів потребує наявності функції динамічного вибору частоти, яка надає пріоритети для точки доступу та клієнтів. В такому випадку точка доступу постійно сканує середовище передачі та при наявності випромінювання радарів повинна автоматично змінити частотний канал на вільний. Також, у майбутньому для частотного діапазону 5 ГГц можуть появлятися системи передачі інших стандартів, такі як LTE-U – мережі четвертого покоління у неліцензованому частотному діапазоні, які в свою чергу для безпроводних каналів 802.11 будуть являтися як додаткові шуми або системи із боротьбою за частотний ресурс.

В роботі [4] було встановлено особливості застосування частотних діапазонів для стандарту 802.11. На основі цього можна стверджувати, що для отримання високих швидкостей передачі необхідно використовувати частотний діапазон 5 ГГц. Крім того, якщо враховувати зону Френеля, то дальність передачі при прямій видимості буде більша. Але, з точки зору теорії поширення електромагнітних хвиль, наявність перешкод та відсутність прямої видимості буде приводити до значних затухань та спотворень сигналу, що для діапазону 2,4 ГГц є менш критичним, оскільки довжина хвилі є у два рази меншою. Таким чином передавач буде мати більш вузький діапазон випромінювання сигналу при використанні однакового рівня потужності. Крім того він залежить від випадкових факторів середовища передачі, умов поширення хвиль та коефіцієнту поглинання матеріалів перешкод.

Отже, при проектуванні безпроводних мереж є доцільним використання обох частотних діапазонів, але із врахуванням особливостей місцевості: при створенні високошвидкісних каналів для доступу до сучасних видів інфокомунікаційних послуг необхідно використовувати канали діапазону 5 ГГц, при умові відсутності архітектурних перешкод для прямої видимості; при наявності великої кількості оптимальним є застосування каналів діапазону 2,4 ГГц (наприклад об'єднання багатьох пристроїв із концепції інтернету речей).

Із-за наявності недоліків у діапазоні 5 ГГц існують методи їх зменшення. Одним із таких методів можна виділити: метод підвищення пропускної здатності за рахунок збільшення щільності розташування випромінюючих пристроїв для діапазону 5 ГГц [6]. Він дає можливість виділити залежність щільності

реальної пропускної здатності від теоретичної швидкості передачі інформації на MAC рівні:

$$\Omega(\lambda, W) = \frac{E}{A} \left[\sum_{i \in K} \sum_{i \in \Phi^k} w^k \min(\xi_1 \log_2(1 + \xi_2 \cdot S/N), \eta_{\max}) \right],$$

де S/N – відношення сигнал до шуму та інтерференційних завад; ξ – коефіцієнти ефективності використання смуги пропускання; k – номер частотного каналу; A і E – густина розміщення точок доступу та абонентів; Φ – кількість активних точок доступу; η_{\max} – коефіцієнт максимальної спектральної ефективності; λ – щільність точок доступу; K – кількість каналів, які не перекриваються; W – ширина частотного діапазону; $w^k = W/K$ – ширина смуги каналу.

Як видно із наведеного виразу, для підвищення пропускної здатності каналу необхідно виконувати ущільнення розташування точок доступу, для мінімізації впливу інтерференційних завад та архітектурних перешкод.

Методика досліджень

Методика досліджень полягає в наступному. Було створено мережу стандарту 802.11n на основі маршрутизатора із точкою доступу (ТД). Передбачається, що архітектурні перешкоди будуть вносити найбільший вплив на ефективну пропускну здатність каналу, тому було встановлено місце вносимої перешкоди (П) на відстані одного метра від ТД. Таким чином, структура мережі для досліджень, наведена на рис.2.

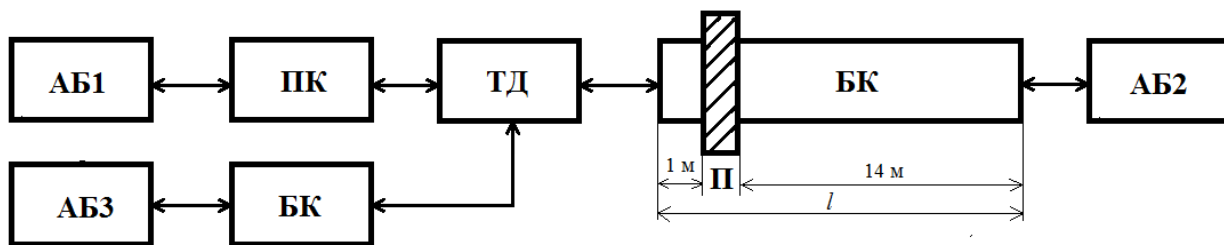


Рис. 2. Схема досліджуваної мережі

В цій мережі існують: один абонент (АБ1) із проводимим каналом (ПК) до ТД, та два абоненти (АБ2, АБ3) із безпроводними каналами (БК). Для досліджень використовувались безпроводні канали типу АБ1-АБ2, АБ3-АБ2 оскільки, по каналу Wi-Fi інформація може передаватись тільки в напівдуплекному режимі. Всі дослідження виконувались для каналів шириною 20 МГц та 40 МГц. В якості основного досліджуваного параметра використовується ефективна швидкість передачі інформації V , яка має залежність від потужності прийнятого сигналу P та відстані між передавачем та приймачем l [3]. Дослідження виконувались у приміщенні де довжина безпроводного каналу могла змінюватись до 15 м.

Результати досліджень

На основі запропонованої на рис. 2 структури безпроводного каналу стандарту 802.11n, було проведено експериментальні дослідження визначених основних параметрів для типових умов середовища передачі. В якості архітектурних перешкод було обрано типові конструкції із дерева, як перший тип, та цегли як другий тип. Для систематизації результатів досліджень було ведено наступні види позначення для графіків: 1 – крива, що показує пряму видимість між передавачем та приймачем; 2 – крива, при якій в середовищі передачі присутня перешкода першого типу; 3 – крива, при якій в середовищі передачі присутня перешкода другого типу.

В першу чергу розглянемо канал передачі інформації АБ1-АБ2 – використання одного безпроводного каналу для точки доступу (див. рис. 2). Результати досліджень наведено на рис.3.

Як видно із рис. 3, при прямій видимості, спостерігається робота безпроводного каналу у високопродуктивному режимі, як для ширини каналу 20 МГц так і для 40 МГц. На даному етапі спостерігається майже теоретичне збільшення пропускної здатності, за рахунок використання захисного інтервалу у каналі 40 МГц. На відміну від діапазону 2,4 ГГц, тут присутній незначний вплив перешкоди першого типу для каналу 40 МГц, та більш значного – другого типу. Крім того, для каналу 20 МГц присутні більш виражені максимуми та мінімуми характеристик.

В дослідженнях на рис. 2 можна виділити одну особливість: зменшення потужності вхідного сигналу на 20 дБ має незначний вплив на ефективну швидкість передачі для каналу шириною 20 МГц та у 1,5..2 рази зменшує для каналу 40 МГц.

Далі розглянемо напівдуплекний режим на базі найбільш поширеного випадку – наявність двох абонентів у мережі (два безпроводних канали). Результати досліджень для АБ3-АБ2 наведено на рис. 4.

Такий випадок можна вважати схожим із присутністю інтерференційної завади, де в середовищі

існує боротьба за частотний ресурс. Це обумовлює збільшення імовірності виникнення помилок при передачі пакетів та поділ пропускної здатності між абонентами. Тут спостерігається рівномірність характеристик по всій довжині каналу. Перешкода другого типу має вплив на параметр V для каналу шириною 40 МГц. Аналогічна рівномірність спостерігається із зменшенням потужності сигналу аж до 30 дБ.

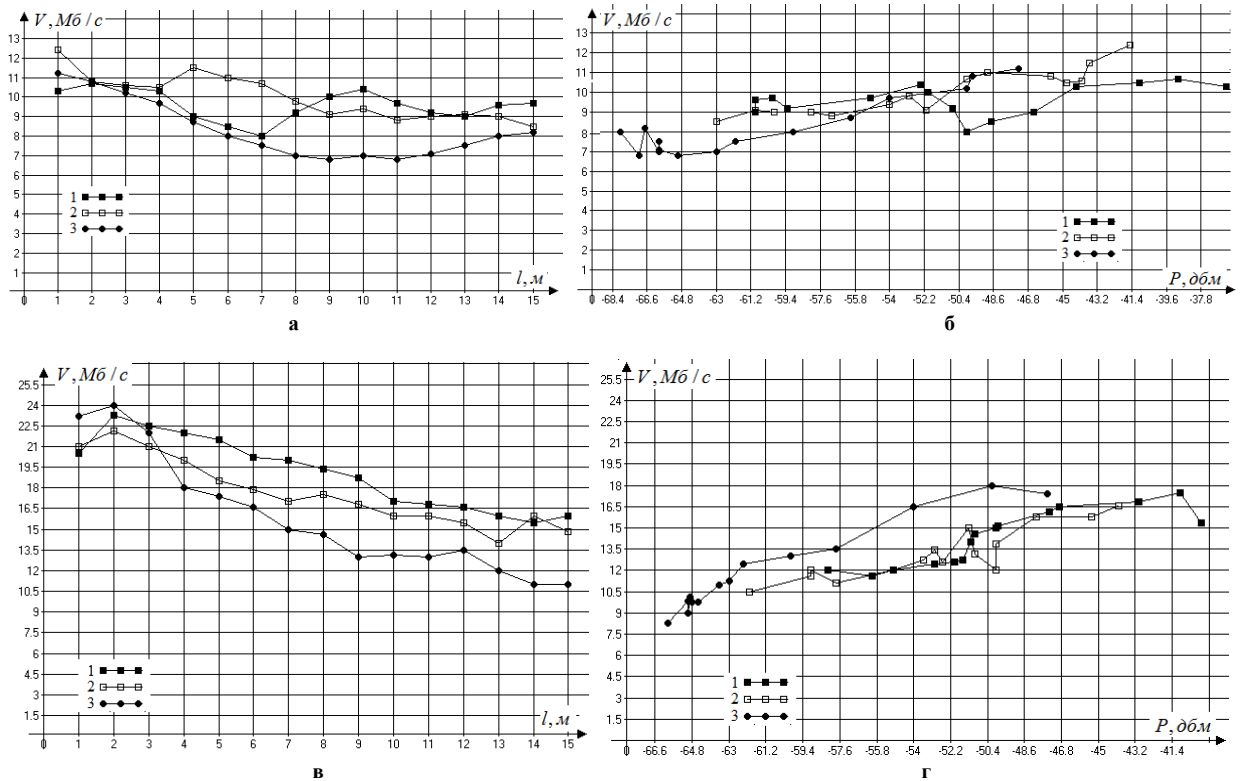


Рис. 3. Залежність ефективної швидкості передачі для каналу АБ1-АБ2 від: відстані між передавачем та приймачем для каналу 20 МГц (а); потужності прийнятого сигналу для каналу 20 МГц (б); відстані між передавачем та приймачем для каналу 40 МГц (в); потужності прийнятого сигналу для каналу 40 МГц (г);

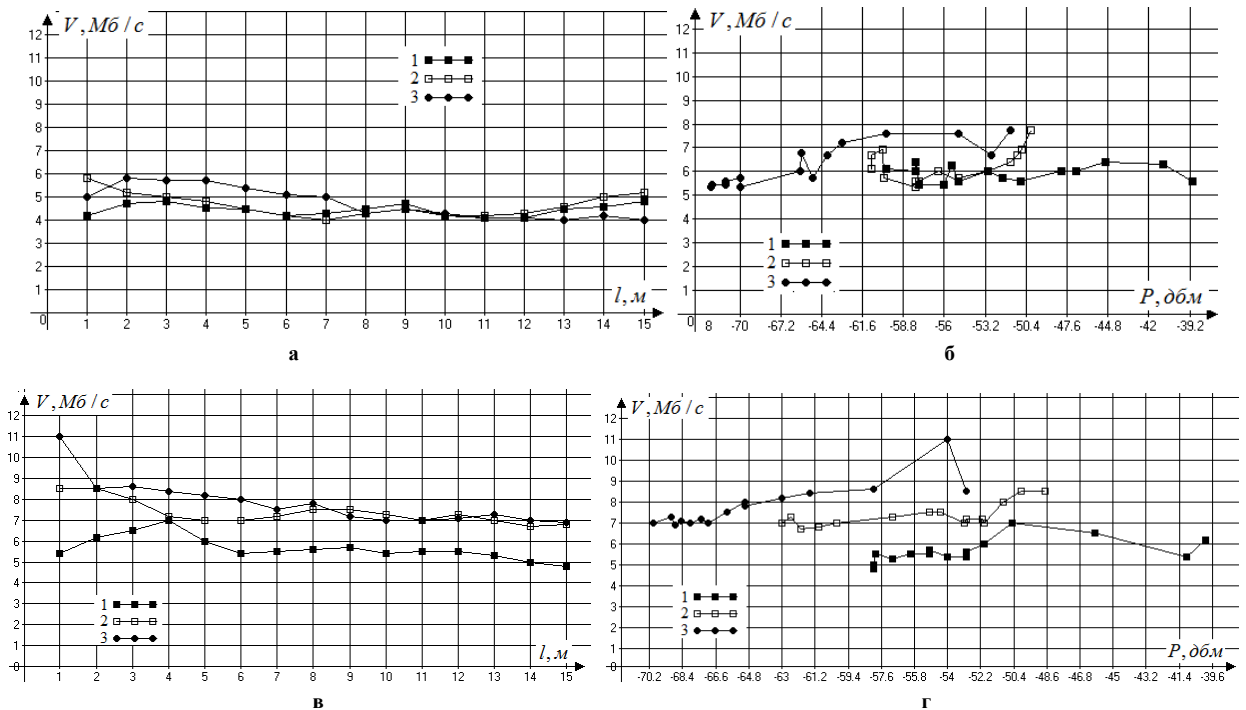


Рис. 4. Залежність ефективної швидкості передачі для каналу АБ3-АБ2 від: відстані між передавачем та приймачем для каналу 20 МГц (а); потужності прийнятого сигналу для каналу 20 МГц (б); відстані між передавачем та приймачем для каналу 40 МГц (в); потужності прийнятого сигналу для каналу 40 МГц (г);

Висновки

Отже, в даній роботі було проведено дослідження передачі інформації по безпроводному каналі

стандарту 802.11n в умовах прямої видимості та наявності архітектурних перешкод, для не ліцензованого частотного діапазону 5 ГГц.

На основі запропонованої структури мережі та проведених експериментальних досліджень, було встановлено наступні особливості:

- ефективна швидкість передачі інформації, при використанні одиничного безпроводного каналу, має лінійну характеристику спадання, що має характерні максимуми та мінімуми;
- архітектурні перешкоди мають найбільший вплив на високопродуктивний режим роботи, особливо для каналу шириною 40 МГц із збільшенням густини матеріалу;
- для каналів частотного діапазону 5 ГГц характерна висока стабільність ефективної швидкості передачі при значній зміні рівня потужності сигналу на вході приймача.

Література

1. Michalevskiy D. V. The research of wi-fi channel for multimedia traffic / D. V. Michalevskiy, V. E. Mondlyak, R. O. Krasota // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №2. – С. 173 – 177.
2. Михалевський Д. В. Оцінка параметрів безпроводного каналу передачі інформації стандарту 802.11 Wi-Fi / Д. В. Михалевський. – Східно - Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/9 (72). – С. 22-25.
3. Михалевський Д. В. Дослідження передачі інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційного каналів для стандарту 802.11n / Д.В. Михалевський, В.В. Номировська, О.М. Постернак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 155 – 159.
4. Михалевський Д. В. Аналіз частотного спектру діапазону 5 ГГц для сімейства стандартів 802.11x / Д. В. Михалевський // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «The Top Actual Researches in Modern Science, Vol. I. – Dubai.: Rost Publishing, 2015. С. 9-12.
5. 802.11ac. In-Depth. [Електронний ресурс] / Aruba Networks, – Режим доступу: http://www.arubanetworks.com/pdf/technology/whitepapers/WP_80211acInDepth.pdf. – Назва з екрана.
6. Kang, D. H. Attainable user throughput by dense Wi-Fi deployment at 5 GHz / D. H. Kang, K. W. Sung, J. Zander // Proc of IEEE PIMRC, 2013. – Pp. 3418 – 3422.

References

1. Mikhalevskiy D. V. The research of wi-fi channel for multimedia traffic / D. V. Mikhalevskiy, V. E. Mondlyak, R. O. Krasota // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2014. – №2. – Pp. 173 – 177.
2. Mykhalevskiy D. V. Otsinka parametriv bezprovidnoho kanalu peredachi informatsiyi standartu 802.11 Wi-Fi / D. V. Mykhalevskiy. – Skhidno - Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. – 2014. – № 6/9 (72). – S. 22-25.
3. Mykhalevskiy D. V. Doslidzhennya peredachi informatsiyi v umovakh sumishchenoho ta susidn'oho interferentsiynoho kanaliv dlya standartu 802.11n / D. V. Mykhalevskiy, V. V. Nomyrovs'ka, O. M. Posternak // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – №2. – Pp. 155 – 159.
4. Mykhalevskiy D. V. Analiz chastotnoho spektru diapazonu 5 GHz dlya simeystva standartiv 802.11x / D. V. Mykhalevskiy // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «The Top Actual Researches in Modern Science, Vol. I. – Dubai.: Rost Publishing, 2015. S. 9-12.
5. 802.11ac. In-Depth. [Elektronnyy resurs] / Aruba Networks, – Rezhym dostupu: http://www.arubanetworks.com/pdf/technology/whitepapers/WP_80211acInDepth.pdf. – Nazva z ekrana.
6. Kang, D. H. Attainable user throughput by dense Wi-Fi deployment at 5 GHz / D. H. Kang, K. W. Sung, J. Zander // Proc of IEEE PIMRC, 2013. – Pp. 3418 – 3422.

Рецензія/Peer review : 2.6.2016 р. Надрукована/Printed :28.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ВНЕШНЕДОМЕННОЙ И
ВНЕСЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИЙ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА
ОСНОВЕ МЕТОДА λ -MPLS**

Были проанализированы основные проблемы и характеристики в современных иерархических оптических сетях на базе внешнедоменной и внесетевои моделей с λ -MPLS маршрутизацией. Исследованы основные характеристики пропускной способности данных моделей сетей на базе λ -MPLS и определены их основные преимущества и недостатки. Также приведены пути к повышению основных характеристик. Предложена универсальная модель распределенной λ -MPLS сети, с повышенной информационной пропускной способностью. Проведен сравнительный анализ технологии λ -MPLS на внесетевои и внешнедоменном уровнях сетевой иерархии на базе традиционных технологий с IP-маршрутизацией. Определены основные оптимальные пути повышения информационной пропускной способности.

Ключевые слова: каналы передачи информации; λ -MPLS модель; сетевая топология; узлы сети; трафик.

ASHRAF I.M. ALQAISI
Vinnitsa National Technical University

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF INTERDOMAIN AND OFF-NET MODELS OF OPTICAL
HIERARCHICAL NETWORKS WITH λ -MPLS METHOD**

The main problems and the characteristics of modern hierarchical optical networks based on interdomain and off-net models with λ -MPLS routing were analyzed. The basic characteristics of the bit rate and capacity of data networks based of this models on λ -MPLS. Also were identifies their main advantages and disadvantages. The ways of improving of their basic characteristics are also given. The universal model of distributed λ -MPLS network, with increased information bandwidth are present. The comparative analysis of the λ -MPLS technology of off-net and interdomain levels of the network hierarchy based on traditional technologies to IP-routing war presented. The main best ways to increase information throughput are defined.

Keywords: communication channels; information networks; λ -MPLS model information- networks ; network topology, network nodes; traffic.

Вступление и постановка проблемы

Современные методы коммутации и маршрутизации такие как OSPF и IGRP/EIGRP [1] на базе IP в современных оптических информационно-вычислительных сетях с SDH/SONET/ATM иерархией, не всегда дают необходимые технические характеристики по производительности ИВС, времени латентности (задержки при передаче), а также числу потерянных пакетов. Это обусловлено в результате возникновения таблиц построения маршрутов. На смену традиционным технологиям маршрутизации и коммутации в оптических сетях приходят новые методы и модели, которые базируются на оптической коммутации и маршрутизации по меткам это – λ -MPLS (или optical-MPLS, OMPLS) протоколы и архитектуры, которые строятся поверх IP-оптических сетей с обязательным WDM-мультиплексированием в опорных сетях на 1-физическом уровне модели OSI [1].

Модель внешнедоменной сети

Для решения задач построения внешнедоменной λ -MPLS иерархических сети используются специальные граничные λ -ESB (magistral λ -ESP) или «Boundary» Switch Routers маршрутизаторы, которые связаны между доменами скоростной волоконно-оптической магистралью на 100Гбит – 10Тбит. Внутри доменов они связываются между собой с помощью коммуникационных портов на базе ВОЛЗ с λ -ESR. Модель внешнедоменной сети λ -MPLS показана на рис.1.

В данной модели (рис.1) обозначены следующие типы существующих маршрутизаторов:

- оптический λ -EDGE λ -LSB (E-LSB) — λ -LSB магистральный маршрутизатор, который находится на границе доменов в иерархической сети λ -MPLS и обрабатывает IP пакеты в стеке протоколов TCP/IP, как с наложением меток в рамках одного домена для передачи меток на другой домен. Также его называют Optical Label Edge Boundary Router (λ -L-LEB);
- INGRESS λ -E-LSR — маршрутизатор конкретного пакета, который выполняет агрегацию пакетов без метки, прежде чем поместил метку в пакет;
- λ - EGRESS (λ - E-LSR) — маршрутизатор конкретного пакета, который выполняет агрегацию пакетов с меткой и затем убирает все метки MPLS и передает IP-пакет дальше в сети TCP-IP другим маршрутизаторам.

Очевидно, что такая модель междоменной организации оптической ИВС на базе λ -MPLS за счет большей спектральной эффективности магистральных каналов F_S будет иметь выигрыш по сравнению с традиционной структурой IP-сетей, однако учитывая сложность в наложения меток будет крайне сложной в плане построения таблиц маршрутизации по сравнению с внутредоменной сетью с учетом критерия границы информационной пропускной способности ИВС и коммуникационных сетей (критерия Хартли-Шеннона (1) с величиной дополнительной хроматической дисперсии, которая адаптивно формируется при разных длинах волн [2]:

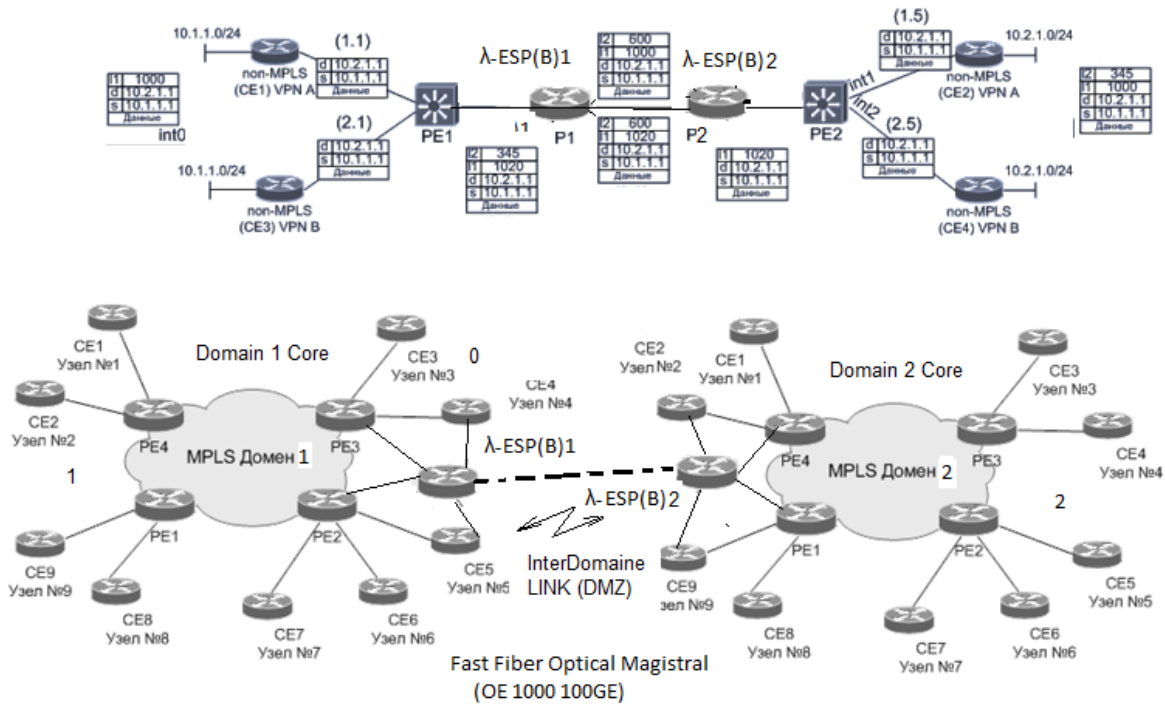


Рис.1. Структурная модель λ -MPLS междоменной сети с использованием магистральных «Boundary» λ -ESP маршрутизаторов

$$\begin{aligned} \tau_{chr}(\lambda_{ESB-ESB}) &= A + B \times \lambda_{ESR}^2 + C \times \lambda_{ESR}^2 \ln \lambda_{ESR} + A + B \times \lambda_{ESB}^2 + C \times \lambda_{ESB}^2 \ln \lambda_{ESB}; \\ \tau_{chr}(\lambda_{ESB-ESB}) &= D(\lambda_{ESB-ESB}) \times \Delta \lambda_{ESB-ESB}; \end{aligned} \quad (1)$$

где λ_{ESR} – длины волн меток внутредоменной модели ИВС на базе λ -MPLS; λ_{ESB} – длины волн меток междоменной модели ИВС на базе λ -MPLS; комплексное наложение длин волн $\Delta \lambda_{ESB-ESB}$ меток как внутри домена, так и междоменами в общей междоменной модели ИВС на базе λ -MPLS; $\tau_{chr}(\lambda_{ESB-ESB})$ – величина общей хроматической дисперсии в междоменной системе ИВС на базе λ -MPLS.

Величина общей хроматической дисперсии $\tau_{chr}(\lambda_{ESB-ESB})$ в междоменной системе ИВС на базе λ -MPLS, является основным негативным фактором, влияющим на величину общей дисперсии τ_z и соответственно на скорость и пропускную способность каналов волоконно-оптической иерархической сети.

Значение полной дисперсии системы ВОЛС определяется известным и хорошо отработанным на практике выражением: $\tau_z = \sqrt{\tau_{mat}^2 + \tau_{chr}^2 + \tau_{mod}^2 + \tau_{dNE}^2}$ [2], где τ_{mat} , τ_{chr} , τ_{mod} , τ_{dNE} – составляющие материальной, хроматической, модовой, нелинейной или другой адаптивной дисперсии в оптическом волокне. Составляющие τ_{chr} , τ_{mod} имеют место во всех многомодовых волокнах традиционных волоконно-оптических систем передачи данных. А составляющая нелинейной и адаптивной дисперсии τ_{dNE} проявляется только при высоких граничных значениях оптической мощности P_{opt} в ОВ.

Значения именно в последних определяется двумя основными показателями τ_{chr} и τ_{dNE} , которые зависят как от количества $M_{\lambda k}$ длин волн λ_k междоменной системы λ -MPLS, так и от мощности, каждого информационного сигнала на каждой из этих длин волн.

В междоменной ИВС на базе λ -MPLS ключевым фактором является хроматическая дисперсия τ_{chr} , хотя при достаточно больших дальностях разнесения доменов ($L > 10$ км) в ВОЛС применяют волоконные передатчики и SFP-волоконные модули с рабочей оптической мощностью P_{opt} 100-200 мВт, что также способствует возникновению дополнительного компонента τ_{dNE} для таких систем. В целом, это приводит к уменьшению общей пропускной способности магистральной сети, расположенной вне домена, поскольку полоса пропускания обратно пропорциональна общей величине среднеквадратической дисперсии

τ_z и определяется для ВОЛС как $F_{max} = 0.44 / \tau_z$ [2]. Суммарная среднеквадратической дисперсия τ_z – это процесс уширения составляющих информационного импульса в результате распространения его по волоконно-оптической среде. Чем больше ее значение, тем меньше полоса пропускания волоконно-оптического канала и меньше символьная скорость передачи данных, как в магистральном единичном

канале, так и в междоменной структуре ИВС на базе λ -MPLS . Общая пропускная способность [Бит/с] междоменной модели ИВС на базе λ -MPLS будет определяется количеством магистральных каналов связи домена n_{chM} и количеством каналов внутри домена n_{ch} ИВС и общей дисперсией системы в ОВ:

$$\max \text{Bit traffic} = n_{ch} \times n_{chM} \times F_{\max} \log_2[V + S/N] = \frac{0.44 \cdot n_{ch} \cdot n_{chM}}{\tau_z} \log_2[V + S/N],$$

$$\max \text{Bit traffic} = \frac{0.44 \cdot n_{ch} \cdot n_{chM} \cdot N_i \cdot \log_2[2 + S/N]}{\sqrt{\tau_{mat}^2 + \tau_{chr}^2 + \tau_{mod}^2 + \tau_{dNE}^2}} \quad [\text{Бит/с}] \quad (2)$$

де V – количество уровней сигналу ($V=2$ при цифровой передаче); S/N – отношение сигнал-шум в канале, $S/N_n = \sqrt{\sum_n P_i^2}$; P_i – мощность помехи в системе ВОЛС среди полного количества помех n ; N_i – количество единичных оптических каналов ВОЛС в междоменной системе λ -MPLS.

При совместном использовании технологии λ -MPLS в высокопроизводительных сетях 100GE (100-Gbps channel) и метода WDM мультиплексирования возникает необходимость правильного их согласования с основным содержанием IP-пакетов для достижения оптимальной скорости передачи пакетов.

На таких высоких скоростях (100-200 Гбит/с) комбинации меток с основными IP-пакетами в трактах WDM должны быть максимально плотными во временном интервале, во избежании расширения полного поля пакетов и как следствие увеличение времени передачи полного кадра. На сегодняшний день, очень мало приложений используют такую высокую скорость в основном – это только междоменные мультисервисные платформы агрегации пакетов (Например, такие как Cisco EDGE 6500), предназначенные для агрегации каналов и потоков между региональными центрами и глобального распределения сети Internet [3].

Пропускная способность одной ветки λ -MPLS домена будет определяться как:

$$C_{MPLS} = W \times F_s = \frac{1}{T_Z + T_{MPLSD}} \times F_s, \quad (3)$$

Обобщенная междоменная модель λ -MPLS может быть представлена с учетом структуры (рис. 1) на рис. 2.

Очевидно что сравнивая традиционные сети TCP/IP на базе OSPF или EIGRP маршрутизаторами, λ -ESB MPLS ИВС будут иметь значительно большее общее время латентности по сравнению с традиционными λ -ESR маршрутизаторами. $T_Z \lambda\text{-ESB} \gg T_Z \lambda\text{-ESR}$ за счет агрегации содержимого IP-трафика в магистральных каналах между доменами λ -MPLS и менее быстрой коммутации (L3).

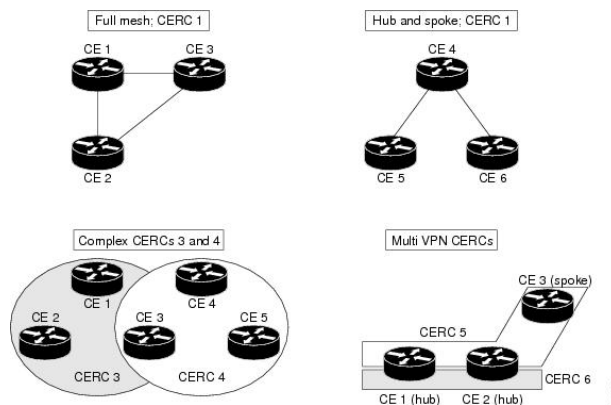


Рис.2. Обобщенная модель волоконно-оптической иерархической λ -MPLS сети с междоменной организацией

Пропускная способность внешнедоменной магистрали (связь между λ -ESP(B)1 и λ -ESP(B)2, показанная на рис.1) с коммутацией пакетов и статистическим мультиплексированием и λ -MPLS определится как:

$$BW_{\lambda\text{-MPLS}(\lambda\text{-ESB})}(i) = C_{MPLS} \times \frac{\bar{L}_{layer}(i)}{\bar{L}_{packet}(i+1)} \cdot K_{usable} \cdot R(i) \cdot K_{\lambda\text{-ESB}} \quad (4)$$

где $\bar{L}_{layer}(i)$ и $\bar{L}_{packet}(i+1)$ - слои иерархии сети ИВС на базе и λ -MPLS; K_{usable} - коэффициент использования слоя; $R(i)$ - функция распределения пакетами нагрузки сети по слоям; $K_{\lambda\text{-ESB}}$ – коэффициент распределения скорости на λ -ESB маршрутизаторах.

Модель формирования меток λ_c (внутридоменных) и λ_j (междоменных) меток при построении единичной

цепочки междоменной иерархической ИВС на базе λ -MPLS (показана на рис. 3) с кодирование каждой метки пакетами на каждой из длин волн λ_c из общего диапазона $\lambda_1 \dots \lambda_k$ ($\lambda_i \in \lambda_1 \dots \lambda_k$) – внутредоменных меток и $\lambda_{1j} \dots \lambda_{kj} \dots \lambda_{kj}$ ($\lambda_j \in \lambda_1 \dots \lambda_j$) – междоменных меток представлена графом кодирования меток (табл. 1). Причем: $M_{\lambda_i} = \text{SUM } \lambda_i$ ($\lambda_i=1$ for λ_k). $\text{SUM } \lambda_j$ ($\lambda_i=1$ for λ_k).

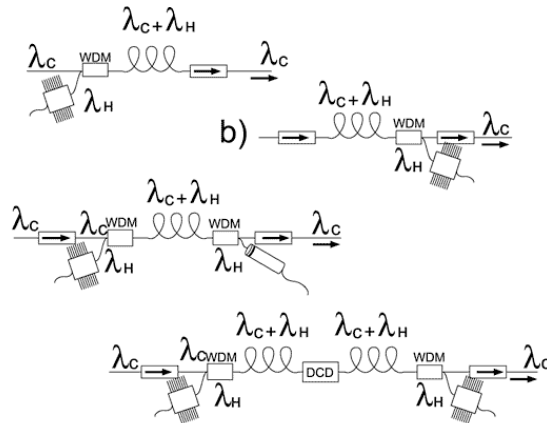


Рис. 3. Модель построения единичной цепочки междоменной иерархической ИВС на базе λ -MPLS

Таблица 1.

Таблица кодирования меток λ_c из общего числа M для $M_{\lambda_i} = 5$

λ_{1k} (метка 1, внутр. домен.)	λ_{2k} (метка 2, внутр. домен.)	λ_{1j} (метка 1, междомен.)	λ_{2k} (метка 2, междомен.)	Сумарное количество меток $M_{\lambda_i} (\lambda_i) \& \lambda_k \& M_{\lambda_j} (\lambda_j) \& \lambda_j$
1310	1510	1320	1520	8
1320	1520	1330	1530	4
1330	1530	1340	1540	8
1340	1540	1350	1550	8
1350	1550	1310	1510	4

На рис. 4 приведены результаты моделирования процесса передачи сигнала (в среде моделирования ВОЛС – OptiSim R-Soft TM Trial) и получены основные аналитические оценки влияния дисперсии в λ -MPLS междоменных иерархических сетях (канал по модели домена λ -MPLS изображен на рис.2).

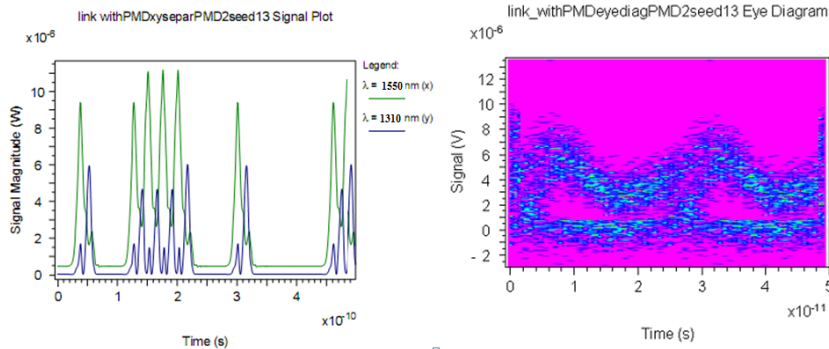


Рис. 4. Основные аналитические оценки влияния дисперсии в λ -MPLS – междоменных λ -MPLS ИВС

Проведены основные аналитические оценки внутредоменной модели ИВС (рис.4) на базе λ -MPLS – по математической модели (3)- (4) в программе MathCAD 14 и были получены аналитические выражения для выигрыша в производительности (рис.5).

Сама компьютерная модели показана на рис. 6. Здесь функция распределения пакетной загрузки сети по слоям $R(i)$ задана в зависимости от степени неравномерности трафика при использовании тракта коммутации λ -MPLS . Значительное улучшение степени оптимизации работы внутредоменной модели сети и пропускной способности при передаче неравномерного смешанного трафика и соответственно значения загрузки можно получить при использовании многоуровневой технологии иерархии.

По сравнению с внутредоменной ИВС на базе λ -MPLS достигается возможность гибкой маршрутизации, однако общая производительность междоменной сети будет меньшей за счет использования большого числа меток и соответственно длин волн λ_j и λ_k , необходимых для выделения под них. Предположим, что по сети λ -MPLS расположенной поверх ATM или FrameRelay передаются IP-пакеты.

Средний размер Internet-пакета (IP- пакета) в междоменной сети составляет на данный момент составляет 1518 бит. Каждый пакет содержит сервисную информацию протоколов IP (20 байт), TCP (от 20

до 25 байт), HDLC (6 байт), причеm последняя опускается при коммутации по λ -MPLS (1500-битный пакет IPv4 содержит 320 бит служебной информации L Service на уровнях L2-L3 и 2064 бита данных B_{data}). Кроме этого, перед передачей на AAL3 к каждому пакету присоединяется дополнительно 8 байт фрейма AAL3, и 8 байт LLC/SNAP, и 2 бита LLC/SNAP / λ -MPLS т.е. Кроме этого, перед передачей на AAL3 к каждому пакету присоединяется дополнительно 8 байт фрейма AAL5, и 8+2 байт LLC / SNAP, т.е. $L_{aal5} = 8 \cdot 8 + 8 \cdot 8 \cdot 2 = 192$ (бит).

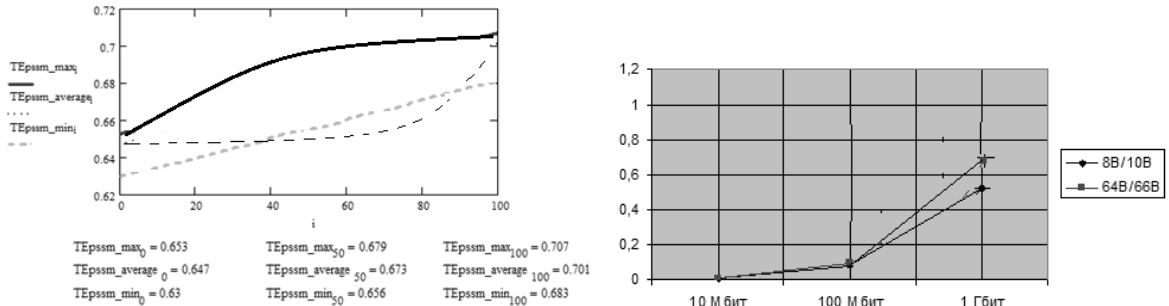


Рис.5. Результаты моделирования зависимости времени передачи и пропускной способности в сетях IP и в междоменных ИВС λ -MPLS пр. разных параметрах загрузки сети на основе стандарта Gigabit Ethernet

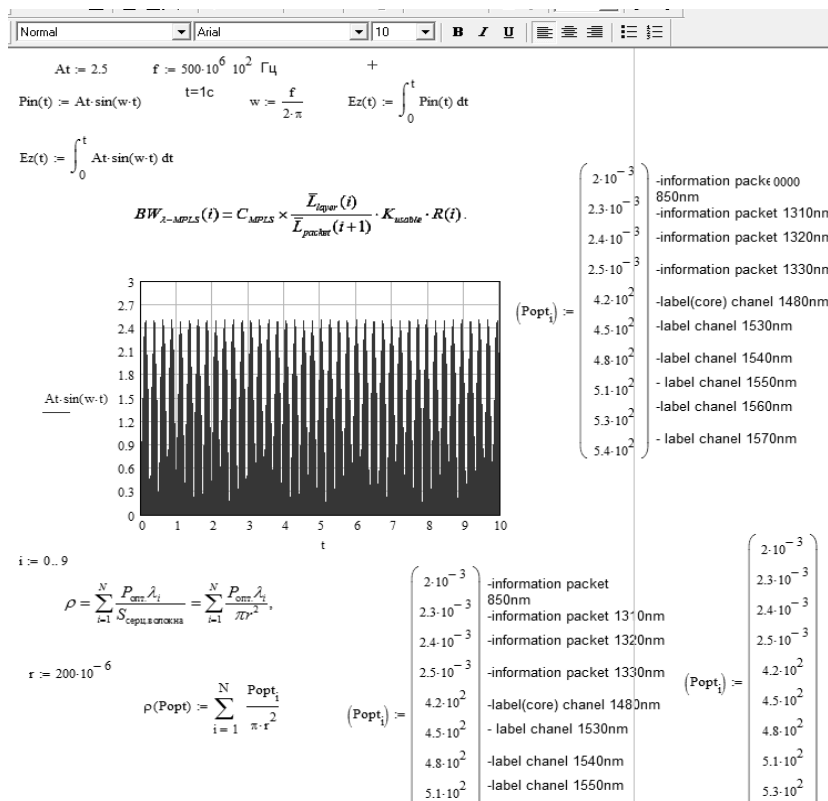


Рис.6. Компьютерная модель процесса передачи данных через ИВС на 2-х доменах на базе λ -MPLS

Результаты моделирования показывают, что больше всего при высоких скоростях и степени загрузки сети и передачи большого количества трафика в междоменных сетях на величину пакетной задержки во внутредоменном λ -MPLS влияют размер пакета, количество меток соответствующего количеству каналов N_i и количество возможных каналов коммутации (IP- пакеты малых размеров несут большое число служебной информации) и максимальную загрузку, которая может быть поддержана соответствующим λ -ESB маршрутизатором или коммутатором (L3). Размер нагрузки при этом уменьшается до значения 70-80% для кадра 1518 байт (IP- пакета) в приведенной модели значения загрузки составит 2,46.

Сложность схем организации кодирования меток и высокая стоимость оборудования λ_k -ESR и очень высокие требования к оптическим трактам и компонентам является основным сдерживающим фактором по внедрению междоменных ИВС на базе λ -MPLS, что также подтверждает значительный опыт в этом направлении корпорации Cisco Systems (США).

Модель иерархических оптических сетей на основе λ -MPLS с внесетевой организацией

В существующей литературе по методу организации ИВС и транспортных сетей а базе λ -MPLS [4, 10, 11] очень мало информации посвящено именно организации λ -MPLS на мультидоменном и

магистральном уровне построения сетей. Именно, ведущие в области телекоммуникаций и построения иерархических ИВС корпорации: Cisco Systems (США), Alcatel-Lucent (Франция) и Huawei(Корея) ограничиваются исследованием сетей λ -MPLS на уровне внедоменной организации на уровне до 10 доменов. Это обусловлено в первую очередь тем, что технология λ -MPLS в магистральных высокопроизводительных иерархических оптических сетях крайне сложна и дорогостояща в экономическом плане при ее практической реализации. Стоимость граничных маршрутизаторов λ -MPLS - λ -ESR превышает по крайней мере в 3-5 раз стоимость аналогических оптических ESR решений на оптоэлектронной элементной базе с электрооптическим и оптико-электрическим преобразованием на электронной матрице коммутации/маршрутизации (L3). Стоимость пограничных магистральных междоменных маршрутизаторов λ -ESB может в несколько десятков раз превышать стоимость традиционных электронных решений (с электронной коммутацией/маршрутизацией (L3) и находится в размерности до 100 000 USD. (дол. США). Такие маршрутизаторы, как правило являются составляющими компонент транспортных мультисервисных платформ агрегации магистральных потоков (типа Cisco EDGE 6500, 12000 и выше). Кроме этого, основным фактором, сдерживающим распространение λ -MPLS на уровне магистральных сетей является значительные значение хроматической дисперсии на больших дистанциях $L > 10$ км. Этот процесс описывается зависимостью удельной хроматической дисперсии на больших значениях длины L [4]:

$$\tau_{\lambda_i}(\lambda_L) = \partial \tau / \partial \lambda \cdot \partial L = 2(B\lambda - C\lambda^{-3})\partial L = \frac{1}{2}(L_0 - L)S_0(\lambda - \lambda_0^4 / \lambda^3) / 4, \quad (5)$$

где $\lambda_0 = (C/B)^{1/4}$ – длина волны нулевой дисперсии, $S_0 = 8B$ – наклон нулевой дисперсии [2, 5], λ – рабочая длина волны, для которой определяется удельная хроматическая дисперсия; L_0, L – нулевая и поточная точки отчета длины участка волоконно-оптической линии, которые определяют активную длину участка. Нулевая точка отчета длины участка волоконно-оптической линии как правило берется равной 0 и является точкой размещения конечного передатчика ВОЛС маршрутизаторов λ -ESR (λ -ESB).

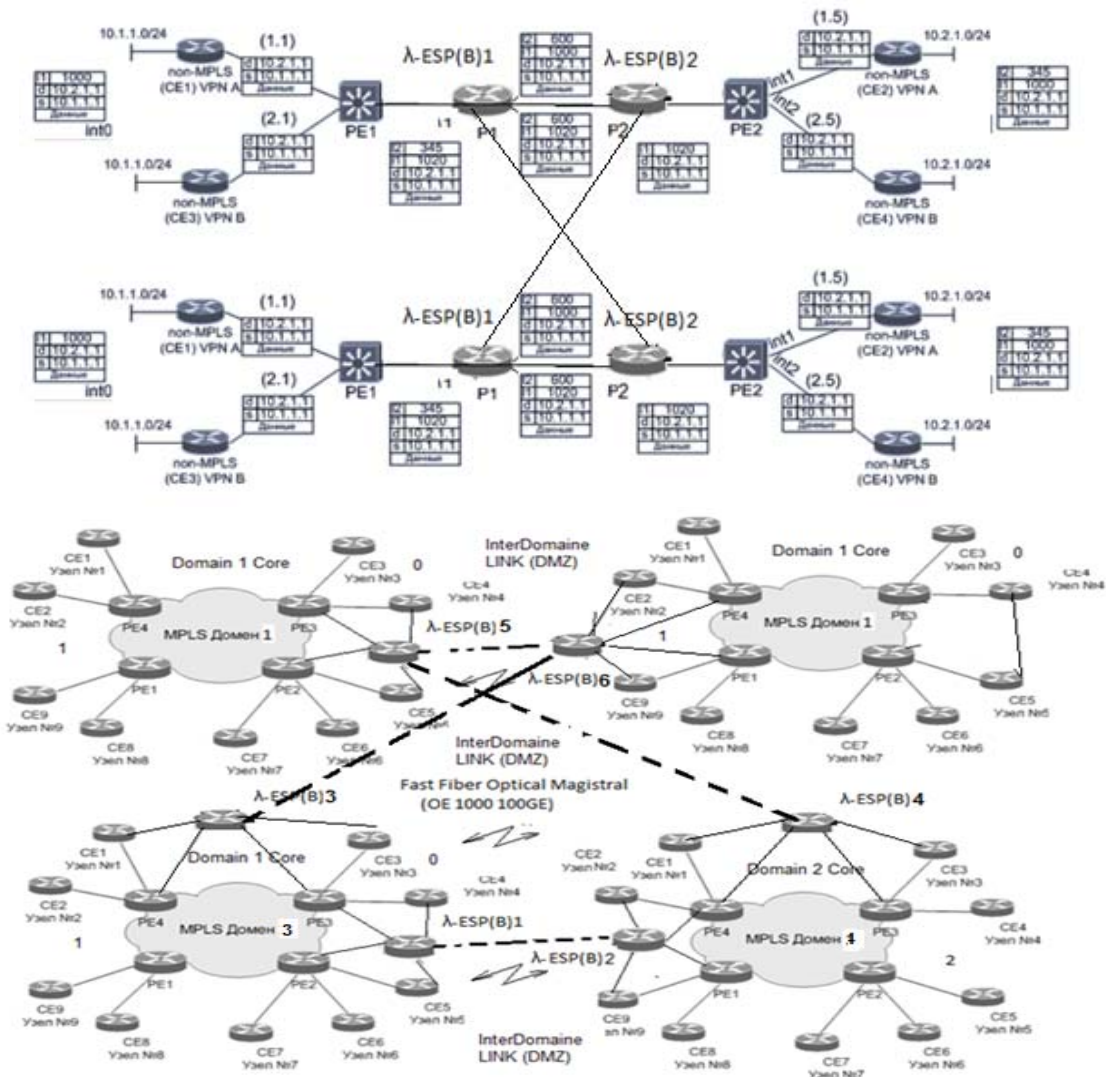


Рис.7. Модель межсетевой ИВС (мультидоменного) на основе λ -MPLS на базе 4-х доменов

Проблематика оптической λ -коммутации в цепях усилителей EDFA внутри каждого домена и особенно во введомной организации с конкретного количеством длин волн меток λ_k и λ_j в WDM системах является действительно значительной. В зависимости от количества каналов, мультиплексированных в тракт λ -MPLS λ -ESB-маршрутизатором, каждый канал передачи является автономным, однако не может быть линейно усилен в трактах EDFA – усилителей и в плане стороннего формирования нелинейного усиления, некоторые каналы будут утеряны в силу потер меток λ_k для тракта без потери дальности связи для информационных пакетов. Ширина спектра большинства традиционных усилителей EDFA составляет $\Delta\lambda=1450-1480$ и соответствует активным областям поглощения волокна легированного ионами Er^{3+} , что используется у волоконно-оптических усилителей EDFA.

Модель межсетевой ИВС (мультидоменного) на основе λ -MPLS представлена на рис.7.

Данная модель (рис.7) крайне сложна в практической реализации и описании и включает большое количество маршрутизаторов/коммутаторов уровня (L3). При ее описании и настройке на практическом уровне возникают проблемы с управлением большого количества служебного трафика таблиц, маршрутизации в оптических. Как краевых λ -ESR, так и магистральных пограничных λ -ESB маршрутизаторов. Таблицы маршрутизации представленных на разных длинах волн. Главным критерием, является отсутствие перекрытия двух длин волн внутри домена с кодирование каждой метки пакетами на каждой из длин волн λ_c из общего диапазона $\lambda_1 \dots \lambda_c \dots \lambda_k$ ($\lambda_i \in \lambda_1 \dots \lambda_k$) и общим числом $M_{\lambda_i} = \sum \lambda_i$ ($\lambda_i=1$ for λ_k).

Пути улучшения междоменной маршрутизации λ -MPLS

Канал ВОЛС на базе λ -MPLS с полосой пропускания 100-Gbps, строится на базе комбинации многих сигналов на более низких скоростях, так как очень мало отдельных приложений сегодня используют эту высокую пропускную способность. Такие аппаратные решения в объединении с междоменными λ -ESB маршрутизаторами в λ -MPLS-доме не предназначены для объединения низкоскоростных мультиплексированных каналов внутри домена в высокоскоростные магистрали λ -ESB роутерами. С оптимальным временем формирования кадра с разными метками λ_k для формирования каналов с более высокой скоростью. Такая обобщенная схема (рис. 2) используется для оптимального повышения скорости для всей полосы пропускания междоменной модели ИВС на базе λ -MPLS, так как она ограничена скоростью времени мультиплексирования и демуплексирования компонент.

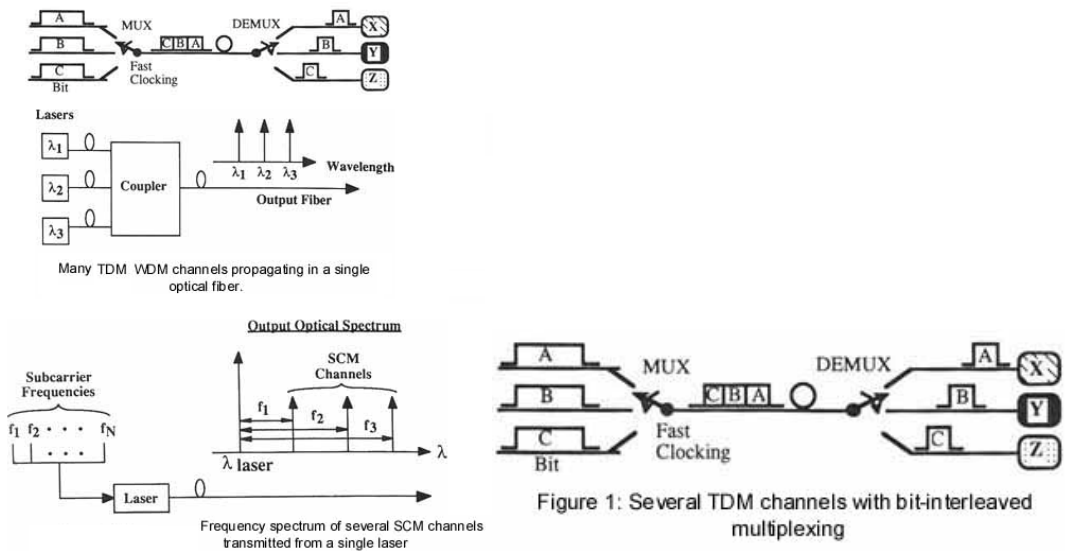


Рис.8. Схема для оптимального повышения скорости для всей полосы пропускания междоменной модели ИВС на базе λ -MPLS, так как она ограничена скоростью времени мультиплексирования и демуплексирования компонент [6]

Также активно применяется и мультиплексирование с временным разделением (TDM) в сочетании с WDM трактами, которое может быть осуществлено и в электрической и в оптической области, с каждым меньшей скорости канала передачи бит/с (пакет/с) в заданном временном интервале с ожиданием своей очереди маршрутизации и передачи на скоростях <100-200Gbps.

Другим методом, концептуально связанным с WDM и который эффективно можно использовать в схеме (рис. 8) является использование вторичных поднесущих мультиплексирование (SCM) для непосредственного модулирования $\sim 10^{12}$ терагерцового оптического диапазона сигналов с несущей волны с пакетами данных до 100Gb/s (Гбит/с) базовой полосы (рис.9).

Оптическая схема мультиплексирования с использованием SCM (рис.9) называется мультиплексированием с пространственным разделением, в котором канал для канала маршрутизации в λ -MPLS междоменной структуре определяется различным пространственным положением с использованием формирования меток на длинах волн λ_k . Схема показана на рисунке 3, в котором оптический выход волокна разделяется на N различных и параллельных каналов с мультиплексированием и маршрутизацией меток λ_k как внутри домена так и вне оптического луча. Каждая из выходных N – меток из общего числа пропускается через

световод модулирующего переключателя, а затем соединяется с другим выходным волокном. Управляя коэффициент пропускания каждого оптического модулятора, сигнал на входе в волокно может быть направлен и маршрутизирован λ -ESB на любой выходной оптический порт. По такому сценарию, N входных меток в одном волокне может быть полностью соединены между собой с $N_{\lambda k}$ портами волоконным выходом с помощью матрицы оптических переключателей N_k . Подобная технология для внедрения систем управления метками λ_k в умеренной скорости уже активно выходят на рынок. В отличие от всех других методов, однако, каждый канал занимает свою пространственную координату, и все другие каналы не могут быть переданы одновременно на одном волокне. Другими словами, мы не более полного использования высокой пропускной способности волокна, но создается матрица пространственной коммутацией (L3) с высокой пропускной способностью, в результате чего большая общая емкость коммутации (L3) может быть реализована.

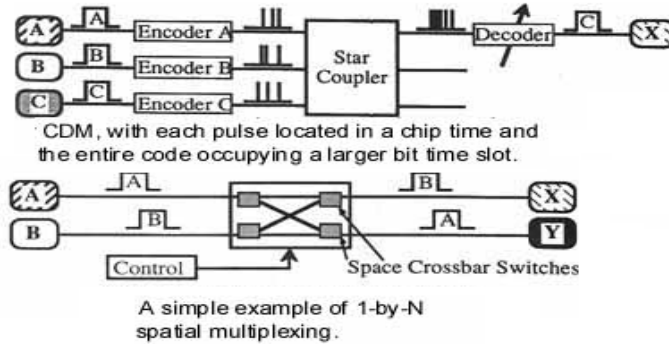


Рис.9. Схема для повышения скорости для всей полосы пропускания междоменной модели иерархических ИВС на базе λ -MPLS с использованием мультиплексирования SCM

Значения максимальной полосы пропускания такой комплексной модели на физическом уровне (L1) оптического волокна для единичного волоконного канала может быть выведено с учетом схем (рис.8-рис.9) и формулы (3), как:

$$W_{\lambda MPLS(TDM-WDM-SCM)} = \frac{0.44 N_{TDM} \cdot N_{WDM} \cdot N_{SCM}}{\tau_z} \cdot \sum_{i=1}^{N_{\lambda k}} S_i \quad (6)$$

Пропорциональное увеличение единичного волоконного канала в междоменной модели λ -MPLS позволит повысить количество каналов и соответственно скорость еще на один уровень полосу пропускания системы на уровне:

$$W_{\max SCM-TDM-WDM} \approx \sum_k^{K_{SCM}} \sum_j^{N_{TDM}} \sum_i^{M_{WDM}} \frac{0.44}{\tau_z} N_i S_i, \quad (7)$$

где τ_z – общая дисперсия единичной волоконно-оптической линии; K_{PFOI} – общее количество единичных волоконно-оптических линий, которые входят в состав междоменной модели λ -MPLS ($k \in 1.. K_{\lambda-MPLS}$); N_i – количество каналов мультиплексированных во времени (TDM) и за методами WDM и SCM с с помощью технологии комплексного сжатия пакетов и меток ($\lambda_j, \lambda_j \in 1.. N_j$).

Выиграш по продуктивности в междоменных λ -MPLS сетях можно оценить минимальным временам передачи заголовка пакета $T_{загMPLS}$, которое определяется следующим соотношением:

$$T_{загMPLS} = m(T_p + T_{MPLSD} + D(K_{MPLS} - 1)\Delta\lambda_{MPLS}L), \text{ где } T_{MPLSD} \text{ – время латентности при междоменном взаимодействии.}$$

В отличии от формулы (6), формула модели (7) будет иметь большие временные взаимодействия, за счет формирования дополнительных больших таблиц маршрутизации и использования дополнительных меток на других длинах волн λ_k и λ_j для взаимодействия меж доменами.

Разработка универсальной модели λ -MPLS сети

Хорошо изучена технология и модель оптических коммутационных λ -MPLS сетей с внутредоменной организацией, когда основой выступают INGRESS λ -E-LSR и λ -EGRESS (λ -E-LSR) – роутеры, которые выполняют направление каждого пакета и выполняют их агрегацию без метки, прежде чем поместить/удалить метку из пакета в рамках прохождения его внутри MPLS-пакета и передачи IP-пакет далее на другие компоненты сети TCP-IP и другими маршрутизаторами (рис.10) [3].

Обобщенная структурная схема оптической внутредоменной сети λ -MPLS [6] показана на рис. 10 представляет собой оптический DWDM-домен с границами преобразования λ -ESR- маршрутизаторов и передачей пакетов от электронных пакетов в оптические сигналы. Основной узел источника пакетов Client A генерирует IP-пакеты, которые направляются с помощью обычных электронных IP-маршрутизаторов Ingress (L3) на маршрутизатор в оптическую сеть MPLS. Метки, закодированные в оптической форме λ -ESR

добавляются IP-пакеты на оптический коммутатор, расположенный на входном маршрутизаторе. Оптические коммутаторы ядра выполняют маршрутизацию и пересылку по меткам стопинга (Swoping). Ядро сети представляет собой оптический домен с WDM/DWDM – маршрутизаторами и скоростными волоконно-оптическими линиями связи. В процессе работы, когда информационные пакеты с λ -метками оставляют оптическое ядро сети. Краевые маршрутизаторы λ -ESR снимают оптические метки и превращают пакеты в электронные сигналы и направляют в обычную электронную сеть с маршрутизаторами L3.

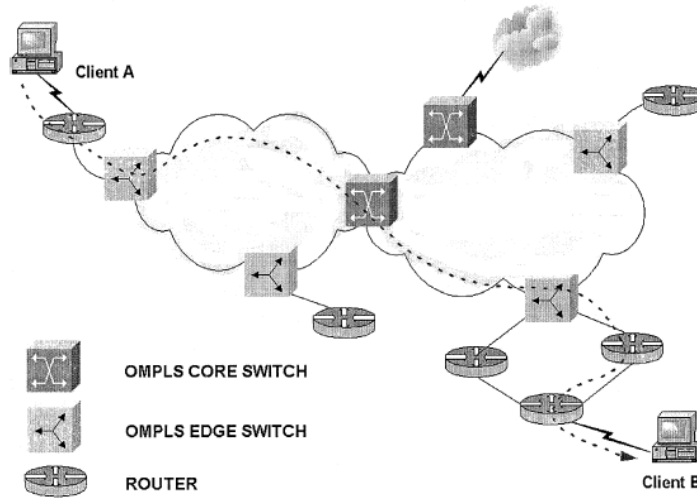


Рис.10. Базовая структурная модель универсальной оптической сети λ -MPLS сети

На рисунке 10 изображены сетевые элементы физического уровня, соединенных волоконно-оптических линий и маршрутизации пакетов и иерархия переадресации [7]. IP-пакеты генерируются в электронный слой маршрутизации (IP-маршрутизаторы) и обрабатываются в адаптации λ -MPLS (OMPLS). Основной слой, который инкапсулирует IP-пакеты с оптической меткой λ_k без изменения оригинала. Структура пакета во внутридоменной организации показана на рис.11.

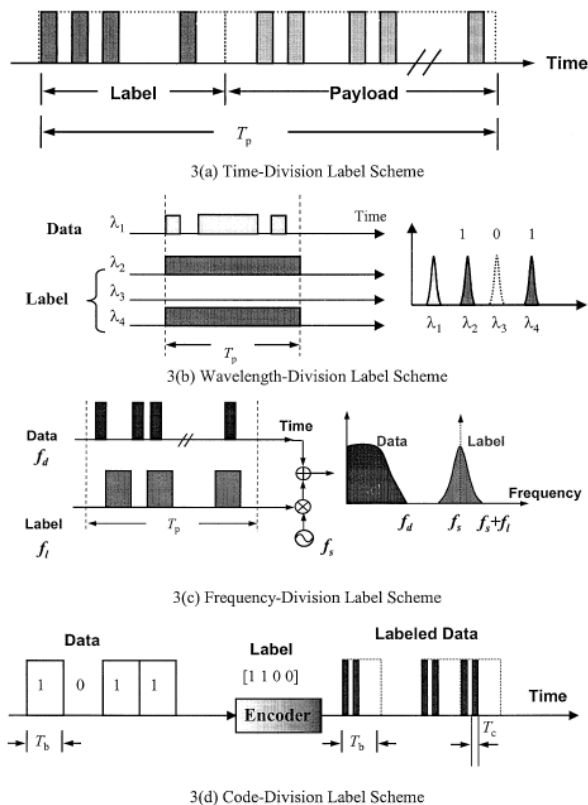


Рис.11. Схемы технологий формирования оптических меток на ранних длинах волн λ_k с использованием ранних частот f_k : (а) – накладные расходы во временной области формирования метки T_p в процессе длительности пакета на промежутке $f_d - f_s$, (б) f_s – поднесущая метки; (с) T_b и T_c – время распространения кода метки и (д) λ_1 длины волны распространения информационного пакета; $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – длины волны кодирования меток при различных комбинация этих носителей, которые обозначают различные метки

В процессе работы адаптационный слой превращает пакет и метки в новые длины волн и определяет локальные таблицы маршрутизации. $\lambda_n - \lambda_k$ при WDM-мультиплексировании в оптический слой мультиплексирования и маркированные пакеты на общую среду волокна.

Для построения универсальной модели λ -MPLS (OMPLS) иерархической оптической сети необходимо в корне пересмотреть тип соединения маршрутизаторов λ - ESR и λ - ESB, которые во всех известных моделях не являются прямыми (direct – route-connection-path). Универсальная модель сети λ -MPLS строится на традиционной архитектуре трехуровневых оптических сетей с учетом применения универсальной трехграничной ячейки (tree-boundary cell) (рис.11а), которая применяется НПО всей структуре на всех 3-х уровнях (core-access-distribution) и позволяет соединять все слои сети гармонично из контролируемой иерархией (модель такой сети показана на рис.11б). Контролируемая иерархия позволяет выборочно соединять все слои системы λ -MPLS и избежать переполнения меток и нагромождения аппаратуры в системе λ -MPLS, что позволяет перенять преимущества внутредоменной и внедоменной моделей сетей избежать недостатков присущих межсетевой модели λ -MPLS сетей. Предложенная универсальная модель λ -MPLS оптических иерархической сети, показанная на рис.12.

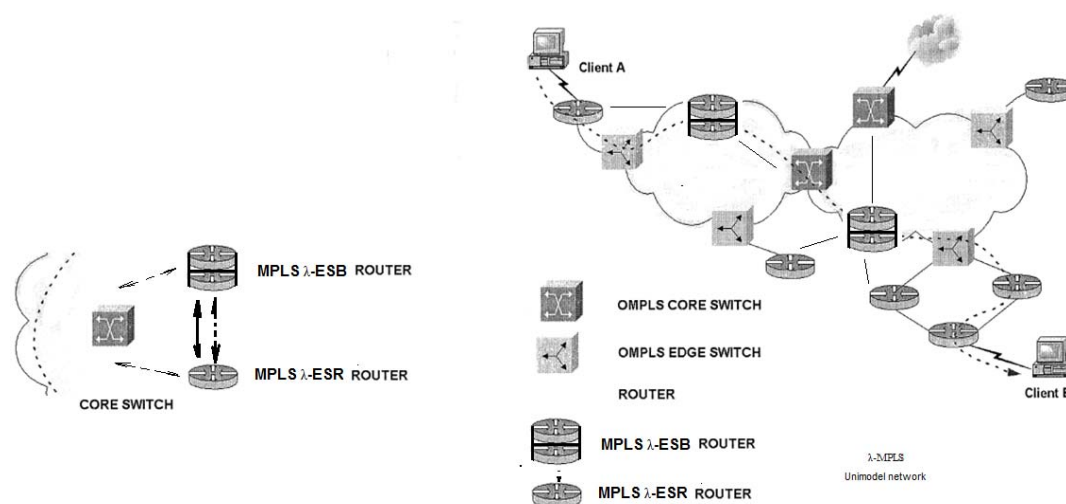


Рис.12. Структурная универсальная модель λ -MPLS оптических иерархических сетей на базе а) универсальной трехграничной ячейки (tree-boundary cell) и б) полная модель универсальной сети

Некоторые подходы к оптическому мультиплексированию могут быть использованы в данной модели, в том числе при введении непосредственно на доступный канал WDM [8, 9], при сжатии пакетов через оптический временной TDM или оптический WDM-мультиплексор при времени смешивания при компрессии(сжатии) информации через временной и оптический порт. Также может применяться кодовое разделение каналов в ядре оптической сети MPLS, когда магистральные маршрутизаторы λ -MPLS – λ -ESR, которые могут быть разделены на 2 основные части: компонент управления и компонент пересылки, выполняют маршрутизацию при передачи функций управления(агрегации) трафика.

Основные преимущества универсального (унидоменного λ -MPLS):

- Быстрая скорость коммутации и пересылки пакетов в ядре λ -MPLS оптической сети;
- Большая производительность ядра сети и возможность агрегации большего количества трафика B_i ;
- Высокая скорость коммутации пакетов и каналов в структуре центра оптического ядра λ -MPLS.
- Возможность пересылки большого объема трафика внутри оптического ядра сети и построение скоростного ядра сети на основе оптических методов мультиплексирования WDM с λ -коммутацией.

Основными недостатками сетей λ -MPLS являются :

- высокая стоимость оборудования и высокие аппаратурные затраты организации ядра сети;
- отсутствие широкого промышленного производства линейки λ -ESR и λ -ESP маршрутизаторов, что исключает возможность широкой замены и функциональности широкого внедрения оптической λ -MPLS – технологии на практике, что подтверждают последние исследования и разработки компании Cisco(США) [3];
- невозможность гибкой реорганизации ядра сети, за счет специализированности оборудования и сложности оптических схем и WDM-компонент и коммутаторов ядра λ -MPLS сети.
- высокие требования к оптическим компонентам системы оптического ядра λ -MPLS-сети, что требует необходимости внедрения и использования более дорогих технологий обслуживания и эксплуатационно-технических работ;
- более высокая удельная стоимость передачи информационного трафика (Гбит/грн., Гбит/\$,) за счет дороговизны и сложности оборудования.

Выводы

В данной статье были исследованы характеристики современных внешнедоменной и внесетевой моделей иерархических оптических сетей на базе λ -MPLS маршрутизации. Проведен сравнительный анализ технологии λ -MPLS на внесетевом и внешнедоменном уровнях сетевой иерархии на базе традиционных технологий с IP-маршрутизацией. Исследованы основные характеристики пропускной способности данных моделей построения сетей на базе λ -MPLS и определены пути улучшения междоменной маршрутизации с целью повышения пропускной способности сети. Также приведены пути к повышению основных характеристик. Предложена универсальная модель распределенной λ -MPLS сети, с повышенной информационной пропускной способностью.

Достоинства от внедрения оптической технологии λ -MPLS в информационно-вычислительные иерархические сети перекрывают недостатки от внедрения таких систем, и способны значительно улучшить как скорость передачи трафика, так и производительность и качество обслуживания сети.

Если моделировать процессы прохождения информационного трафика во внутредоменной системе λ -MPLS-сети, то можно увидеть рост внешних затрат.

Литература

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб: Издательство “Питер”, 1999. – 672с.
2. Лисенко Г. Л. Волоконна та інтегральна оптика. Ч.1. ; [навчал. посіб.] / Г. Л. Лисенко. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 127 с.
3. Александр Бахаревский. Решения и продукты компании Cisco Systems по построению оптических сетей. Могущество сетевых технологий сегодня: [Электронный ресурс] / Материалы компании Cisco systems. – ССIE. 60стр.– Режим доступа: Wolrd Wide Web: <http://www.cisco.com/go/optical>
4. А. Снайдер, Дж. Лав. Теория оптических волноводов ; [пер. с англ. под ред. Е.М. Дианова, В.В. Шевченко]. – М.: Радио и связь, 1987. – 655с.
5. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Тренз, 1998. – 268 с. – ISBN 5-88405-023-2.
6. On Architecture and Limitation of Optical Multiprotocol Label Switching (MPLS) Networks Using Optical-Orthogonal-Code (OOC)/Wavelength Label Y. G. Wen, Y. Zhang, and L. K. Chen / Department of Information Engineering, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, New Territories, Hong Kong, Special Administrative Region, China. – October 22. – 2001. – pp.201-212.
7. Никульский И.Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа : [Монография] / Никульский И.Е. – М.: Техносфера, 2006. – 256с. – ISBN 5-94836-087-3.
8. Frank Briamonte. Lucent Technologies unveils world's fastest single-laser optical transmission system: [Электронный ресурс]/ F. Briamonte // Photonics Online. – March 11. –1999. – Тип доступа: World Wide Web: www.photonicsonline.com/article.mvc/LUCENT-Lucent-Technologies-unveils-worlds-fas-0001.
9. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман ; [пер. с англ. под ред. Слепов Н.Н.]. – М.: Техносфера, 2004. – 495 с. – (2-е изд., Мир связи). – ISBN 5-94836-010-5.
10. Frank Effenberger, Tarek S. El-Bawab Passive Optical Networks (PONs): Past, present, and future / F. Effenberger, T. S. El-Bawab // Optical Switching and Networking, Volume 6, Issue 3, July 2009, Pages 143-150.

References

1. Olifer V. G. Kompyuternyye seti. Printsipyi, tehnologii, protokolyi / V. G. Olifer, N. A. Olifer. – Spb: Izdatelstvo “Piter”, 1999. – 672s.
2. Lisenko G. L. Volokonna ta Integralna optika. Ch.1. ; [navchal. poslb.] / G. L. Lisenko. – Vlnnitsya: VDTU, 1998. – 127 s.
3. Aleksandr Baharevskiy. Resheniya i produkty kompanii Cisco Systems po postroeniyu opticheskikh setey. Moguschestvo setevykh tehnologiy segodnya: [Elektronniy resurs] / Materialy kompanii Cisco systems. – SSIE. 60str.– Rezhim dostupu: Wolrd Wide Web: <http://www.cisco.com/go/optical>
4. A. Snayder, Dzh. Lav. Teoriya opticheskikh volnovodov ; [per. s angl. pod red. E.M. Dianova, V.V. Shevchenko]. – M.: Radio i svyaz, 1987. – 655s.
5. Ubaydullaev R. R. Volokonno-opticheskie seti [Tekst] / R. R. Ubaydullaev. – M.: Eko-Trenz, 1998. – 268 s. – ISBN 5-88405-023-2.
6. On Architecture and Limitation of Optical Multiprotocol Label Switching (MPLS) Networks Using Optical-Orthogonal-Code (OOC)/Wavelength Label Y. G. Wen, Y. Zhang, and L. K. Chen / Department of Information Engineering, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, New Territories, Hong Kong, Special Administrative Region, China. – October 22. – 2001. – pp.201-212.
7. Nikulskiy I.E. Opticheskie interfeysy tsifrovih kommutatsionnyh stantsiy i seti dostupa : [Monografiya] / Nikulskiy I.E. – M.: Tehnosfera, 2006. – 256s. – ISBN 5-94836-087-3.
8. Frank Briamonte. Lucent Technologies unveils world's fastest single-laser optical transmission system: [Elektronniy resurs]/ F. Briamonte // Photonics Online. – March 11. –1999. – Tip dostupu: World Wide Web: www.photonicsonline.com/article.mvc/LUCENT-Lucent-Technologies-unveils-worlds-fas-0001.
9. Friman R. Volokonno-opticheskie sistemy svyazi / R. Friman ; [per. s angl. pod red. Slepov N.N.]. – M.: Tehnosfera, 2004. – 495 s. – (2-e izd., Mir svyazi). – ISBN 5-94836-010-5.
10. Frank Effenberger, Tarek S. El-Bawab Passive Optical Networks (PONs): Past, present, and future / F. Effenberger, T. S. El-Bawab // Optical Switching and Networking, Volume 6, Issue 3, July 2009, Pages 143-150.

Рецензія/Peer review : 10.5.2016 р.

Надрукована/Printed :28.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ
БАГАТОРІВНЕВИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ**

Розроблено комп'ютерну модель в яку закладено синтезований закон керування мережесим багаторівневим інвертором напруги сонячного модуля, який дозволяє утримувати режим роботи сонячного модуля в області точки відбору максимальної потужності, що збільшує його продуктивність. Запропоновано комп'ютерну модель регулятора поздовжньої складової струму інвертора, яка враховує поточну та задану напругу мережі та напругу сонячного модуля. Запропоновано комп'ютерну модель регулятора поперечної складової струму інвертора, яка враховує задане значення активної потужності з вузла мережі та задане значення поперечної складової струму, яка необхідна для роботи інвертора в області точки відбору максимальної потужності.

Ключові слова: комп'ютерна модель, багаторівневий інвертор напруги, керування, сонячний модуль.

V.V. GRABKO, S.M. LEVITSKIY, V.S. BOMBYK
Vinnitsya National Technical University, Ukraine

COMPUTER MODEL OF CONTROL SYSTEM OF GRID MULTILEVEL VOLTAGE INVERTER

Abstract - Have been developed computer model, which consist synthesized control law for network multilevel inverter of solar module that allows you to hold the solar module operation in terms of selection of the maximum power, which increases productivity. Proposed computer model of the longitudinal component of the current controller of the inverter, which considers current and desired grid voltage and voltage of the solar modules. Proposed computer model of the transverse component of the current controller of the inverter, which allows for a given value of active power and grid node set to transverse component of the current, which is necessary for the inverter selection in terms of maximum power.

Keywords: computer model, multilevel voltage inverter, control, solar module.

Вступ

Останнім часом відновлювальні джерела електроенергії набувають все більшого використання в повсякденному житті, зокрема набувають популярність сонячні електростанції. Як наслідок зросло виробництво тонкоплівкових сонячних модулів, фільтрів, інверторів та іншого сукупного обладнання [1]. Для формування вихідної змінної напруги в сонячних модулях як локальних, так і мережесим, як правило використовуються однорівневі інвертори напруги. Перевагами однорівневих інверторів є низька вартість, висока ефективність, стабільна робота, висока надійність та простота конструкції. З іншої сторони, багаторівневі інвертори напруги мають ряд переваг над однорівневими, зокрема: покращена форма вихідної напруги, покращена електромагнітна сумісність та менші втрати в силовій частині [2]. Але разом з тим також є деякі недоліки таких інверторів, а саме збільшення кількості силових ключів і як наслідок ускладнення реалізації системи керування комутацією, а при використанні їх в межах сонячних електростанцій вимагає ще й додаткової адаптації до вимог існуючої електроенергетичної системи.

В роботах [3, 4] розглядаються моделі багаторівневих інверторів напруги при роботі з електроприводом в двигунному режимі роботи, але в них відсутній аналіз паралельної роботи інверторів з мережею. Тому необхідно синтезувати систему керування багаторівневим інвертором, яка орієнтована на застосування в сонячних електростанціях.

Багаторівневі інвертори напруги при роботі в сонячних електростанціях мають два основних завдання: по-перше – формування синусоїдального струму та напруги на своєму виході для віддачі в мережу, по-друге – для зменшення рівня гармонік [5]. Метою роботи є комп'ютерне моделювання синтезованої системи керування мережесим багаторівневим інвертором напруги при роботі в складі сонячної електростанції для встановлення показників якості керування інвертором, допустимих режимів роботи, обчислення параметрів фільтра електромагнітної сумісності.

Результати дослідження

В системах векторного керування інверторами використовується приведення трифазної системи струмів інвертора до ортогональної d-q-системи координат. При цьому вихідна напруга на виході інвертора відповідно встановлюється пропорційною до поздовжньої складової струму I_d , а вихідна потужність забезпечується відповідним значенням поперечної складової I_q . При узгодженні роботи багаторівневого інвертора з мережею для відслідковування точки квазіекстремуму вольт-амперної характеристики сонячного модуля поздовжня та поперечна складові струму багаторівневого інвертора будуть забезпечувати напругу та потужність, яка зі сторони входу інвертора зніматиметься з сонячного модуля, а зі сторони виходу буде віддаватись в мережу. В роботі [6] зазначено, що гармоніки нижчого порядку сильно впливають на роботу інвертора тому є сенс встановити L-фільтр між виходом інвертора напруги та мережею. Враховуючи вище описане та структуру системи керування, яка представлена в роботі [7], структура внутрішнього контуру системи керування багаторівневим інвертором та його силова частина матиме вигляд, наведений на рис. 1 (на прикладі трирівневого інвертора).

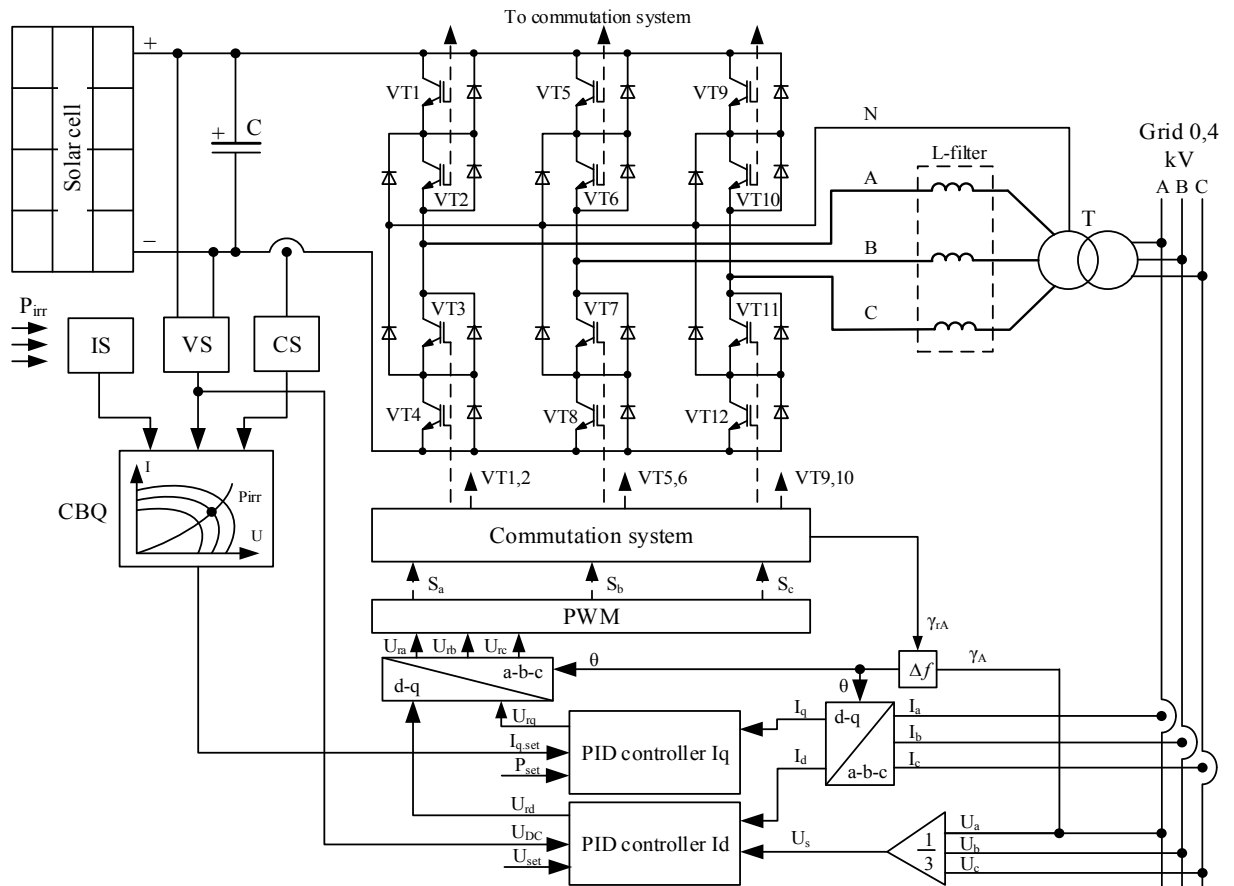


Рис. 1. Функціональна схема тривірневого мережевого інвертора з внутрішніми контурами регулювання струмів I_d та I_q

Блок обчислення квазіекстремуму (CBQ) обчислює координати області точки відбору максимальної потужності та формує сигнал завдання за струмом $I_{q,set}$ для регулятора поперечної складової I_q струму інвертора. Датчик вихідної напруги сонячного модуля формує сигнал завдання за напругою UDC для регулятора поздовжньої складової I_d струму інвертора. Зворотні зв'язки вказаних регуляторів реалізуються шляхом переводу трифазної системи струмів I_a , I_b та I_c до ортогональної I_d та I_q . Таке перетворення здійснюється відповідно кута електромагнітного навантаження інвертора θ .

Кут електромагнітного навантаження інвертора θ обчислюється системою в часовому інтервалі як різниця частот напруги мережі та інвертора відповідно

$$\theta = \int_0^{\pi} \Delta f dt. \tag{1}$$

Різниця частот визначається в часовому інтервалі на відповідному проміжку як час від моменту видачі команди системою комутації на вмикання ключа VT1 до моменту переходження через 0 кривої напруги мережі (по фазі A) в додатному напрямку (сигнал γ).

Блок перетворення трифазної системи струмів "a-b-c" до ортогональної "d-q", описується системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_d = \frac{2}{3} \left(\begin{array}{l} i_a \cdot \cos \theta + \\ + i_b \cdot \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ + i_c \cdot \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \end{array} \right) \\ I_q = \frac{2}{3} \left(\begin{array}{l} i_a \cdot \sin \theta + \\ + i_b \cdot \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ + i_c \cdot \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \end{array} \right) \end{array} \right. \tag{2}$$

Блок зворотного перетворення ортогональної системи обчислених оптимальних значень струмів I_{rd} та I_{rq} до трифазної системи напруг керування плечами моста інвертора $U_{ra}-U_{rb}-U_{rc}$ працює відповідно до системи

$$\begin{cases} U_{ra} = I_{rd} \cdot \sin \theta + I_{rq} \cdot \cos \theta, \\ U_{rb} = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} (\sqrt{3} \cdot \sin \theta - \cos \theta) I_{rq} - \\ -(\sin \theta + \sqrt{3} \cdot \cos \theta) I_{rd} \end{pmatrix}, \\ U_{rc} = -U_{ra} - U_{rb}. \end{cases} \quad (3)$$

Для забезпечення режиму утримання сонячного модуля в точці максимальної потужності автоматичні регулятори напруги (повздовжньої складової струму інвертора I_d) та потужності (поперечної складової струму інвертора I_q) будуть функціонувати відповідно до ПІД-закону регулювання та описуються системою рівнянь [8]:

$$\begin{cases} I_{set_q} = k_p \cdot k_{g_irr} \cdot P_{irr} + k_p \cdot P_{set} + \\ + k_u \cdot U_{DC} - k_{sl} \cdot I_{DC}, \\ U_{rq} = k_{pq} \cdot \left(k_{g_rq} \cdot (I_{set_q} - I_q) + \frac{1}{T_{iq}} \cdot \int_0^t (I_{set_q} - I_q) dt + \right. \\ \left. + T_{dq} \cdot \frac{d(I_{set_q} - I_q)}{dt} \right), \\ I_{set_d} = k_{b_c} \cdot \begin{pmatrix} U_{set} + U_{DC} \cdot k_{g_DC} - \\ -U_s \cdot k_{g_s} \end{pmatrix}, \\ U_{rd} = k_{pd} \cdot \left(k_{g_rd} \cdot (I_{set_d} - I_d) + \frac{1}{T_{id}} \cdot \int_0^t (I_{set_d} - I_d) dt + \right. \\ \left. + T_{dd} \cdot \frac{d(I_{set_d} - I_d)}{dt} \right), \end{cases} \quad (4)$$

де k_{pd} та k_{pq} – коефіцієнти підсилення регуляторів повздовжньої та поперечної складових струму інвертора відповідно; T_{id} та T_{iq} – сталі часу інтегрування регуляторів; T_{dd} – стала часу диференціювання каналу регулювання I_d ; U_{rd} та U_{rq} – вихідні сигнали регуляторів повздовжньої та поперечної складових струму інвертора; k_p – коефіцієнт з розмірністю провідності для приведення потужності до відповідного значення струму; k_{g_irr} – ваговий коефіцієнт підсилення значення потужності, що поступає на датчик освітлення; P_{set} – задане значення потужності сонячного модуля; k_u – коефіцієнт з розмірністю провідності для приведення напруги в каналі задання регулятора до відповідного значення струму на вході вимірювального органу регулятора; U_{DC} – напруга на виході датчика напруги сонячного модуля; k_{sl} – коефіцієнт нахилу регульовальної характеристики; I_{DC} – значення струму яке поступає на СВЧ з виходу датчика струму; k_{g_rq} – коефіцієнт підсилення П-складової вихідної напруги U_{rq} ; k_{g_i} – коефіцієнт приведення сигналу напруги до струму; U_{set} – задане значення напруги, яке повинен підтримувати сонячний модуль; U_{DC} – значення напруги на виході датчика напруги; k_{g_DC} – коефіцієнт підсилення напруги з виходу датчика напруги; U_s – середнє значення напруги мережі; k_{g_s} – коефіцієнт підсилення значення напруги мережі; k_{s_rd} – коефіцієнт підсилення П-складової напруги U_{rd} .

Розглянутий закон керування потребує уточнення коефіцієнтів налаштування, що відповідатимуть критеріям стійкості системи керування, визначення області стійкості роботи системи, встановлення динамічних характеристик для можливості їх аналізу та оптимізації в подальшому.

Здійснимо дослідження моделей регуляторів повздовжньої та поперечної складових струму інвертора та перевіримо на стійкість. Також з метою встановлення оптимальних параметрів складових струму інвертора складемо комп'ютерну модель (рис.2), яка побудована у відповідності до синтезованого закону (4).

В даній моделі: U_{zad} – задане значення напруги мережі; P_{osv} – значення потужності, яка сприймається від освітлення; P_{zad} – задане значення потужності сонячного модуля; *Solar battery* – модель сонячної батареї; *PID d* – ПІД-регулятор повздовжньої складової струму інвертора; *PID q* – ПІД-регулятор поперечної складової струму інвертора; *load* – заданий графік навантаження; *Power grid* – модель мережі.

Результати моделювання для ПІД регуляторів повздовжньої та поперечної складових струму інвертора представлені на рис.3.

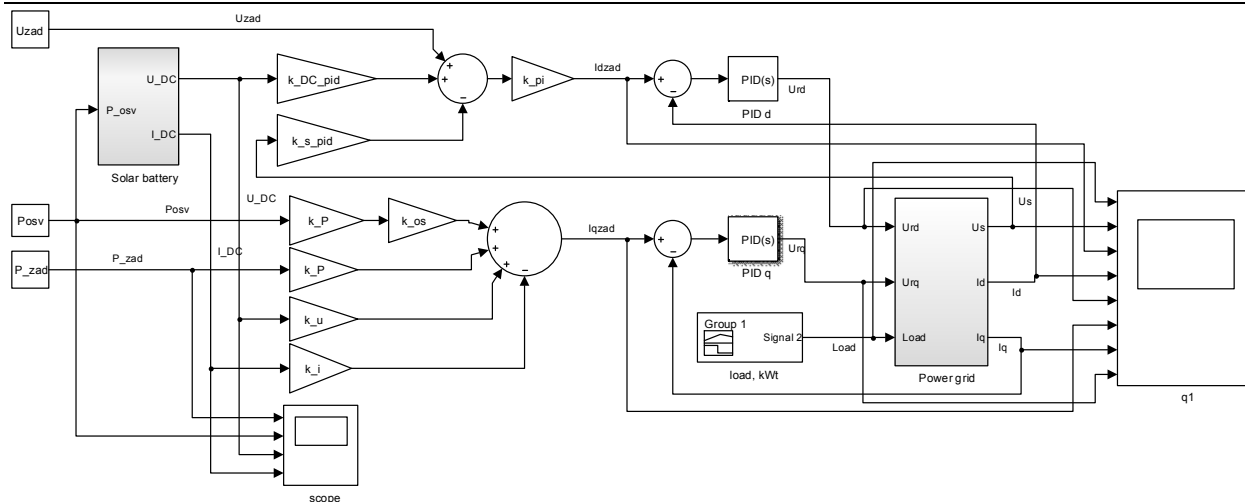


Рис.2. Комп'ютерна модель для перевірки адекватності роботи регуляторів d та q складових струму інвертора

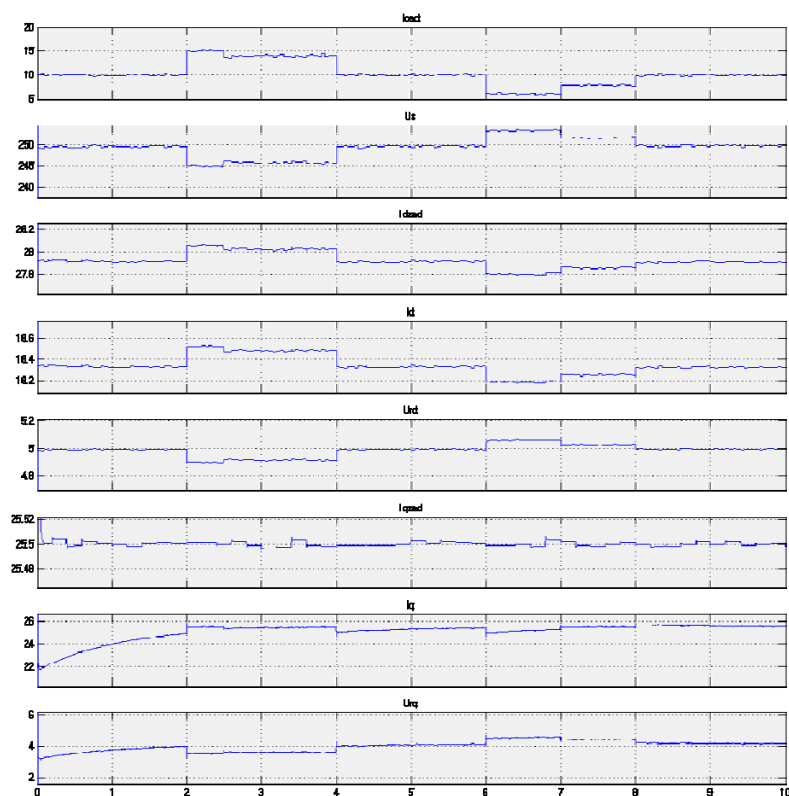


Рис. 3. Результати моделювання для ПІД регуляторів повздовжньої та поперечної складових струму інвертора

Задане та фактичне значення рівня освітленості, вихідний струм та напруга сонячної батареї показані на рис.4.

Комп'ютерна модель, яка відповідає схемотехнічній елементній базі багаторівневого інвертора напруги і працює у відповідності до закону (4) наведена на рис. 5. До її складу входять функціональні блоки: сонячний модуль (solar module), трирівневий інвертор напруги (three-level voltage inverter), трансформатор (transformer), фільтр (L-filter), навантаження (load), мережа (grid), система комутації (commutation system), регулятор повздовжньої складової струму інвертора Id (controller Id), регулятор поперечної складової струму інвертора Iq (controller Iq).

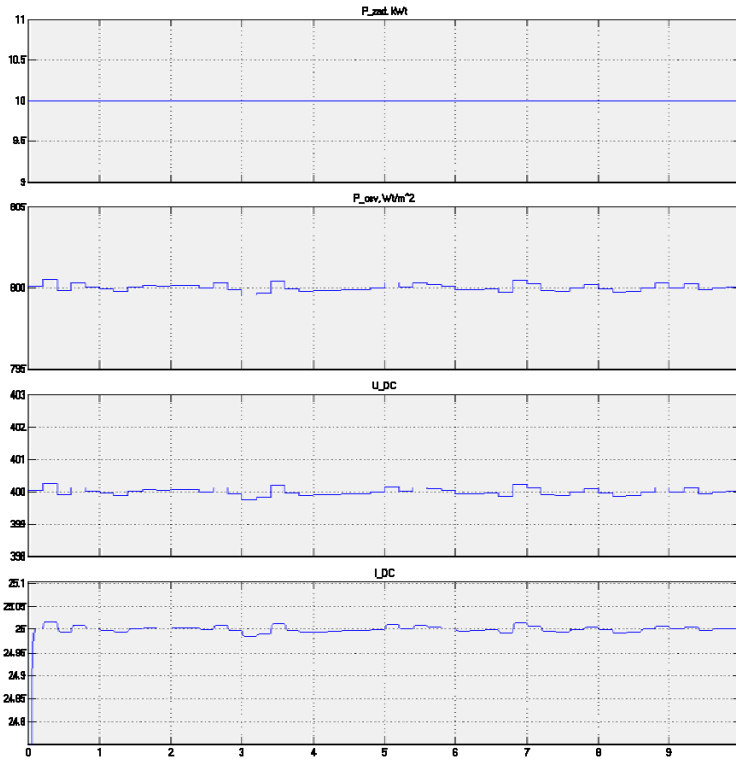


Рис.4. Задане та фактичне значення рівня освітленості, вихідний струм та напруга сонячної батареї

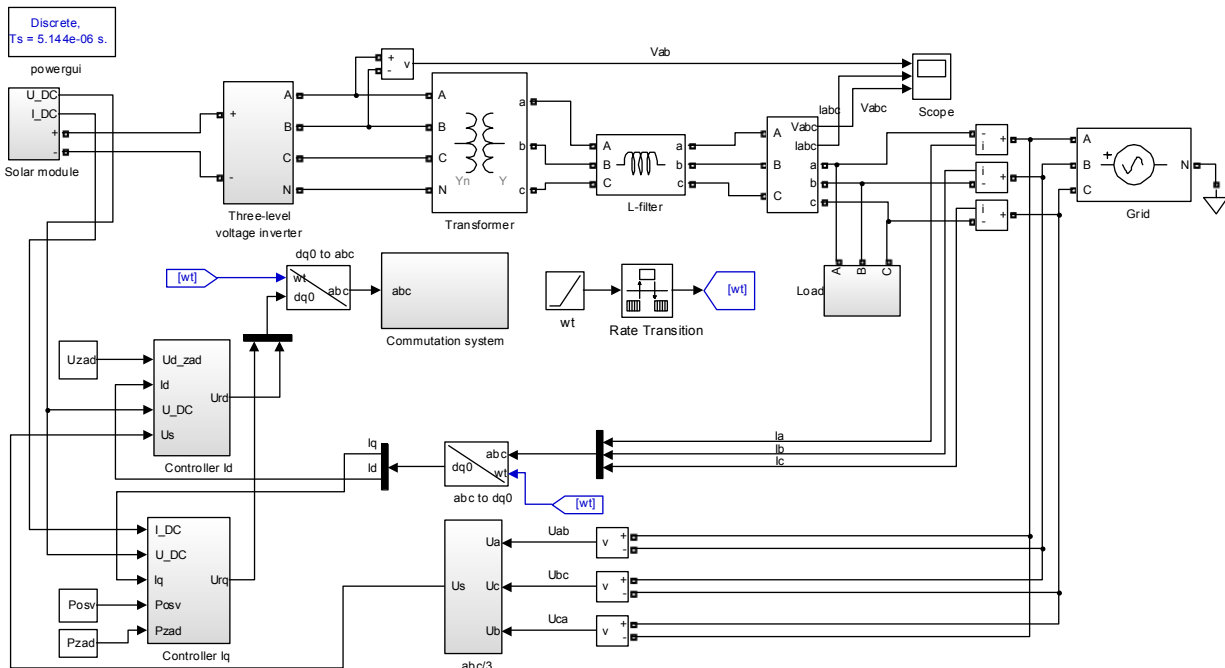


Рис.5. Комп'ютерна модель, яка відповідає схематичній елементній базі багаторівневого інвертора напруги

Провівши моделювання системи керування багаторівневим мережевим інвертором напруги при роботі з сонячним модулем та мережею ми отримали графіки перехідних процесів вихідної напруги мережевого багаторівневого інвертора напруги, графіки перехідних процесів струму та напруги на виході трансформатора, активної та реактивної потужностей для різних режимів роботи: при різних рівнях освітленості (рис. 6), при різних налаштуваннях регуляторів (рис. 7), без врахування (та з врахуванням) L-фільтра в системі (рис. 8).

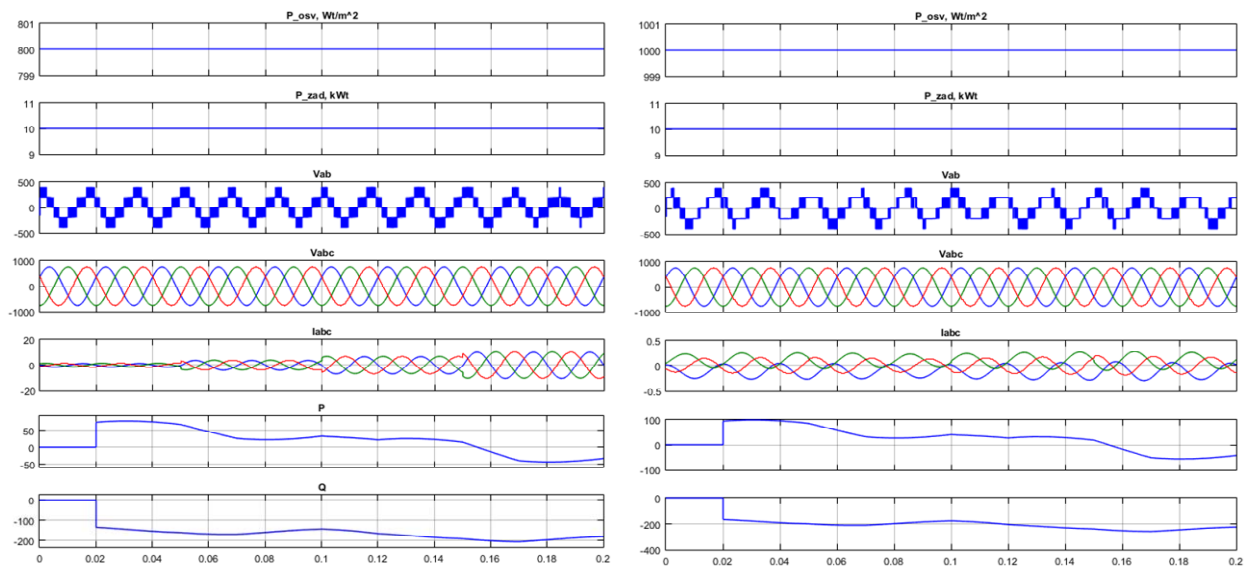


Рис. 6. Графіки перехідних процесів системи керування багаторівневим мережним інвертором напруги при різних рівнях освітленості

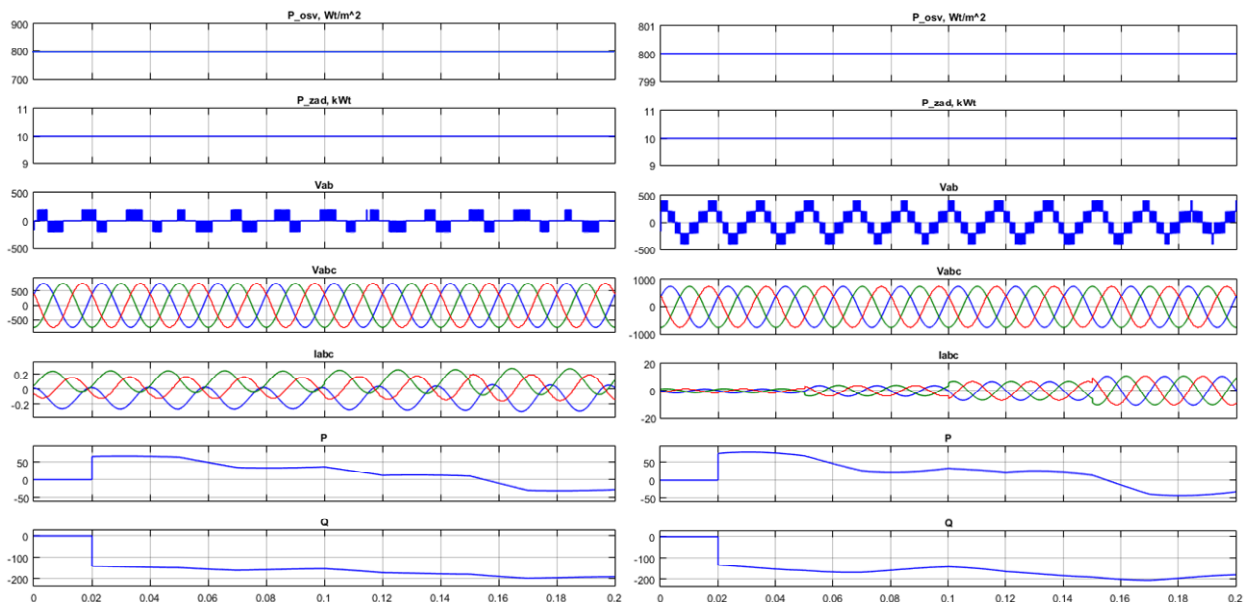


Рис. 7 Графіки перехідних процесів системи керування багаторівневим мережним інвертором напруги при різних налаштуваннях регуляторів

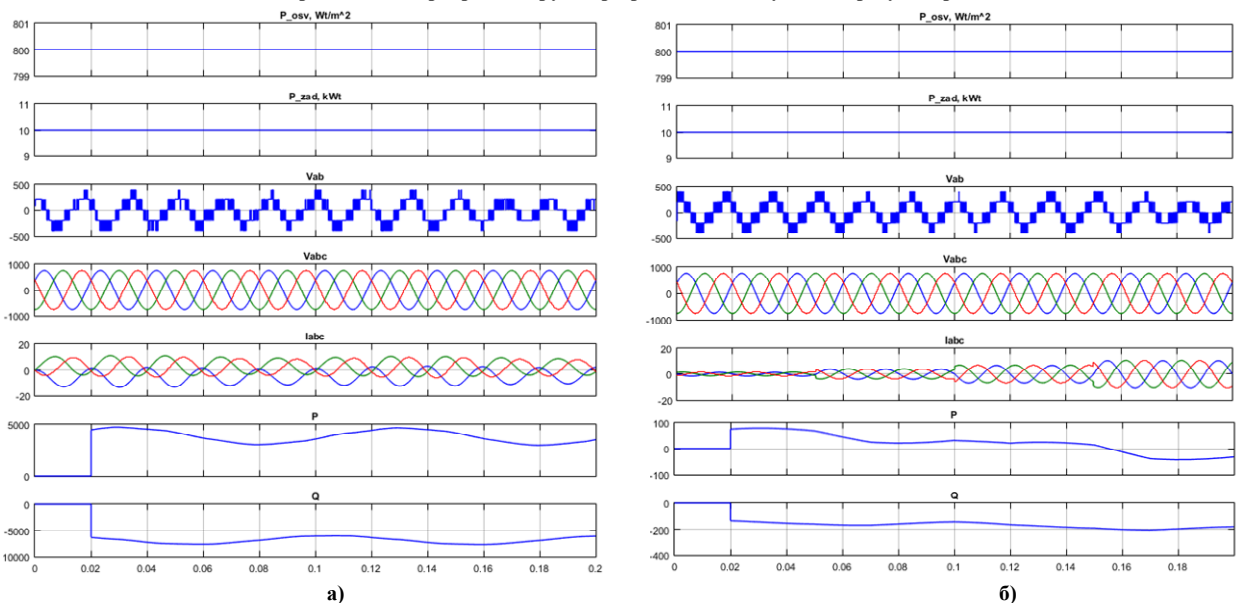


Рис.8 Графіки перехідних процесів системи керування багаторівневим мережним інвертором напруги з некомпенсованим фільтром (а) та фільтром з автоматичною компенсацією (б)

Під час проведення моделювання, були визначені оптимальні налаштування регуляторів системи (рис. 9), значення яких наведені в табл.1.

Таблиця 1

Оптимальні налаштування регуляторів системи

Ваговий коефіцієнт	k_{g_DC}	k_{g_s}	k_{g_i}	k_P	k_u	k_{g_irr}	k_{sl}
Значення	2	1	0.03	2	0.01	0.1	0.1

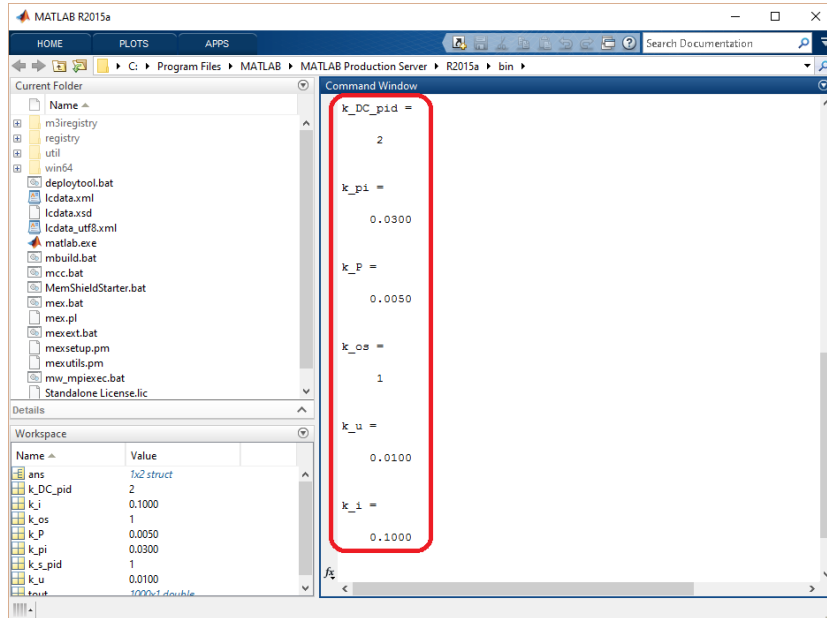


Рис. 9. Оптимальні налаштування регуляторів

Висновки

Розроблено комп'ютерну модель системи керування багаторівневим мережевим інвертором сонячної електростанції, яка вирішує задачі утримання режиму роботи сонячного модуля в точці відбору максимальної потужності, що дозволяє збільшити продуктивність сонячного модуля, привести у відповідність баланс згенерованої сонячним модулем та спожитої електричної потужності в режимі реального часу.

Література

1. Gaëtan Masson, Sinead Orlandi, Manoël Rekinger. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018.–European Photovoltaic Industry Association. Brussels,Belgium, 2014–57p.
2. Corzine K. A. Operation and design of multilevel inverters. – University of Missouri: Rolla,2005. – 79
3. Волков А. В., Скалько Ю. С. Высоковольтный асинхронный электропривод с трехуровневым автономным инвертором напряжения // А. В. Волков, Ю. С. Скалько -- Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2008 (51). Частина 1. – С. 14-17.
4. Жемеров Г. Г. Моделирование электропривода переменного тока с каскадным многоуровневым инвертором напряжения / Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай, И. Г. Титаренко // Электротехника и Электромеханика. – 2013. – № 2. – С. 40-47.
5. Aarti Gupta. Grid integrated solar photovoltaic system using multi level inverter / Aarti Gupta, Preeti Garg // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 2, Issue 8, August 2013.
6. Simeen. S. Mujawar, Prof. Mrs. G. M. Karve. Control of grid connected inverter system for sinusoidal current injection with improved performance / Novateur publications international journal of innovations in engineering research and technology [IJIERT] ISSN: 2394-3696 Volume 1, ISSUE 2 DEC-2014.
7. Левицький С.М. Система керування багаторівневим інвертором сонячної електричної станції. // ISSN 2074-272X. Електротехніка і Електромеханіка. 2015. №5
8. Левицький С.М., Бомбик В.С. Система керування мережевим багаторівневим інвертором напруги // ISSN 2072–2052. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 1/2016 (33). С. 75.

References

1. Gaëtan Masson, Sinead Orlandi, Manoël Rekinger. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018.–European Photovoltaic Industry Association. Brussels,Belgium, 2014–57p.

2. Corzine K. A. Operation and design of multilevel inverters. – University of Missouri: Rolla, 2005. – 79
3. Volkov A.V, Skalko YU.S. (2008) Vysokovoltynyj asinhronnyj jelektroprivod s trehurovnevym avtonomnym invertorom naprjazhenija. - Visnyk KDPU imeni Mikhailo Ostrogradskogo. Vypusk 4/2008 (51). Chastyna 1. - P. 14-17
4. Zhemerov G. G. (2013) “Modelirovanie electroprivoda peremennogo toka s kaskadnym mnogourovnevym invertorom napryajeniya”, Elektrotehnika i elektromekhanika – № 2. – P. 40-47.
5. Aarti Gupta. Grid integrated solar photovoltaic system using multi level inverter / Aarti Gupta, Preeti Garg // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 2, Issue 8, August 2013.
6. Simeen. S. Mujawar, Prof. Mrs. G. M. Karve. Control of grid connected inverter system for sinusoidal current injection with improved performance / Novateur publications international journal of innovations in engineering research and technology [IJERT] ISSN: 2394-3696 Volume 1, ISSUE 2 DEC-2014.
7. S.M. Levitsky, (2015) “The Control System for Multilevel Invertor of Solar Power Station.” // ISSN 2074-272X. Electrical engineering and Electromechanics. 2015. №5
8. S.M. Levitsky, V.S. Bombyk (2016) “Systema keruvannya bagatorivnevym invertorom naprugy” // ISSN 2072–2052. Electromechanichni i energozberigauchi systemy. Vypusk 1/2016 (33) p. 75

Рецензія/Peer review : 27.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 7.7.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету,
протокол № 11 від 29.05.2016 р.**

Підп. до друку 30.06.2016 р. Ум.друк.арк. 27,6 Обл.-вид.арк. 26,75
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № 337/11

Тиражування здійснено редакційно-видавничим центром
Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63