

Запорізький національний технічний університет



Радіоелектроніка Інформатика Управління

2(25)'2011

Науковий журнал

Виходить двічі на рік

Видається з березня 1999 року

Зареєстрований **29 січня 2003 року**
Державним комітетом інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України.

Свідоцтво – серія **КВ № 6904**

Засновник і видавник – Запорізький національний технічний університет

Запоріжжя, ЗНТУ

2011

ISSN 1607-3274

Постановою президії ВАК України № 1-05/4 від 26.05.2010 р. журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління» (скорочена назва – РІУ), який видається з 1999 року, включений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та фізико-математичних наук (радіофізика).

Журнал є донором журналу «Telecommunications and Radio Engineering», який видається в США.

Інтернет-сторінка журналу: <http://journal.zntu.edu.ua/ric/index.php?page=index>.

Статті, що публікуються в журналі, реферуються в базах даних та РЖ ВІНІТІ (Росія) і «Джерело» (Україна). Журнал РІУ міститься у міжнародній базі наукових видань Index Copernicus (<http://journals.indexcopernicus.com/index.php>), електронна копія журналу розміщена на сайті Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського НАН України у розділі «Наукова періодика України» за адресою: <http://nbuv.gov.ua/portal/>.

Журнал розповсюджується за Каталогом періодичних видань України (передплатний індекс – 22914).

Науковий журнал друкує оригінальні та оглядові статті науковців ВНЗ і установ України та інших країн відповідно до рубрик:

- радіофізика;
- радіоелектроніка та телекомунікації;
- математичне та комп'ютерне моделювання;
- нейроінформатика та інтелектуальні системи;
- прогресивні інформаційні технології;
- теорія і методи автоматичного управління;
- управління у технічних системах.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор – д-р техн. наук Піза Д. М.

Заст. головного редактора – канд. техн. наук Дубровін В. І.

Члени редколегії

д-р техн. наук Андрієнко П. Д.

д-р фіз.-мат. наук Ахметшин А. М.

д-р техн. наук Волков О. В.

д-р фіз.-мат. наук Горбань О. М.

д-р фіз.-мат. наук Горр Г. В.

д-р техн. наук Гостєв В. І.

д-р фіз.-мат. наук Дробахін О. О.

д-р техн. наук Карпуков Л. М.

д-р фіз.-мат. наук Корніч Г. В.

д-р техн. наук Кулік А. С.

д-р фіз.-мат. наук Матюшин В. М.

д-р фіз.-мат. наук Онуфрієнко В. М.

д-р фіз.-мат. наук Погосов В. В.

д-р техн. наук Потапенко Є. М.

д-р техн. наук Толоч В. О.

д-р фіз.-мат. наук Чумаченко В. П.

Рекомендовано до видання вченою радою Запорізького національного технічного університету, протокол № 11 від 30.05.2011 р.

Рукописи проходять незалежне рецензування з залученням провідних фахівців, за результатами якого редакційна колегія приймає рішення про опублікування.

Журнал зверстаний редакційно-видавничим відділом
Запорізького національного технічного університету.

Адреса редакції: 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, ЗНТУ,
редакція журналу «РІУ».

Тел: (061) 769-82-96 – редакційно-видавничий відділ

Факс: (061) 764-46-62

E-mail: rvv@zntu.edu.ua

© 2011 Запорізький національний технічний університет

ЗМІСТ

РАДІОФІЗИКА.....7

Романенко С. Н., Карпуков Л. М., Борисенко В. А., Львов А. С.
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА
МЕТАСРЕД. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ
СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ.....7

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ.....14

*Проскурін М. П., Костенко В. Л., Щекотихін О. В.,
Грушко С. С.*
ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПЕРЕХОДУ
ДО МІКРОПОТУЖНИХ ТВЕРДОТІЛЬНИХ
ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ З ОПТОЕЛЕКТРОННИМИ
КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ
ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....14

Морщавка С. В., Шама С. О., Піза Д. М.
ВПЛИВ ВИДІВ НОРМУВАННЯ НА ЯКІСТЬ
РОЗПІЗНАННЯ РОСЛИННИХ ОБ'ЄКТІВ.....30

*Сметанин И. Н., Ложковский А. Г., Пиза Д. М.,
Вербанов О. В.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА УЧАСТКА
СЕТИ GSM ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНЫХ
ПЕРЕГРУЗОК.....23

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....34

Агібалов А. П., Поляков М. А.
ТРАНСЛЯТОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ КОНЕЧНОГО
АВТОМАТА ИЗ СРЕДЫ МАТЛАВ В ПРИЛОЖЕНИЕ
ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО
ИНТЕРФЕЙСА.....34

Юр Т. В., Харитонов В. Н., Дубровин В. И.
МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ УЗЛОВ
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
И S-ДИСКРИМИНАНТА.....60

Андрущенко Д. М., Варава М. Ю., Неласа Г. В.
РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ρ - I λ - МЕТОДІВ ПОЛЛЯРДА
РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ДИСКРЕТНОГО
ЛОГАРИФМУВАННЯ.....37

Зайцев С. А., Субботин С. А.
ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА
ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ОТБОРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА МАСКИРОВАНИЯ
ДЕТЕКТОРОВ.....65

Кулик А. С., Лученко О. О., Фирсов С. Н.
КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ
СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ОРИЕНТАЦИЕЙ И СТАБИЛИЗАЦИЕЙ.....41

Чопоров С. В.
ПОСТРОЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ
СЕТОК ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА БАЗЕ ТЕОРИИ
R-ФУНКЦИЙ.....70

Миронова Н. А.
ИНТЕГРАЦИЯ МОДИФИКАЦИЙ МЕТОДА АНАЛИЗА
ИЕРАРХИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
ГРУППОВЫХ РЕШЕНИЙ.....47

Пинчук В. П., Подковалихина Е. А.
ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД ДЛЯ
ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.....76

Кошевой Н. Д., Михайлов А. Г.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
РАБОТЫ ДАТЧИКОВ РАСХОДА ТОПЛИВА
И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С ТОПЛИВНОЙ МАГИСТРАЛЬЮ.....54

НЕЙРОІНФОРМАТИКА ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ.....82

Асеев Г. Г.
МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА
ДАННЫХ
В ЭЛЕКТРОННЫХ ХРАНИЛИЩАХ: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ
АЛГОРИТМЫ.....82

Кротких С. С., Кириченко Л. О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ
В ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ
ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....86

Литвин В. В.
МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
З ВИКОРИСТАННЯМ ОНТОЛОГІЧНОГО
ПІДХОДУ.....93

Баркалов А. А., Зеленева И. Я., Цололо С. А., Биайрак Х.
УМЕНЬШЕНИЕ ПЛОЩАДИ МАТРИЧНОЙ СХЕМЫ
УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ С РАЗДЕЛЕНИЕМ
КОДОВ.....101

Пищухина О. А., Клочок А. Ю.
ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ
В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБРАЗОВАНИЯ.....107

Степаненко О. О., Піза Д. М.
ПРОГРАММНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗУ
Й ОБРОБКИ ЕХО-ІМПУЛЬСНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....110

Шафроненко А. Ю., Волкова В. В., Бодянский Е. В.
АДАПТИВНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ С
ПРОПУЩЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ.....115

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....120

Брагина Т. И., Табуницик Г. В.
АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ
В ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТАХ С ИТЕРАТИВНЫМ
ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ.....120

Дьячук Т. С.
ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
СИСТЕМЫ.....124

Гонтарь Н. А., Кудерметов Р. К.
РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИИ СИСТЕМНОГО
ИНЖИНИРИНГА КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....131

Скрупский С. Ю., Луценко Н. В., Скрупская Л. С.
ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССИИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ
В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ.....137

Сметанин Р. И., Тягунова М. Ю.
ПОДХОД К РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ
ВЕТВЕЙ ЗАДАНИЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЕ.....143

УПРАВЛІННЯ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ.....148

*Александрова Т. Е., Кононенко В. А., Лазаренко А. А.,
Зейн Али*
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ
ПД-СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ
С НИЗКОЧАСТОТНЫМИ ФИЛЬТРАМИ БАТТЕРУОРТА
И ЛАНЦОША.....148

Бур'ян С. О., Грищук Т. В.
ЕКСТРЕМАЛЬНА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА
КЕРУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНО З'ЄДНАНИМИ
НАСОСАМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....153

Шановні колеги!

Запрошуємо Вас взяти участь у роботі VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», яка буде проводитися у Запорізькому національному технічному університеті 19–21 вересня 2012 р.

Мета конференції: аналіз і узагальнення нових теоретичних і практичних результатів у відповідних галузях знань.

Адреса оргкомітету: вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063,

ЗНТУ, кафедра радіотехніки та телекомунікацій.

Секретар оргкомітету Колеснікова Євгенія Ісааківна

тел.: (061) 764-32-81, 769-84-31; факс: (061) 764-46-62; e-mail: kolevis@zntu.edu.ua.

CONTENTS

RADIOPHYSICS.....7

*Romanenko S. N., Karpukov L. M., Borisenko V. A.,
Lyov A. C.*

SURFACE WAVES AT THE INTERFACE OF
METAMEDIALS. MODELING OF SUPERRESOLUTION
EFFECTS.....7

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS.....14

Proskurin N. P., Kostenko V. L., Schekotihin O. V., Grushko S. S.
VALID NECESSITY OF TRANSFER TO MICROPOWER
SOLID STATE INTEGRATED CIRCUITS WITH
OPTRONIC COMPONENTS FOR DIGITAL MACHINES
AND COMPUTING DEVICES.....14

Smetanin I. N., Lozhkovsky A. G., Piza D. M., Verbanov O. V.
RESEARCH OF PARAMETERS OF THE TRAFFIC OF
A SECTION OF NETWORK GSM AT INFLUENCE OF
LOCAL OVERLOADS.....23

Morshchavka S. V., Shama E. O., Piza D. M.
EFFECT OF NORMALIZATION ON THE QUALITY OF
RECOGNITION OF PLANT OBJECTS.....30

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING.....34

Agibalov A. P., Polyakov M. A.
TRANSLATOR OF FINITE STATE MACHINE MODEL
PARAMETERS FROM MATLAB ENVIRONMENT INTO
HUMAN-MACHINE INTERFACE APPLICATION.....34

Andrushchenko D. M., Varava M. U., Nelasa G. V.
PARALLELIZATION OF ρ - AND λ - POLLARD'S
METHODS FOR SOLVING THE DISCRETE
LOGARITHM.....37

Kulik A. S., Luchenko O. O., Firsov S. N.
THE CONCEPT OF SURVIVABILITY OF SATELLITE
SYSTEMS, ATTITUDE CONTROL AND
STABILIZATION.....41

Mironova N. O.
INTEGRATION MODIFICATIONS OF THE ANALYTICAL
HIERARCHY PROCESS FOR GROUP DECISION
MAKING SUPPORT SYSTEMS.....47

Koshevoy N. D., Mikhailov A. G.
MODELING ALGORITHMS DEVELOPMENT OF
DEVICE FUNCTION OF THE FUEL CHARGE AND
INTERACTION WITH A FUEL MAIN.....54

Yur T. V., Haritonov V. N., Dubrovin V. I.
DIAGNOSTIC MODEL FOR GAS TURBINE ENGINE
ELEMENTS BASED ON WAVELET ANALYSIS AND S-
DISCRIMINANT.....60

Zaitsev S. A., Subbotin S. A.
THE DIAGNOSIS MODEL BUILDING ON THE BASIS OF
NEGATIVE SELECTION PARADIGM USING THE
PRINCIPLE OF DETECTOR ASKING.....65

Choporov S. V.
GENERATION OF NONUNIFORM HEXAHEDRAL
ELEMENT MESHES FOR FUNCTIONAL MODELS ON
THE BASIS OF R-FUNCTIONS.....70

Pinchuk V. P., Podkoyalihina E. A.
OBJECT-ORIENTED APPROACH FOR MODELS
DESIGNING OF THE COMPLEX SYSTEMS.....76

NEUROINFORMATICS AND INTELLIGENT SYSTEMS.....82

Aseyev G. G.
METHODS OF INTELLECTUAL ANALYSIS OF DATA IN
ELECTRONIC DEPOSITORIES:
GENETIC ALGORITHMS.....82

Krotkih S. S., Kirichenko L. O. ,
ANALYSIS OF EVENT-RELATED POTENTIALS
OF EEG SIGNAL USING DISCRETE WAVELET
TRANSFORM.....86

Lytvyn V. V.
INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS
MODELING USING ONTOLOGICAL
APPROACH.....93

Barkalov A. A., Zelenyova I. J., Tsololo S. A., Biayarek H.
REDUCTION OF TERM MATRIX OF CONTROL
UNIT WITH CODE SHARING.....101

Pishchukhina O. A., Klochok A. Yu.
APPROACH TO THE FEEDBACK FORMING IN
INTELLIGENT LEARNING SYSTEM IN THE SPHERE OF
HIGHER TECHNICAL EDUCATION.....107

Stepanenko O. O., Piza D. M.
PROGRAM COMPLEX FOR ANALYSIS AND
TREATMENT ECHO-PULSE IMAGES.....110

Shafronenko A. Yu. Volkova V. V., Bodyanskiy Yev. V.
ADAPTIVE CLUSTERING WITH MISSING
VALUES.....115

PROGRESSIV INFORMATICS TECHNOLOGIES.....120

Bragina T. I., Tabunshchik G.V.
ANALYSIS RISK MANAGEMENT APPROACHES IN
SOFTWARE PROJECTS WITH AN ITERATIVE
LIFECYCLE.....120

Diachuk T. S.
EVALUATION OF DISTRIBUTED SYSTEM'S
CHARACTERISTICS.....124

Gontar N. A., Kudermetov R. K.
WORKING OUT ONTOLOGY OF SYSTEMS
ENGINEERING OF SPACE SYSTEM.....131

Skrupsky S. Y., Lucenko N. V., Skrupskaya L. S.
THE PARAMETERS OF VIDEO INFORMATION
COMPRESSION PROCESS IN DISTRIBUTED
SYSTEMS.....137

Smetanin R. I., Tyagunova M. Yu.
APPROACH TO THE DISTRIBUTION OF PARALLEL
TASK THREADS IN COMPUTING SYSTEMS.....143

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS.....148

*Alexandrova T. Ye., Kononenko V. A., Lazarenko A. A.,
Zein Ali*
COMPARATIVE ANALYSIS OF DIGITAL PD-
CTABILIZERS OF MOBILE OBJECTS WITH LOW-
FREQUENCY BUTTERWORT
AND LANCZOS FILTERS.....148

Buryan S., Gryshuk T.
EXTREMAL ELECTROMECHANICAL CONTROL
SYSTEM OF WATER SUPPLY PUMPS CONNECTED IN
PARALLEL.....153

РАДИОФИЗИКА

РАДИОФИЗИКА

RADIOPHYSICS

УДК 537.876.4

Романенко С. Н.¹, Карпуков Л. М.², Борисенко В. А.³, Львов А. С.⁴¹Канд. физ.-мат. наук, доцент Запорожского национального технического университета²Д-р техн. наук, профессор Запорожского национального технического университета³Ст. преподаватель Запорожского национального технического университета⁴Аспирант Запорожского национального технического университета

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА МЕТАСРЕД. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ

Теоретически обосновано появление поверхностных волн (плазмонов), возникающих на границе раздела метасреды и обычного вещества. Представлены результаты численного моделирования эффектов сверхразрешения при использовании плоских линз из метаматериала.

Ключевые слова: метасреда, граница раздела, плазмон, плоская линза, сверхразрешение.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] Веселаго впервые теоретически исследовал и обосновал возможность создания материалов с отрицательными значениями диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей. Такие материалы получили название сред с отрицательной рефракцией (NR-среды «Negative Refraction», метасреды, левосторонние среды, метаматериалы). Интерес к ним обусловлен тем, что такие материалы должны обладать уникальными свойствами, которые отсутствуют у обычных природных веществ. В частности, одно из свойств состоит в том, что при падении волны из обычной среды на границу раздела с левосторонней средой, преломленная в левостороннюю среду волна выйдет под отрицательным углом (с противоположной стороны от нормали в сравнении с обычным преломлением). При этом величина угла преломления определяется известным законом Снеллиуса, который в случае применения к левосторонним средам должен быть модифицирован следующим образом:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = n_{1,2} = \frac{p_2}{p_1} \sqrt{\frac{\epsilon_2 \mu_2}{\epsilon_1 \mu_1}}.$$

В этом выражении φ – угол падения, ψ – угол преломления, $p_i = +1$ ($i=1, 2$), если среда обычная, и $p_i = -1$, если среда левосторонняя.

Отрицательный угол преломления позволяет осуществить фокусировку поля с использованием плоского слоя метаматериала, что было впервые показано в работе Пендри [2]. Кроме того, на основе свойства фокусировки, в работе [3] представлены результаты эксперимента, в котором был впервые преодолен дифракционный предел, что получило название сверхразрешения.

Другое интересное свойство заключается в том, что на границе раздела метасреды и обычного вещества происходит значительное увеличение амплитуды падающей затухающей волны за счет резонансного возбуждения поверхностных волн (поверхностных плазмонов). При этом длина волны плазмона может быть на несколько порядков короче длины падающей волны, что открывает возможность для развития, в частности, оптики очень коротких поверхностных волн (например, оптических преобразований – отклонение, фокусировка, гауссовы пучки, фотонные кристаллы и т. п.).

Реализованные к настоящему времени структуры метаматериалов представляют собой комбинации металлических проволочных фрагментов различной формы, периодически расположенных в свободном пространстве. Эффективным средством электродинамического моделирования таких структур является интегральное уравнение Поклингтона, обеспечивающее необходимую точность расчетов.

В настоящей работе с использованием аппарата матриц рассеяния теоретически обосновано резонансное увеличение амплитуды затухающих волн при их падении на слой метаматериала. В работе приведены также результаты численного моделирования плоских слоев метаматериалов (плоских линз), обладающих фокусирующими свойствами и позволяющих преодолеть дифракционный предел. Хорошая точность моделирования подтверждена данными эксперимента.

1. УВЕЛИЧЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ЗАТУХАЮЩЕЙ ВОЛНЫ В СЛОЕ МЕТАМАТЕРИАЛА

В работе [2] Пендри показал, что дифракционный предел, характерный для обычных линз, может быть преодолен с помощью плоского слоя метаматериала (плоской линзы) с параметрами $\epsilon = \mu = -1$. При этом, за счет значительного увеличения амплитуды высокочастотных затухающих пространственных гармоник, в процессе их прохождения через слой метаматериала, появляется возможность выявить более мелкие детали изображения и, следовательно, преодолеть дифракционный предел.

Рассмотрим слой метаматериала толщиной d с параметрами $\epsilon_2, \mu_2 < 0$, расположенный в свободном пространстве (рис. 1). Электрическое поле объекта, излучающего на частоте ω , может быть представлено в виде разложения по пространственным гармоникам в двумерный ряд Фурье

$$\begin{aligned} \dot{E}(x, y, z, t) &= \dot{E}(x, y, z) e^{j\omega t} = \\ &= \sum_n \sum_{k_x, k_y} E_n(k_x, k_y) \cdot e^{-j(k_x x + k_y y + k_z z - \omega t)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$k_{zi} = \begin{cases} \sqrt{k_i^2 - (k_x^2 + k_y^2)} = p_i, & \text{если } k_x^2 + k_y^2 = \gamma^2 < k_i^2, \\ -j\sqrt{(k_x^2 + k_y^2) - k_i^2} = -jq_i, & \text{если } k_x^2 + k_y^2 = \gamma^2 > k_i^2, \end{cases} \quad (2)$$

$k_i = \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{\epsilon_i \cdot \mu_i} = \frac{\omega}{c} \cdot n_i$; $i = 1, 2$ – волновое число среды; n_i – коэффициент преломления среды.

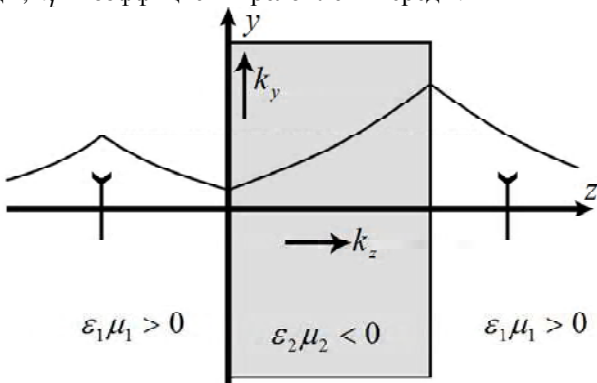


Рис. 1. Прохождение затухающих гармоник через слой метаматериала

Знак (–) перед корнем в (2) выбран из условия затухания волны на бесконечности.

Разложение (1) переводит пространственное (x, y) представление поля объекта в спектральную область (k_x, k_y) , где вся информация об изображении объекта содержится в спектральных компонентах k_x, k_y . При этом малые значения $\gamma = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ и, следовательно, большие значения $\lambda_{\perp} = 2\pi/\gamma$, соответствуют крупным деталям изображения, и наоборот – большие значения γ (малые λ_{\perp}) соответствуют мелким деталям изображения. Информация об изображении переносится к слою метаматериала (к линзе) волной, распространяющейся вдоль оси z . Если зависимость этой волны от z имеет вид $e^{-jk_z z}$ ($k_z = k_{z1}$, свободное пространство), то из (2) следует, что при $\gamma < k_1$ (соответственно, $\lambda_{\perp} > \lambda_1$) $k_{z1} = p_1$ – вещественное число и, следовательно, волна распространяется без затухания, перенося информацию об изображении к линзе. Если же $\gamma > k_1$, или $\lambda_{\perp} < \lambda_1$, то $k_{z1} = -jq_1$ – чисто мнимое число и волна будет экспоненциально затухать вдоль оси z , как качественно показано на рис. 1.

Для парциальных ТЕ и ТМ гармоник при нормальном падении на границу раздела сред коэффициенты отражения определяются известными выражениями:

$$\Gamma^{TE} = \frac{k_{z2}/\mu_2 - k_{z1}/\mu_1}{k_{z2}/\mu_2 + k_{z1}/\mu_1}, \quad \Gamma^{TM} = \frac{k_{z2}/\epsilon_2 - k_{z1}/\epsilon_1}{k_{z2}/\epsilon_2 + k_{z1}/\epsilon_1}.$$

Процесс прохождения затухающих вдоль оси z волн в структуре на рис. 1 описывается суммарными коэффициентами передачи и отражения. В рамках теории длинных линий модель структуры, очевидно, состоит из трех каскадно соединенных элементов: двух скачков параметров, характеризующих границы раздела, и отрезка линии передачи длиной d , моделирующего слой метаматериала, как показано на рис. 2.

Анализ такой каскадной структуры может быть выполнен с использованием аппарата ABCD матриц, однако большей общностью и универсальностью обладает подход на основе матриц рассеяния (S -матриц). В спектральной области границе раздела сред соответствует матрица рассеяния, имеющая вид

$$S_1 = \begin{bmatrix} \Gamma & 1 - \Gamma \\ 1 + \Gamma & -\Gamma \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\Gamma = \Gamma^{TE}$, либо $\Gamma = \Gamma^{TM}$.

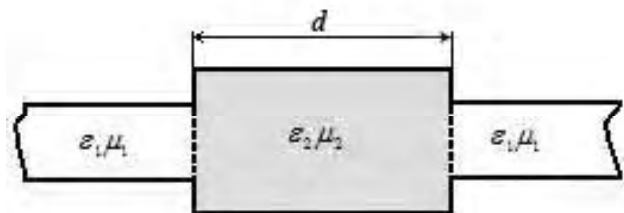


Рис. 2. Модель слоя метаматериала

Матрица рассеяния отрезка линии передачи, длиной d , определяется выражением

$$S_2 = \begin{vmatrix} 0 & e^{-jk_z d} \\ e^{-jk_z d} & 0 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где k_z – постоянная распространения вдоль оси z .

Каждой матрице рассеяния может быть поставлен в соответствие ориентированный граф [4], в результате ориентированный граф всей структуры будет иметь вид, представленный на рис. 3.

Непосредственно по графу структуры находится суммарный коэффициент передачи

$$T_\Sigma = S_{\Sigma 21} = \frac{(1+\Gamma)(1-\Gamma) \cdot e^{-jk_z d}}{1-\Gamma^2 e^{-j2k_z d}} \quad (5)$$

и суммарный коэффициент отражения

$$R_\Sigma = S_{\Sigma 11} = \frac{\Gamma(1-e^{-j2k_z d})}{1-\Gamma^2 e^{-j2k_z d}}. \quad (6)$$

Обозначив для упрощения $K = \frac{k_{z2}/\varepsilon_2}{k_{z1}/\varepsilon_1}$, и рассмат-

ривая лишь ТМ волны с учетом того, что $\varepsilon_2 < 0$, получим

$$\Gamma = \Gamma^{TM} = \frac{k_{z2}/\varepsilon_2 - k_{z1}/\varepsilon_1}{k_{z2}/\varepsilon_2 + k_{z1}/\varepsilon_1} = \frac{k_{z1}/\varepsilon_1 + k_{z2}/\varepsilon_2}{k_{z1}/\varepsilon_1 - k_{z2}/\varepsilon_2} = \frac{1+K}{1-K} \quad (7)$$

При анализе ТЕ волн необходимо использовать Γ^{TE} и учитывать $\mu_2 < 0$. Остальные выкладки аналогичны.

Подставляя (7) в (5) и (6) и учитывая, что $k_{z2} = -jq_2$, находим

$$T_\Sigma = \frac{\left[1 - \left(\frac{1-K}{1+K}\right)^2\right] \cdot e^{+q_2 d}}{1 - \left(\frac{1-K}{1+K}\right)^2 \cdot e^{+2q_2 d}}, \quad (8)$$

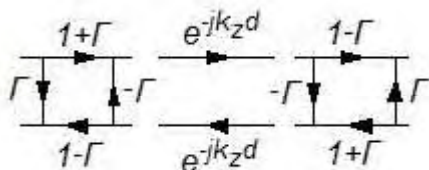


Рис. 3. Ориентированный граф структуры

$$R_\Sigma = \frac{\frac{1-K}{1+K} \cdot (1-e^{+2q_2 d})}{1 - \left(\frac{1-K}{1+K}\right)^2 \cdot e^{+2q_2 d}}. \quad (9)$$

Из (8) видно, что при $K \rightarrow 1$ значение T_Σ растет по экспоненциальному закону и, в зависимости от толщины слоя, может принимать сколь угодно большие значения. Отсюда следует, что если в структуре отсутствуют потери, то амплитуды полей становятся бесконечно большими. В реальных структурах с потерями амплитуды полей остаются конечными.

Более детальный анализ показывает, что в структуре будет наблюдаться резонанс, когда знаменатель в (8) и (9) обращается в нуль. При этом, очевидно, возможны два значения K :

$$K_1 = \frac{1+e^{-q_2 d}}{1-e^{-q_2 d}}, \quad K_2 = \frac{1-e^{-q_2 d}}{1+e^{-q_2 d}}. \quad (10)$$

Наличие двух значений K в (10) соответствует расщеплению резонанса в слое метаматериала и связано с наличием симметричной и антисимметричной поверхностных мод (поверхностных плазмонов) на границах раздела. При большой толщине слоя $e^{-q_2 d} \ll 1$ расщепление мало и значения $K_1 \approx K_2 \approx 1$. При малой толщине слоя $1+e^{-q_2 d} \gg 1-e^{-q_2 d}$ и расщепление резонансных мод становится большим, при этом $K_1 \gg K_2$.

Из (2), с учетом (10), для толстого слоя метаматериала ($e^{-q_2 d} \ll 1$) можно получить выражение для волнового числа поверхностного плазмона

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{q_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2} \varepsilon_2 \mu_2, \quad (11)$$

где q_1 – волновое число падающей затухающей волны; c – скорость света в вакууме.

Из (11) следует, что волновое число плазмона может значительно превышать волновое число падающей волны (при больших $\varepsilon_2/\varepsilon_1$) и, следовательно, длина волны плазмона может быть значительно короче длины падающей волны.

Приведенные выкладки показывают, что при падении затухающей волны на плоский слой метаматериала происходит увеличение амплитуды волны, обусловленное возбуждением на границах раздела резонансных мод, называемых поверхностными плазмонами.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование эффектов преодоления дифракционного предела (сверхразрешения) проводилось с использованием программы, разработанной на основе интег-

рального уравнения Поклингтона для анализа проволочных структур. На рис. 4 и 5 показаны модель плоской линзы, результаты расчетов в виде 3D-распределения электрического поля в плоскости расположения вибратора-зонда, а также график амплитуды электрического поля вдоль линии перемещения зонда.

Линза составлена из проволочных резонансных элементов в виде спиралей и линейных полуволновых отрезков, возбуждаемых соответственно магнитной и электрической компонентами поля. Представленные расчеты выполнены для размеров элементов структуры, экспериментальное исследование которой проведено в [3].

При моделировании все размеры структуры соответствовали параметрам эксперимента. Каждая спираль в линзе аппроксимировалась 12-ю прямолинейными сегментами одинаковой длины. Как видно, на рисунках 4, 5 явно выделяются максимумы поля, а их положение точно совпадает с расположением источников. Кроме того, результаты расчетов показывают, что разрешающая способность линзы связана с периодом решетки, составляющей структуру линзы. Этот факт отмечается и в ряде работ других авторов. Если оценивать разрешающую способность по уровню половины амплитуды, то для данной линзы расчетная величина разрешения составит $\Delta \approx 10$ мм.

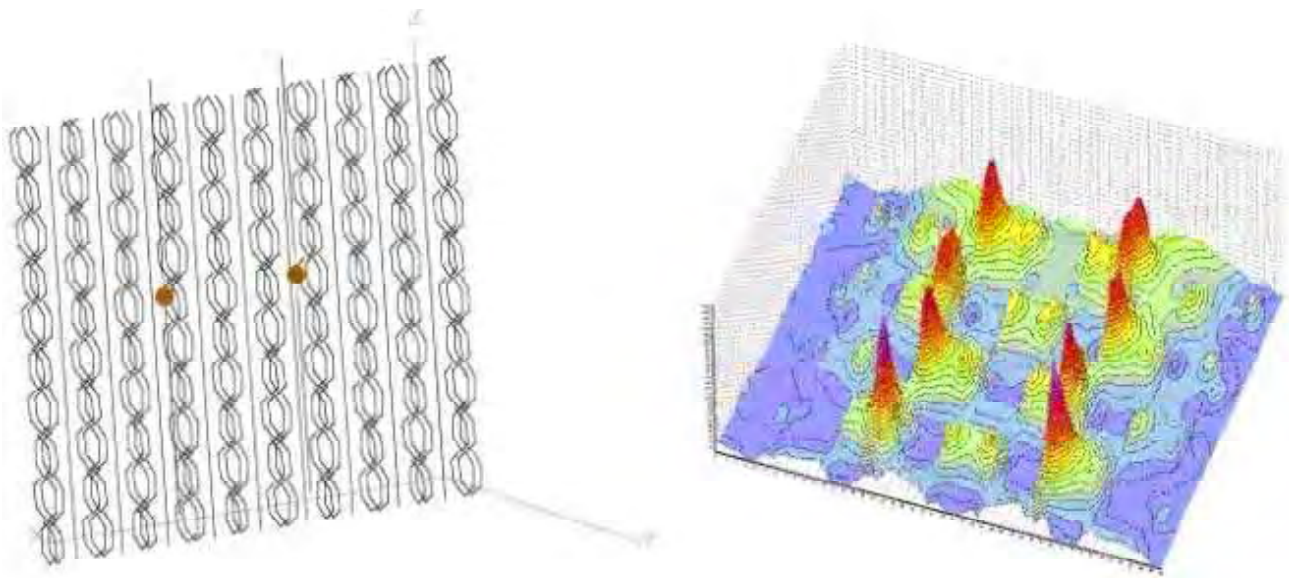


Рис. 4. Модель плоской линзы и 3D-картина электрического поля

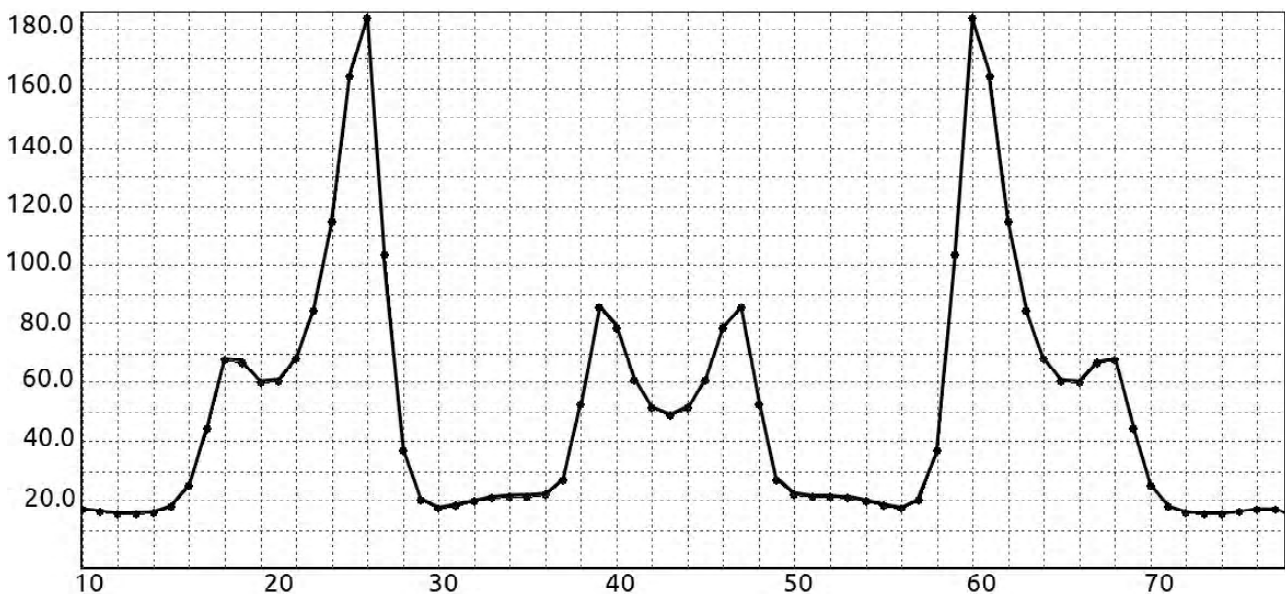


Рис. 5. График распределения z-компоненты электрического поля

Геометрия линзы, схема эксперимента и результаты измерений на резонансной частоте 1664 МГц показаны на рис. 6. В эксперименте расстояние между синфазно возбуждаемыми вибраторами составляло 30 мм, что соответствует примерно 1/6 длины волны. На рис. 6 видно, что при наличии линзы четко видны два максимума поля, расстояние между которыми точно соответствует положению вибраторов.

При моделировании сближение источников до расстояния в 10 мм дает картину, представленную на рис. 7. Из рисунка следует, что даже для такого предельного сближения при численном моделировании еще можно различить источники. При дальнейшем сближении источников два максимума поля сливаются в один и эффект сверхразрешения исчезает. Следует отметить, что резонансная частота при численном моделировании (1628 МГц) несколько отличалась от резонансной частоты в эксперименте (1664 МГц). По-видимому, это связано с наличием диэлектрика в структуре, а также с несовершенством изготовления макета линзы.

Изменение частоты генератора в обе стороны от резонанса приводит к исчезновению эффекта сверхразрешения, что хорошо видно на рис. 8.

Эффект сверхразрешения можно наблюдать и для структуры, показанной на рис. 9. Здесь линза представляет собой массив чередующихся спиралей разнонаправленной намотки, с попарно ортогональным расположением в пространстве. Результаты моделирования такой структуры приведены на рис. 9 и 10.

Как и в предыдущем случае, на рисунках явно выделяются максимумы поля, расположение которых соответствует положению источников, однако высота максимумов меньше, а ширина – больше и, как следствие, меньше разрешающая способность такой линзы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе на базе аппарата матриц рассеяния теоретически обоснован эффект возникновения резонансных поверхностных волн (поверхностных плазмонов) при падении затухающей волны на границу раздела метасреды

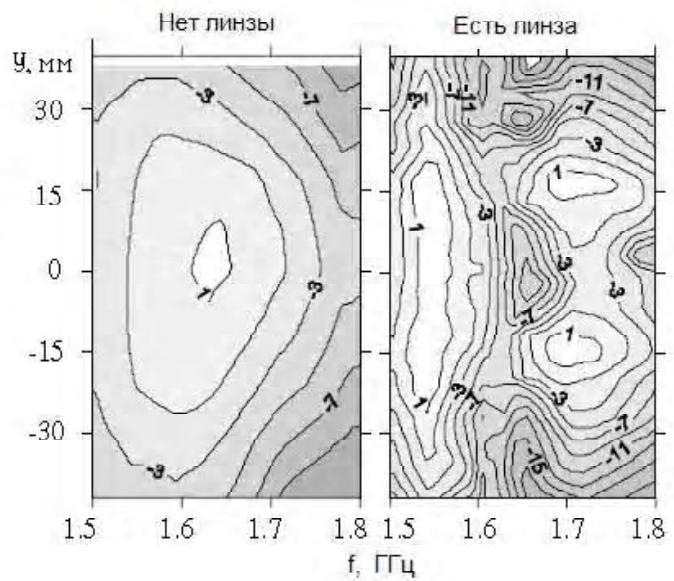
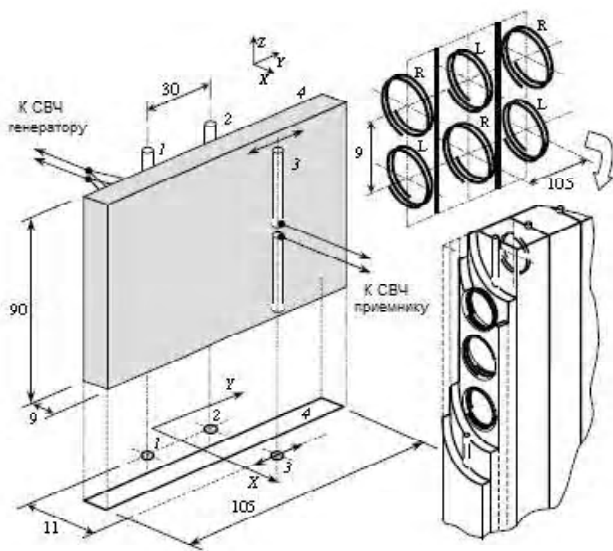


Рис. 6. Геометрия плоской линзы и результаты эксперимента в [3]

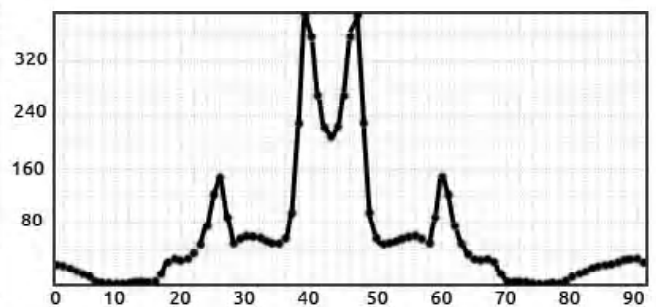
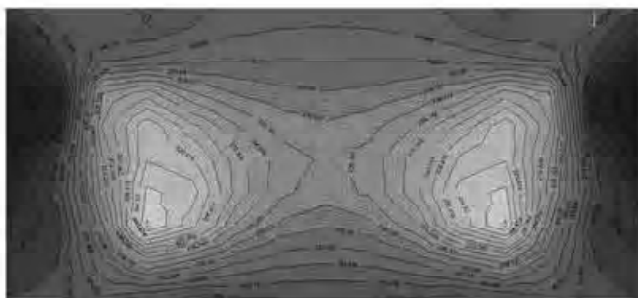


Рис. 7. Линии уровня и график распределения z-компоненты поля при сближении источников

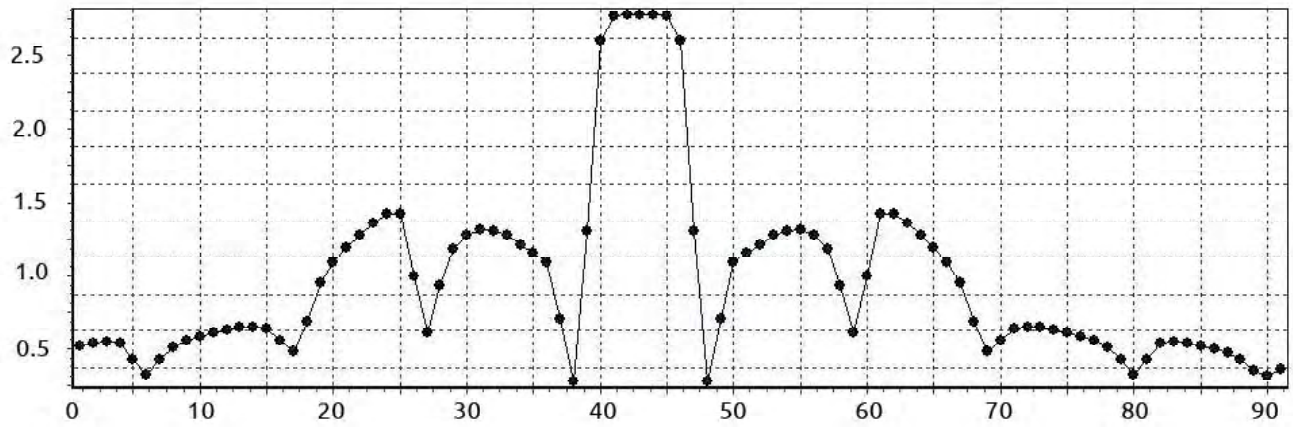


Рис. 8. График z -компоненты поля при расстоянии между источниками 10 мм и $f=1800$ МГц

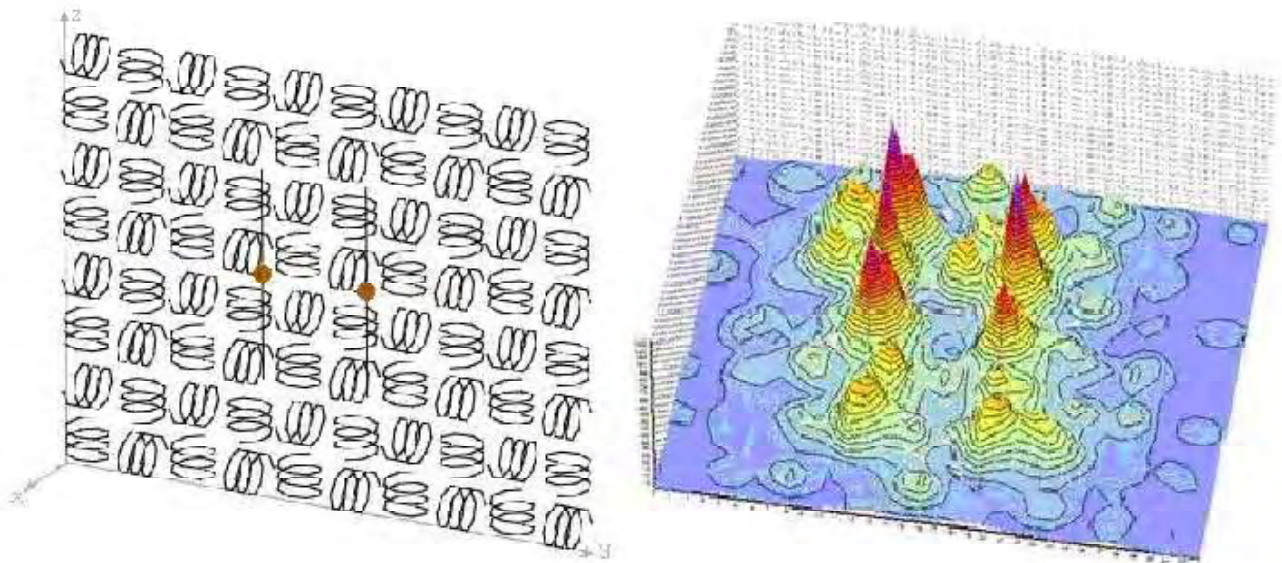


Рис. 9. Линза из разнонаправленных спиралей и 3D-картина электрического поля

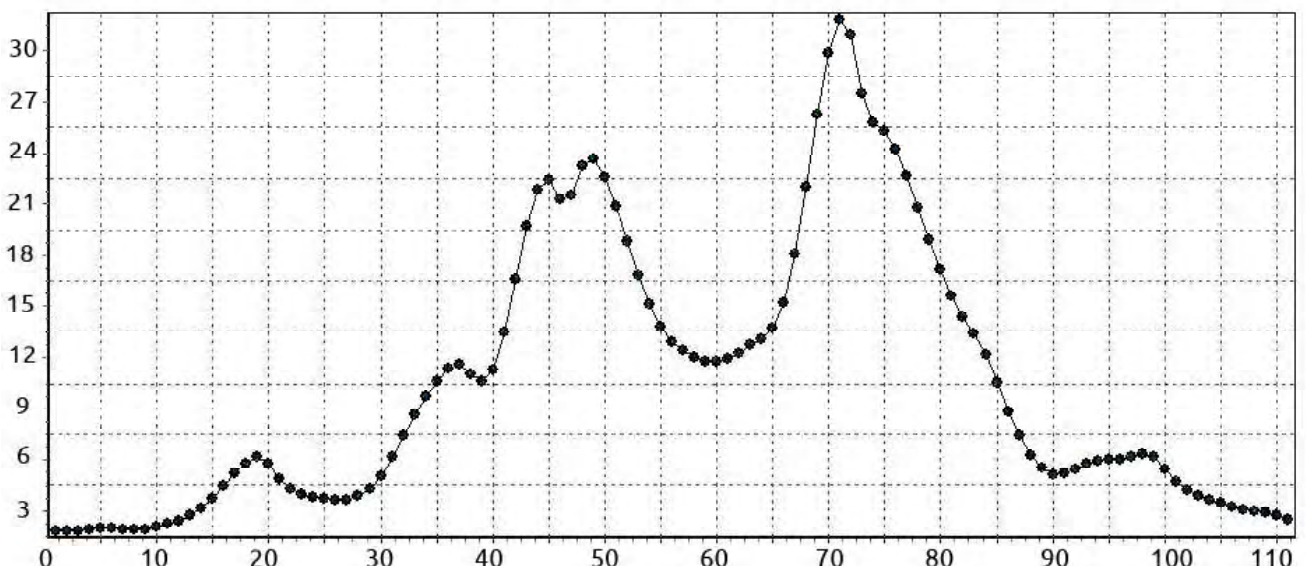


Рис. 10. Распределение z -компоненты электрического поля

и обычного вещества. Получены формулы для коэффициентов прохождения и отражения для плоского слоя метаматериала, расположенного в обычной среде, а также формула для волнового числа плазмона. Показано, что длина волны плазмона может быть значительно короче длины падающей волны.

Также в работе представлены результаты численного моделирования плоской линзы, состоящей из проводящих резонансных элементов в виде спиралей и линейных полуволновых отрезков, а также линзы из массива чередующихся спиралей разнонаправленной намотки, с попарно ортогональным расположением в пространстве. Показано, что такие структуры обладают свойством фокусировки ближнего поля и позволяют преодолеть дифракционный предел. Отмечено, что разрешение линзы определяется периодом решетки, составляющей структуру линзы. Для первой структуры разрешающая способность составляет $\Delta \approx 10$ мм при длине резонансной волны $\lambda = 184$ мм. Для второй структуры разрешение хуже, что обусловлено большим периодом решетки. Результаты моделирования с высокой точностью согласуются с экспериментальными данными, что указывает на адекватность разработанного метода моделирования.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Veselago, V. G. The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of ϵ and μ / V. G. Veselago // Sov. Phys. Usp. – 1968. – vol. 10. – P. 509.
2. Pendry, J. B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens / J. B. Pendry // Phys. Rev. Lett. – 2000. – vol. 85. – P. 3966.
3. Lagarkov, F. N. Numerical and experimental investigation of the superresolution in a focusing system based on a plate of «left-handed» material / F. N. Lagarkov, V. N. Kissel // Proc. of the Symp. F, ISMAT. – 2003. – Pp. 157–160.
4. Силаев, М. А. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств / М. А. Силаев, С. Ф. Брянецев. – М. : Советское радио, 1970. – 248 с.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2011.

Романенко С. М., Карпуков Л. М., Борисенко В. О., Львов О. С.

ПОВЕРХНЕВІ ХВИЛІ НА МЕЖАХ РОЗПОДІЛУ МЕТАСЕРЕДОВИЩ. МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТІВ НАДРОЗРІЗНЕННЯ

Теоретично обґрунтовано поява поверхневих хвиль (плазмонів), які виникають на межі розподілу метасередовища та звичайної речовини. Наведені результати чисельного моделювання ефектів надрозрізнення при використанні плоских лінз з метаматеріалу.

Ключові слова: метасередовище, межа розподілу, плазмон, плоска хвиля, надрозрізнення.

Romanenko S. N., Karpukov L. M., Borisenko V. A., Lvov A. S.

SURFACE WAVES AT THE INTERFACE OF METAMEDIEUMS. MODELING OF SUPERRESOLUTION EFFECTS

Theoretical analysis of the surface waves (plasmons) on the boundary between usual substance and metamaterial and results of numerical modeling of super resolution effects in flat lenses are presented.

Key words: metamedium, interface, plasmon, plane wave, superresolution.

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

РАДІОЕЛЕКТРОНИКА ТА ТЕЛЕКОММУНІКАЦІИ

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.3

Проскурін М. П.¹, Костенко В. Л.², Щекотихін О. В.¹, Грушко С. С.³¹Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету
²Д-р техн. наук, професор Одеського національного політехнічного університету³Асистент Запорізького національного технічного університету

ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО МІКРОПОТУЖНИХ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ З ОПТОЕЛЕКТРОННИМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Розглянуто проблеми передачі даних в металевих напрямних середовищах для систем обробки інформації, керування об'єктами та в цифрових інтегральних схемах. Проведено порівняльний аналіз типів схем електронної логіки та напрямних середовищ. Обґрунтовано можливість використання мікропотужних оптоелектронних елементів для створення оптоелектронної логіки та інтегральних схем на їх основі.

Ключові слова: цифрові інтегральні схеми, оптоелектроніка, оптопара, напрямне середовище, світлодіод, фотоприймач, волоконнооптичний канал зв'язку, цифрові автомати.

ВСТУП

Обробка оптичної інформації набула широкого застосування у техніці, зокрема у приладах і мережах передачі інформаційних потоків, у пристроях управління (ПУ) технологічним і бортовим обладнанням, персональних комп'ютерах (ПК) та цифрових автоматах (ЦА). Це пов'язано з перевагами оптичних і оптоелектронних пристроїв (способів зв'язку на їх основі) над електричними. В основі оптоелектроніки лежать ефекти взаємодії між електромагнітними хвилями (електронейтральними фотонами) і електронами речовин. У пристроях на основі систем випромінювач – фотоприймач (ФП), що з'єднані з волоконнооптичним каналом або кабелем (ВОК), оптичний сигнал від випромінювача без значних втрат проходить великі відстані ($10^2 \dots 10^3$ км) по волоконнооптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ). В останні 30 років пристрої,

схеми обробки оптичної цифрової інформації одержали поширення і застосування у різних видах обладнання: системах зв'язку і телекомунікацій, об'єктовому (бортовому, наземному), медицині, військових і цивільних проєктах та ін. [1, 2].

У статті проведено аналіз необхідності переходу до використання оптоелектронних компонентів в інтегральних схемах логіки для цифрових пристроїв і автоматів.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ В ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ

Логічна обробка потоків оптичних цифрових сигналів (ЦС), які передаються по ВОЛЗ, базується на використанні їх відображень у вигляді електричних сигналів (після перетворення типу випромінювання – фотострум:

L → E за допомогою фотоприймачів). Для детектування оптичних ЦС використовують фоточутливі пристрої і напівпровідникові (НП) структури: фотодіоди (ФД), фототранзистори (ФТр). Сформовані за допомогою підсилювачів фотоструму у вигляді потоків електричних сигналів, вони обробляються НП цифровими інтегральними схемами (ІС) на базі схем вентилів T²Л, ІЛ, ЕЗЛ, T²ЛШ, МОН, МЕН та ін. Для одержання вихідних оптичних цифрових сигналів (перетворення типу струм – випромінювання: E → L) застосовують інші схеми. У них посилені ЦС із виходів ІС модулюють струм випромінювачів на твердотільних НП структурах, до яких відносять інжекційні лазери (ІЛ), лазерні діоди (ЛД) і світлодіоди (СД). Оптичні ЦС передаються на значні відстані по ВОК, що створені на основі оптичнопрозорих діелектричних матеріалів. За допомогою оптоелектронних пристроїв типу оптронів (оптопар), які містять у собі твердотільні випромінювачі і фотоприймачі, забезпечуються численні перетворення типу L ↔ E [1, 2].

Увага до оптичних і оптоелектронних пристроїв пов'язана з трьома моментами:

1) наявністю обмежень електронних цифрових ІС традиційного типу (табл. 1, рис. 1);

2) перевагами оптичного зв'язку (основні: діапазон частот до 10¹⁵ Гц, гальванічна розв'язка каскадів перетворення, нечутливість до електромагнітних перешкод, доступність матеріалу (SiO₂) та ін.);

3) зростаючими вимогами до цифрових систем телекомунікацій: збільшення обсягів цифрових потоків (кількісно і якісно) у всіх сферах життя і створення нової інформаційної сфери (знань, відомостей, даних), що доступна більшості бажаючих через Інтернет.

Параметри відомих типів логіки і напрямки розвитку ІС наведені в табл. 1, 2 [3, 4]. Незважаючи на успіхи в освоєнні нано- і субнаносекундного діапазонів, що відповідає частотам 1...5 ГГц, розвиток мікро- і наноелектроніки у вигляді цифрових ІС і їх різновидів (схеми логіки T²ЛШ, ІЛ, ЕЗЛ, К-МОН, МЕН та ін.) характеризується наближенням до кількох видів обмежень: *фізичних* (а),

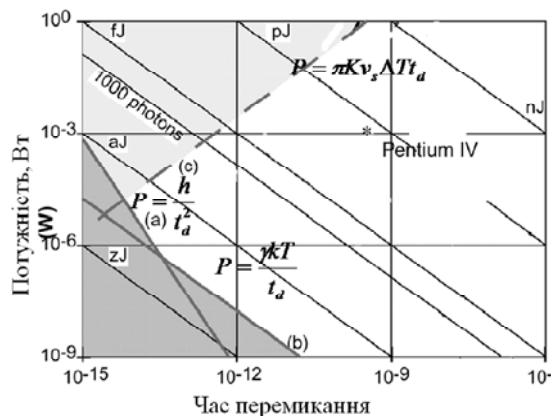


Рис. 1. Графік досягнутих середніх значень параметрів логічних вентилів (біле поле праворуч): потужності ($P_{\text{вик.сер.}}$, Вт), часу ($t_{\text{зт.сер.}}$, нс) і роботи перемикання ($A_{\text{сер.}}$, пДж) та обмеження властивостей НП матеріалів для Si (сіре поле); * – параметри Pentium IV

конструктивно-технологічних (б), а також *якостей НП матеріалів*, що використовуються (Si, GaAs) (в). Основні з них такі [5, 6]:

1. Використання носія сигналу в ІС у вигляді зарядженої частки (електрона), що обумовлює обов'язкову наявність дводрової лінії (сигнальний – загальний дріт, тобто замкнутість контуру струму) при передаванні сигналу.

2. Властивості напрямних середовищ (НС) для електронів (металеві провідники з параметрами L, R, C , що мають характерний час перемикання $t_3 \sim RC$ при малому L : між'єднання довжиною $M_{\text{л}} = 10$ мм вносить затримку в поширення сигналу t_3 близько 1 нс).

3. Величина потужності, що споживається, розсіюється в ІС з $N \sim 10^7 \dots 10^8$, $S_{\text{кр.}} \sim 1 \dots 10$ см² (споживання логічного вентиля 0,01...20 мВт при коефіцієнті навантаження $\xi \sim 0,1 \dots 0,3$) становить декілька десятків Вт і більше, що наближається до меж фізичних характеристик НП матеріалів (Si, GaAs) і є обумовленою фундаментальними співвідношеннями.

Таблиця 1. Порівняльні характеристики параметрів логічних вентилів ІС

Тип логіки	Середні значення параметрів логічних елементів (ЛЕ) цифрових ІС			K _{об.} : коефіцієнт об'єднання по входу	K _{роз.} : коефіцієнт розгалуження по виходу
	P _{сер.} , мВт: споживана потужність	t _{зт.сер.} , нс: час перемикання	A _{сер.} , пДж: робота перемикання		
T ² Л/T ² ЛШ	20/1	5–20/2–10	50–100/10–20	2–5	10
ЕЗЛ	20–50	0,5–2	20–50	2–5	10–20
ІЛ	0,01–0,1	10–100	0,2–200	1	3–5
МОН	1–10	20–200	50–200	2–5	10–20
КМОН	0,01–0,1	10–50	0,5–5		
ВіКМОН	0,01–0,1	2–10	2–20	2–5	10–100
МЕН	0,1–0,5	0,15–0,5	0,1–0,5	2–5	2–5

Таблиця 2. Основні напрямки розвитку великих ІС

Надвеликі ІС	Мікрозбірки	Надшвидкісні ІС
$N \leq 10^6 - 10^8$	$N_{\Sigma} \geq 10^7 - 10^9$	$N \leq 10^4$
$t_b \geq 50 - 100$ нс		$t_b \geq 0,15 - 2$ нс
$P_b = 0,1 - 0,01$ мВт		$P_b = 0,1 - 20$ мВт

4. Потужність, що витрачається на перезарядження металевої провідної лінії довжиною $M_{лр}$ сягає 80 % значення потужності, що підводиться до кристала ІС.

Істотно впливають такі характеристики: максимальна кількість зовнішніх виводів K корпусу ІС (визначається розміром площі її кристала $S_{кр}$); зниження напруги у міжз'єднаннях (досягає значень десятків часток Вольтга при значеннях струмів живлення 1...3 А). Це погіршує параметри фронтів імпульсу, знижує завадостійкість ІС, інші її характеристики.

Є питання, пов'язані з електричними зв'язками між кристалами, корпусами ІС, платами через дровові з'єднання і забезпеченням параметрів передачі ЦС (з урахуванням властивостей з'єднувачів: електричних, частотних, механічних, температурних та ін.):

– у лініях зв'язку, металевих НС всередині і зовні ІС має місце збільшення загасання ЦС від частоти перемикавання (рис. 2) з урахуванням відомої залежності $t_{пер.} \sim k R_{НС} C_{НС}$;

– при впливі електромагнітних імпульсів від перемикаць ІС на металевих НС плат виникають електромагнітні перешкоди, амплітуда яких пропорційна довжині лінії $M_{лр}$;

– низька надійність з'єднувачів, що забезпечують контакт металевих дровів.

Зазначені фактори можна послабити спеціальними прийомами: зменшенням топологічного розміру, застосуванням знижених значень напруги живлення, струму, оптимізацією трасування і охолодження кристала, застосуванням коаксіальних кабелів, екранування блоків, плат та ін. Але це не вирішує зазначених проблем ІС у цілому, а зі збільшенням рівня інтеграції N , зростанням кількості зв'язків і підвищенням робочих частот ІС вони мають

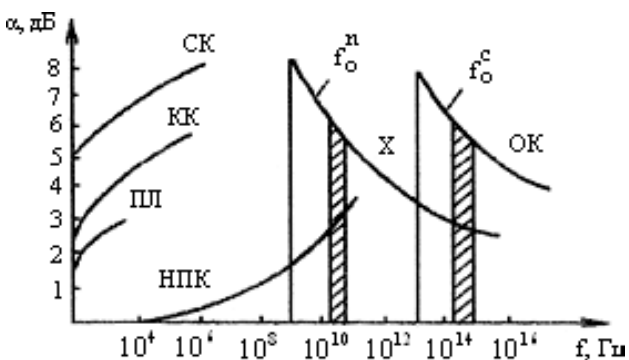


Рис. 2. Частотні залежності загасання напрямних середовищ: КК – коаксіальний кабель, СК – симетричний кабель, ПЛ – повітряна лінія, НПК – надпровідний кабель, ОК – оптичний канал (кабель), X – хвилевід

тенденцію накопичуватися і підсилювати свій негативний вплив.

Наведений аналіз вказує на те, що недоліки технології обробки потоків оптичних ЦС традиційними типами логіки на основі електронних цифрових ІС мають дві складові: використання обраних носіїв сигналів (у вигляді заряджених часток – електронів) і НС у вигляді металевих провідників, доріжок, контактних майданчиків [5, 6].

На погляд авторів, недоліки електронних цифрових ІС можуть бути вирішені через зміну підходів до розробки схем логіки для ІС і ЦА, а саме широким використанням оптоелектронних, оптичних явищ для створення альтернативних схем логічних елементів (ЛЕ) відносно електронних логічних вентилів, що вже існують (табл. 1), і їх впровадження в технології створення «оптичних» і «оптоелектронних» ІС нового покоління.

ПОСТАНОВКА ЦІЛІ ЗАВДАНЬ СТАТТІ ДЛЯ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Рішення вказаних завдань для ІС і ЦА, пристроїв на їх основі можна сформулювати у вигляді цільової функції: що потрібно зробити, щоб, використовуючи вже відомі типи зв'язку, розв'язати поставлені питання. Відповідь є очевидною – необхідна заміна електричного носія (електрона) і металевих НС зв'язком іншої природи, що менш пов'язаний із двома (з трьох) обмеженнями: а) фізичним (обраний вид зв'язку між каскадами в ІС, рис. 2) і б) конструктивно-технологічним (основа перетворення сигналу: тип схем електронної логіки на досягнутому топологічному розмірі, табл. 1), але з урахуванням третього (в) – властивостей НП матеріалів Si, GaAs, що використовуються, – див. рис. 1 (ліве штриховане поле). Це положення має принципове значення, бо з нього виходить, що третє обмеження (в) на даному етапі розвитку технології (рис. 1) ще не є настільки критичними, як а) і б) – тобто має достатньо великий резерв підвищення частоти перемикавання (включно до сірого поля зліва рис. 1).

Можливість обійти означені обмеження ІС відкриває заміна електричного струму (засобу передачі інформації в сучасних ЦА і обчислювальних пристроях – ОП) на сигнали іншої фізичної природи. Переваги оптичного способу зв'язку базуються на використанні електронейтральних фотонів для переносу інформації і властивостях НС, у яких вони поширюються від джерела випромінювання до приймача, та характеру їх взаємодії з електронами твердих речовин [5–7]. Застосування оптичного випромінювання вирішує завдання збору, передачі, перетворення, індикації інформаційних потоків безконтактним (некондуктивним) способом – за допомогою формування інформаційних полів з електрично-непов'язаними ланцюгами джерел і приймачів сигналів (гальванічна розв'язка). Така якість важлива для інформаційних систем і ОП, що перебувають в умовах «забруднення» простору ЕМП (внутрішнього – комутація силових пристроїв, зовнішнього – грозові розряди, раді-

аційні впливи та ін.) для одержання неспотвореної інформації стану об'єкта, її обробки, видачі сигналів управління. Прилади на основі оптичних і оптоелектронних пристроїв використовуються у зв'язку, системах управління, промисловій автоматизації, техніці [1, 2].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМАТИКОЮ СТАТТІ

Слід зазначити, що останнім часом з'явилася велика кількість нових розробок удосконалених пристроїв, що використовують оптичні і оптоелектронні прилади (ОЕП), ВОК як робочі елементи для пристроїв виміру і діагностики станів у промисловості, зв'язку, медицині, побуті. У приладах прийому, передачі електричних, оптичних ЦС все більше місце займають оптоелектронні, інтегрально-оптичні компоненти, виконані за планарними технологіями. Оптоелектроніка, інтегральна оптика перетворюються у напрямок, який характеризується багатифункціональністю (при використанні різних фізичних ефектів, їх комбінацій), багатоваріантністю технологічного виконання, способів втілення в прилади і пристрої. На рис. 3, а наведена узагальнена функціональна схема ОЕП [7], а в простішому випадку його можна представити у вигляді оптопарі (СД-ФП). На рис. 3, б показана спрощена схема оптоелектронного каналу. Залежно від конкретного застосування, вона подається у вигляді комбінації її частин (ОЕП, канал – ВОК, датчик, модулятор та ін.). Для забезпечення зв'язків у ОП, ЦА і ПК використовують зв'язок по ВОК між кристалами, приладами, компонентами, платами, блоками на основі випромінювачів (ЛЛ, ЛД, СД) і ФП на *p-i-n* ФД із робочою частотою f_p до декількох ГГц. Реалізація одного з варіантів міжкомпонентних і міжплатних «вертикальних» зв'язків з ІС на основі СД-ВОП-ФП показана на рис. 4 [8]. У нових розробках матриць регулярних (систолічних) структур типу однорозрядних процесорів, що носять назву «пульсир», також використано подібні оптичні зв'язки між платами для нарощування структури ОП, ЦА за трьома вимірами [9]. Значним досягненням в практичній реалізації оптичних міжкомпонентних зв'язків є створення системної плати для ПК з виключно оптичними зв'язками («горизонтального» типу) російським винахідником [10]. Передавання сиг-

налів оптичним волокном із застосуванням технології WDM (Wavelength Division Multiplexing: мультиплексування по довжині хвилі) дозволяє на 1...3 порядки підвищити продуктивність системи (збільшити пропускну здатність ділянки без прокладки нових кабелів) [1, 2]. Фірмою Bell Labs (корпорація Intel) здійснено передачу 1024 оптичних потоків по одному експериментальному ВОК, створено прототип швидкісного оптичного інтерфейсу вводу/виводу для міжкомпонентних зв'язків кристал – кристал в корпорації Intel [11]. Але найбільш «консервативною» у ОП, ЦА, ПК з використанням потоків оптичних ЦС залишається їх цифрова елементна база обробки інформації і її основа: електронні ІС на відомих типах логіки (табл. 1).

Підсилені і сформовані у вигляді електронних сигналів – відображень оптичних ЦС, вхідні цифрові потоки обробляються НП ІС на базі схем логіки (табл. 1) [3, 4]. З підвищенням продуктивності П (визначається тактовою частотою ОП f_p і розрядністю металевих шин $K = 8...128$ на поверхні кристалу ІС: $\Pi = f_p \times K$), усе більше проявляються обмеження образного інструменту – електронних ІС – при обробці потоків оптичних ЦС. В значній мірі це обумовлює неможливість подолання частотного бар'єра для обраного НС – металевих дротів (доріжок) в ОП і ЦА. Це, зокрема, проявляється в тому, що параметри частоти ядра процесора $f_{яп}$ в ІС сягають значень $\sim 2,5...5$ ГГц, тоді як частота системної шини $f_{сш}$, що зв'язує інші частини (ПК, ОП, ЦА), і має більшу довжину (відповідні значення $R_{НС}, C_{НС}: 1/f_{сш} = t_{пер.} \sim k R_{НС} C_{НС}$) та є приблизно в'ятеро – вдсятеро нижче – $0,5...1$ ГГц. Велика кількість металевих шин потребує використання багатопшарових плат, що стає завадою як у технологічному виконанні, так і щодо швидкодії (будь-який дріт має кінцеве значення параметрів R, C, L і, відповідно, кінцеве значення $t_{пер.} \sim k R_{НС} C_{НС}$).

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ ВИРІШЕННЯ

Огляд досягнень та напрямків досліджень вказує на кілька можливих шляхів вирішення означених проблем

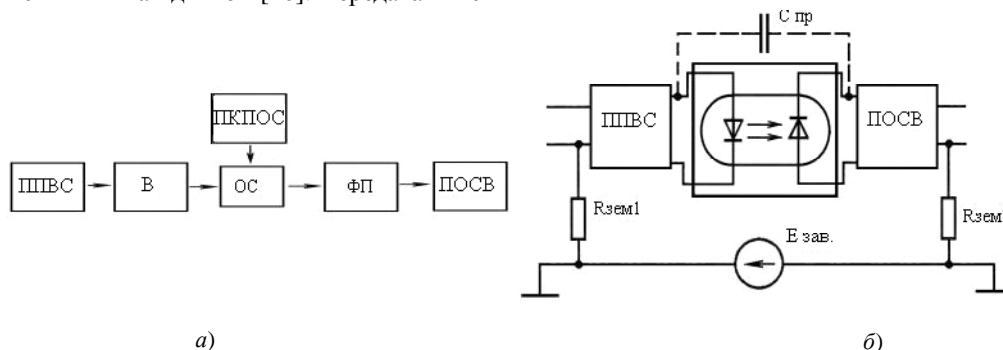


Рис. 3. Узагальнена функціональна схема оптоелектронного пристрою (а); схема оптоелектронного каналу з урахуванням протікання струмів завад крізь паразитні зв'язки (б): ППВС – пристрій перетворення вхідного сигналу; В – випромінювач; ПКПОС – пристрій керування параметрами оптичного середовища; ОС – оптичне середовище; ФП – фотоприймач; ПОСВ – пристрій обробки сигналу на виході; Е зав. – ЕДС наведеної завади

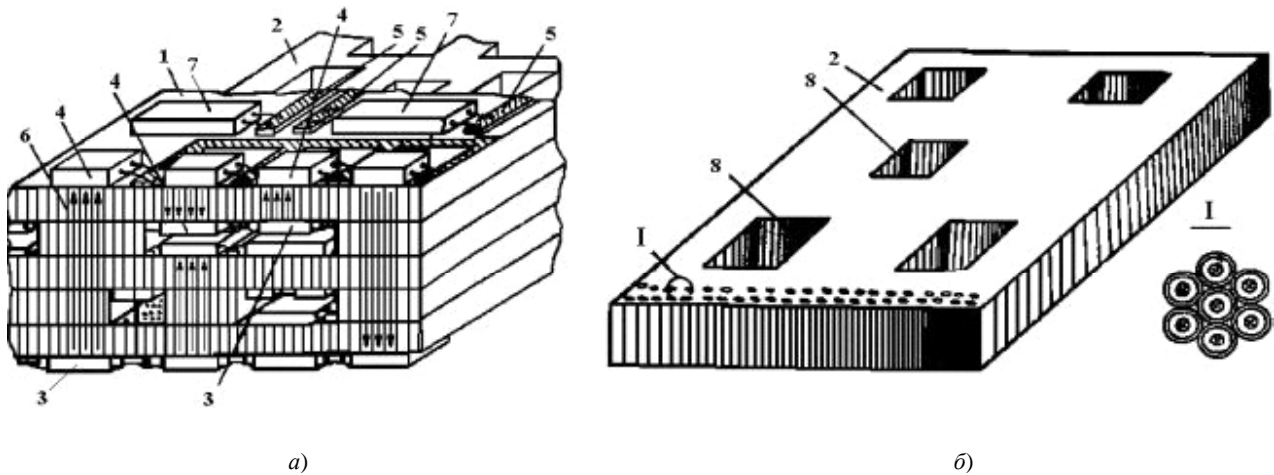


Рис. 4. Реалізація оптичних міжблочних зв'язків на основі пристроїв типу волоконно-оптична пластина (ВОП):

a – конструкція у зборі; *б* – ВОП з ВОК: 1 – плата; 2 – ВОП з ВОК; 3 – блок світловипромінювачів; 4 – блок ФП; 5 – струмопровідні доріжки; 6 – хід оптичних променів; 7 – мікросхема; 8 – вікна для електричних зв'язків; I – збільшений вид зверху на ВОК, що складають ВОП

електронних ІС. Основним напрямком є поступове збільшення використання оптичних компонентів в ІС і організація не тільки входів-виходів у вигляді оптичних зв'язків, але і їх застосування для зв'язку зовні і всередині ІС [1, 2, 5–10]. Тут можливі кілька варіантів розвитку. Перший, що характеризується застосуванням планарних ВОК для більш довгих, ніж в ядрі процесора, зв'язків між каскадами ІС для організації системних шин, вирішується без проведення зміни схем типів логіки (табл. 1). З цим підходом все зрозуміло: концепції звичайних (на макрорівні) сучасних оптичних зв'язків треба втілити на поверхні кристалів ІС за планарними технологіями [2, 5]; між ІС на декількох платах і в блоках ЦА, ОП – наприклад, згідно з технічними рішеннями, що подано в [11].

Другий напрямок, на наш погляд, є більш перспективним і стосується заміни схем логіки, що використовуються для ІС, на альтернативну, наприклад, оптоелектронну або оптичну. Для цього підходу (що передбачає перехід до іншої фізикотопологічної моделі логічного елемента – ЛЕ – і створення, наприклад, робочої схеми оптоелектронного або оптичного інвертора) формування позитивної чи негативної відповіді потребує додаткового аналізу елементів оптопар, їх параметрів. Його мета – дати відповідь на питання про можливість:

- формування елементів оптопар (СД, ФП, ВОК) з розмірами, що досягнуті сучасними технологіями і що можуть функціонувати з параметрами не гіршими за ІС відомих типів логіки;
- вибору базової схеми (або базису) оптичного або оптоелектронного ЛЕ – ОЛЕ;
- досягнення частот перемикання і споживання ОЛЕ на рівні електронних ІС.

Оцінка твердотільних елементів оптопар, їх параметрів і типів (в т.ч. в інтегральному вигляді) достатньо глибоко проведена в [6, 7]. З неї виходить, що швидкодія перемикання СД і ФП може сягати 0,1...1 ГГц, а в особливих режимах перемикання – ще вище. Все це вказує на те,

що частка відомих конструкцій твердотільних елементів оптопар (СД, ФП і ВОК) може бути використана в схемах, наприклад, оптоелектронної логіки для ІС.

До недоліків оптопар СД-ФД відносять мале значення фотоструму, що становить одиниці відсотків від значення струму СД. Для підвищення $K_{\text{фд}}$ в оптопарах СД-ФД використовують вбудовану електронну схему на одному (або декількох) транзисторах, що застосована в оптопарах КОЛ201А (СНД), імпортованих – ТЛР112, НСРЛ-0501, НСРЛ-0700 та ін. [12]. При значенні $K_{\text{фд}} \sim 0,5...5\%$ для одержання вихідного струму $I_{\text{вих}}$, порядку струму $I_{\text{СД}}$, досить транзистора з коефіцієнтом підсилення $h \geq 21...210$ (наведено із запасом $\sim 5\%$). До параметрів, що впливають на частотні властивості оптопар, відносять значення ємностей ФП, розмір його області просторового заряду (ОПЗ), щільності струму ($J_{\text{фп}} = I_{\text{фп}}/S_{\text{фп}}$) на робочій частоті f_p фотоперетворення. Наприклад, при модуляції СД інтегральної оптопарі ДВЧ діапазону (0,03...0,3 ГГц) на робочій частоті f_p необхідно, щоб параметри ФП (його час відгуку) відповідали перемикальним параметрам СД. Швидкодіючим ФП є *p-i-n* ФД. На основі таких ФП створені дискретні оптопари в складі СД – *p-i-n* ФД (ЗОД120А-1), що відзначаються малими розмірами, високою швидкодією – від десятків нс [12]. Задовільного результату по збільшенню фотоструму досягаються, застосовуючи в оптопарі в якості ФП біполярні ФТр, які сполучають у собі функції ФД і елемента підсилювача-формувача (ПФ) вихідного сигналу. Але за швидкістю вони поступаються оптопарам з окремими *p-i-n* ФД і ВЧ транзисторам приблизно на порядок. На рис. 5, *a-g* наведено відомі схеми і ВАХ оптопар СД-ФТр. Для порівняння на рис. 5, *д* наведено вихідні ВАХ оптопар СД-ФР. Перевагою ВАХ (*г*) перед (*д*) є використання двох режимів: лінійної ділянки і насичення ФТр. В інтегральній оптопарі ДВЧ діапазону частіше застосовують роздільне фотоперетворення (ФП – *p-i-n* ФД з частотою детектування до декількох ГГц) і ПФ: ВЧ транзистор

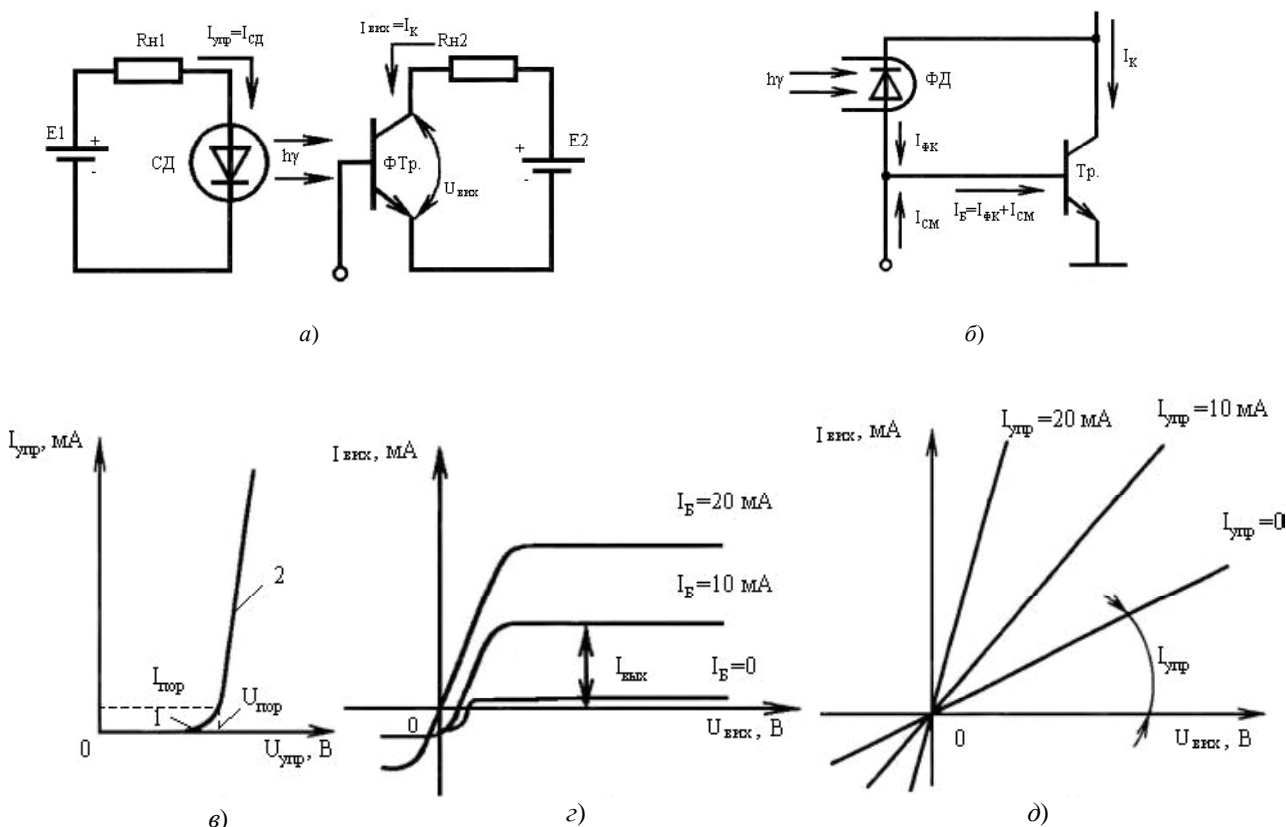


Рис. 5. Електрична схема ОЕП і його ВАХ:

а – схема включення фототранзисторної оптопари (СД-ФТр); б – еквівалентна схема *n-p-n* фототранзистора; в – вхідна характеристика оптопари (ВАХ СД); г – характеристика фототранзисторної оптопари по виходу; д – характеристика фоторезисторної оптопари (СД-ФР) по виходу

(Тр) з коефіцієнтом підсилення $h \geq 21 \dots 55$ на частоті f_p [2, 7, 12], що співпадає зі схемою рис. 5, б. Передатні параметри оптопар у режимах малих струмів СД близькі до лінійних, а еквівалентні схеми *n-p-n* ФТр і ФД із *n-p-n* Тр ідентичні [7].

Аналіз параметрів оптопар, елементів ОЕП [6–10], показує, що вони можуть бути використані для створення мікропотужної оптоелектронної елементної бази цифрових пристроїв ДВЧ, УВЧ діапазонів і подолання частини обмежень, що властиві сучасним ІС.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБҐРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Авторами було запропоновано кілька конструкцій структур швидкодіючих елементів мікропотужних оптопар нижньої частини УВЧ діапазону (0,3...3 ГГц) у складі СД-ФП у вигляді малорозмірних їх конструкцій. Інтегральний фотоприймальний пристрій (ІФП) на основі *p-i-n* ФД і ВЧ Тр є схемою з розділним фотоперетворенням (що має максимальну спектральну чутливість при $\lambda \sim 0,8 \dots 0,9$ мкм) і підсиленням фотоструму планарним ВЧ *n-p-n* Тр на Si, спроектованою згідно з вимогами до

ДВЧ приладів [13, 14]. Випромінювач – швидкісний ІЧ СД на сполуках GaAs з поверхневим виходом випромінювання (ПВВ) і довжиною хвилі випромінювання $\lambda \sim 0,8 \dots 0,9$ мкм [15]. Розрахунок структур здійснено: СД (один *p-n* перехід) – на основі аналітичної моделі [16]; ІФП у складі *p-i-n* ФД з ВЧ *n-p-n* Тр (три *p-n* переходи) – методом чисельного моделювання (ПС «Дослідження»), що розроблена за методиками роботи [17].

Частина результатів розрахунків і моделювання параметрів елементів мікропотужної оптопари ДВЧ діапазону (СД – *p-i-n* ФД з ВЧ *n-p-n* транзистором) подана на рис. 6–8.

На рис. 6 подано результати моделювання ІК СД ПВВ у вигляді залежностей від напруги ІК СД на графіках: щільності оптичної потужності $P_{\text{опт}}$ для двох значень часу життя $t_{\text{НЗ}}$ основних носіїв заряду (НЗ) (рис. 6, а) і струмів: повного (1) і рекомбінації (2) (при $\lambda = 0,84$ мкм, $I_{\text{СД макс}} = 120$ мкА, $f_{\text{роб}} \sim 0,333$ ГГц) (рис. 6, б). Характерною особливістю наведених даних на рис. 6, а, в є те, що розрахунки проведено для двох значень фізичних параметрів НП структур: $t_{\text{НЗ}} = 0,1$ нс (1); $t_{\text{НЗ}} = 0,2$ нс (2). Значення струму рекомбінації 2 (внутрішній ККД потужності випромінювання) в робочому режимі моделі сягає до 20 % від пов-

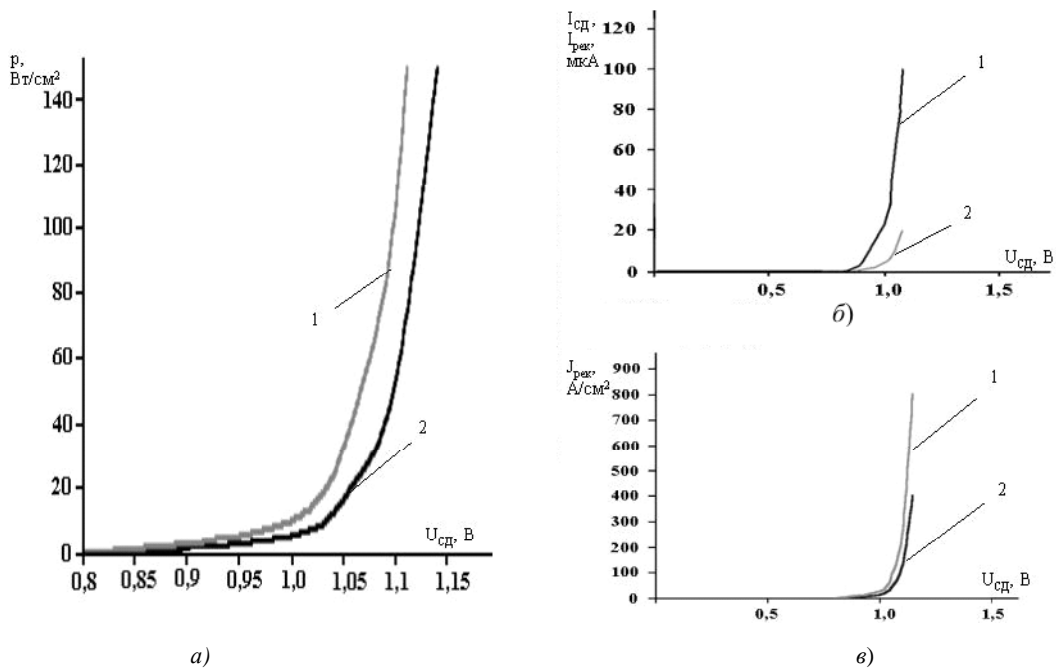


Рис. 6. Частина результатів розрахунків параметрів мікропотужного ІК СД

ного струму інжекції І СД (рис. 6, б). Модуляцію СД запропоновано проводити в режимі «малого сигналу», що забезпечує підвищення частоти перемикавання приблизно на порядок порівняно з режимом «великого сигналу».

На рис. 7 подано результати моделювання ІК $p-i-n$ ФД: фоточутливість при $\lambda = 0,84$ мкм дорівнює $0,45$ А/Вт, гранична частота $f_{гр} \sim 5$ ГГц, коеф. перетворення до $2 \dots 2,25$ %, приймальне фотовікно $S \sim 25$ мкм². Наведено графіки: значення згенерованого фотоструму ФД (при дії 2 нс синусоїдального оптичного вхідного імпульсу) для двох значень об'ємної швидкості генерації G (рис. 7, а); залежність зміни заряду Q $p-i-n$ ФД від напруги U для розрахунку ємності $C_{фд}$, що не перевищує $0,0045$ пФ (рис. 7, б).

На рис. 8 подано результати моделювання підсилювача фотоструму у вигляді ВЧ $n-p-n$ Тр в схемі із загальним емітером: пряма (а) і зворотна (б) ВАХ; значення вихідного струму його колектора (1, 2) для двох трапецієвидних вхідних імпульсів від $p-i-n$ ФД амплітудою $I_{фд} = I_{Б1} = 1$ мкА і $I_{фд} = I_{Б2} = 2$ мкА (в), що задані таблицею. Особливістю їх є те, що з них видно, з якою динамікою перемикавання інтегральний ВЧ $n-p-n$ Тр працює з двома значеннями фотоструму ФД ($I_{фд} = I_{Б1} = 1$ мкА; $I_{фд} = I_{Б2} = 2$ мкА): при значеннях коефіцієнту передачі по струму $h \sim 100$ ($I_{Б1} = 1$ мкА) і $h \sim 50$ ($I_{Б2} = 2$ мкА) робоча частота сягає $f_{роб.} \sim 0,167$ ГГц (1) і $0,333$ ГГц (2) відповідно; розрахункова гранична частота перемикавання (при $h = 1$) $f_{гр} \sim 2,7$ ГГц.

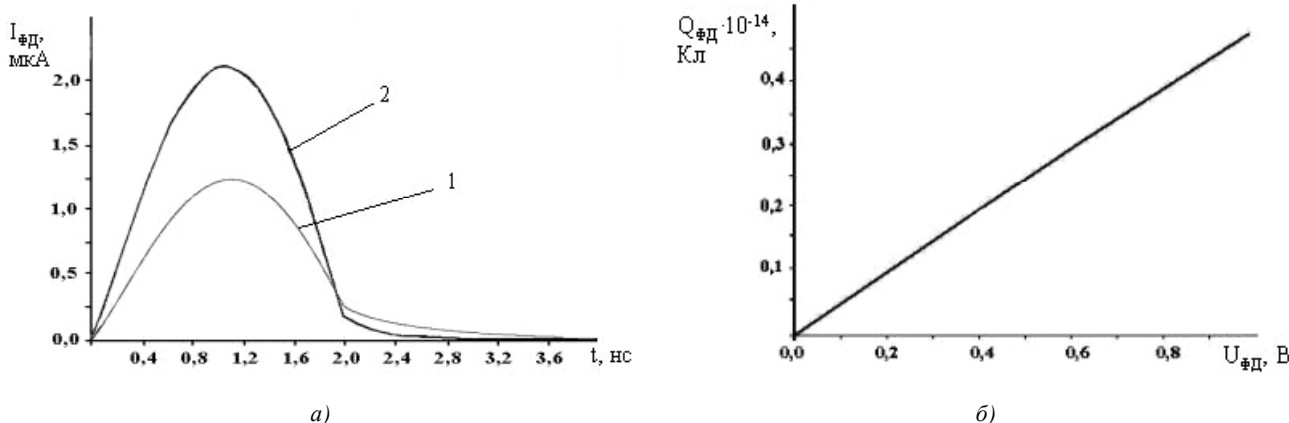


Рис. 7. Частина результатів розрахунків параметрів ІК $p-i-n$ ФД

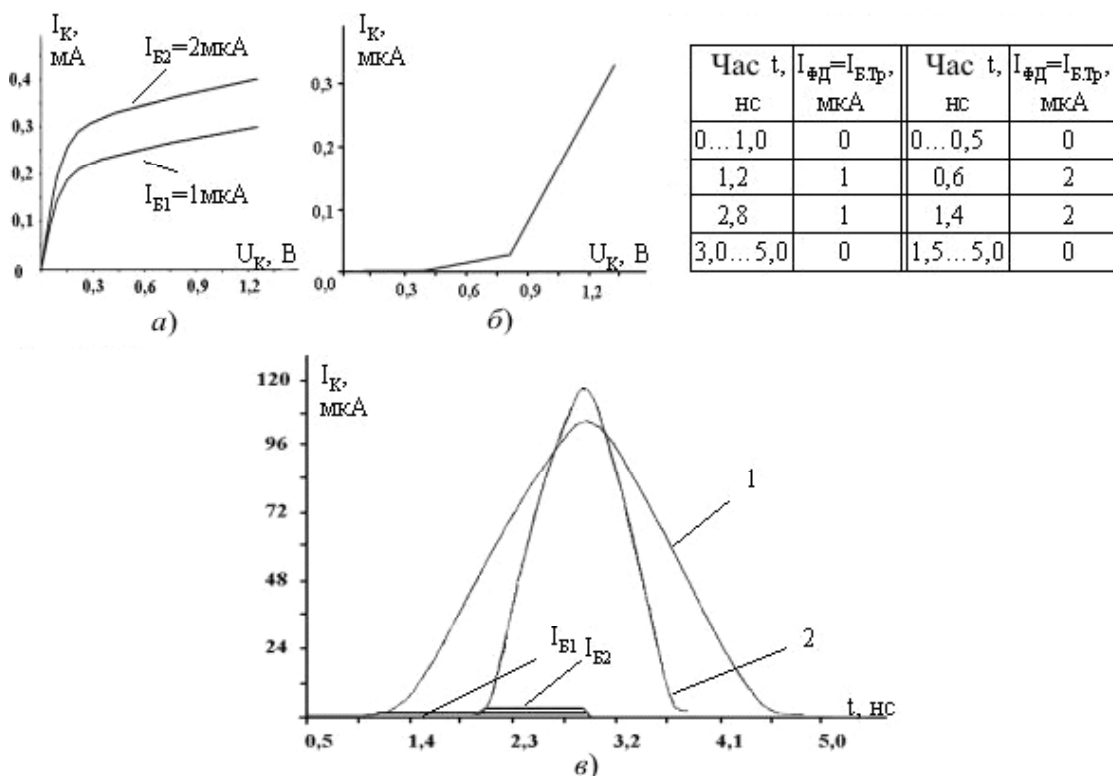


Рис. 8. Частина результатів розрахунків параметрів інтегрального ВЧ n-p-n Tr

Результати аналізу, розрахунків і досліджень показали можливість функціонування таких пристроїв, як елементів оптопар при їх відповідних розмірах, в мікропотужних режимах у нижній частині UVЧ діапазону і можливість формування на їх основі ДВЧ, UVЧ оптопар. Параметри часу перемикання $t_{зт.пер.}$ запропонованих елементів оптопар (рис. 6–8) сягають значень електронних типів логіки (табл. 1) при достатньо малих значеннях $P_{сер.}$, мВт; $A_{сер.}$, пДж. Обговорення результатів дослідження проводилось на кількох МНТК [18–21].

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБОК В ДАНОМУ НАПРЯМІ

На основі проведеного аналізу можна зробити такі висновки.

1. Динаміка зміни параметрів електронних цифрових ІС вказує на те, що вони наближаються до певної межі досягнутих параметрів. Вона є різною для відомих типів електронної логіки, пов'язана з мінімальним розміром елемента ІС (топологічний розмір сучасної технології: 1 мкм; ... 100 нм; ... 10 нм), але зв'язана з загальними для ІС факторами, основними з яких є фізичні властивості носіїв інформації, НС і технологічні обмеження.
2. Фізичні обмеження НП матеріалів і структур, що входять до складу ІС, ще мають певний запас для підвищення частоти перемикання при заданому значенні $P_{сер.}$ (рис. 1).
3. Є суттєві переваги ОЕП у складі ОП і ЦА (для управління об'єктами: передавання, прийом, перетво-

рення інформації в телекомунікаційній техніці та ін.), засновані на використанні фотонів і діелектричних НС і відповідних перевагах оптичного засобу зв'язку.

4. Аналіз випромінювачів у оптроні, ОЕП вказує, що прийнятним рішенням для випромінювача у складі оптоелектронних логічних схем є твердотільні пристрої. Серед них виділяються СД – некогерентні випромінювачі на основі GaAs із прийнятним набором характеристик, що відзначаються: малою споживаною потужністю, швидкодією перемикання (10^{-9} с), ККД перетворення електричного струму у випромінювання у межах 10...20 %, значним часом функціонування (10^6 год) і роботою у ВЧ, ДВЧ і UVЧ діапазонах. Є можливість отримати вихід випромінювання як перпендикулярно площині p-n переходу (СД типу ПВВ) так і вздовж неї (більш придатний для планарних технологій отримання ВОК).

5. Оцінка ФП ДВЧ, UVЧ діапазону і їх параметрів показує, що структура із розділним фотоперетворенням і підсиленням типу ІФП (рис. 5, б) забезпечує прийнятну швидкодію на робочій частоті. В пристроях, що існують, схеми ФП сполучаються із входами ІС (на основі Т²ЛШ), не вимагають підвищених напруг живлення (звичайно 1...5 В), мають високу швидкодію – до 10^{-10} с і можливість вибору режиму Tr (ділянки: лінійна або насичення ВАХ) та реалізації адаптивних ФП (через вплив на струм бази Tr).

На основі аналізу можливо зробити припущення, що між етапом розвитку сучасної електронної логіки і майбутньою «оптичною» логікою може перебувати період застосування оптоелектронної логіки, наприклад, на

базі використання мало- та мікропотужних режимів елементів оптопар ДВЧ і УВЧ діапазонів у складі оптоелектронних логічних схем (НІ, АБО-НІ, І-НІ, їх комбінацій) для ІС, що можуть сполучати відомі фізичні процеси: оптичні, оптоелектронні і електронні та використовуватимуть їх переваги.

З вищевказаного випливає, що завдання створення мало- і мікропотужних цифрових ІС на елементах оптопар ВЧ, ДВЧ і УВЧ діапазонів (з малим енергоспоживанням для ОП і ЦА) практично назріли. Широке застосування в них елементів оптопар може привести до вирішення частини питань, які вказані в перших частинах статті, а саме: зниження споживаної потужності ІС для ПК, ОП, ЦА (через зниження t_3 при поширенні оптичних ЦС по ВОК) і підвищення широкосмужності оптичних ліній зв'язку і інтерфейсів ІС. Такий підхід відкриє нові можливості розвитку елементної бази ОЕП і використання якостей оптичного середовища для організації міжз'єднань (оптичних інтерфейсів), створення оптоелектронних цифрових ІС для ПК, ОП, ЦА, що можуть конкурувати з відомими типами електронних ІС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М. : Техносфера, 2003. – 450 с.
2. Волоконные оптические линии связи – ВОЛС: [справочник под ред. С. В. Свечникова, Л. М. Андрушко]. – К. : Техника, 1988. – 239 с.
5. Алексенко, А. Г. Основы микросхемотехники / А. Г. Алексенко. – М. : Юнимедиастилл, 2009. – 448 с.
4. Аванесян, Г. Р. Цифровые интегральные микросхемы : справ очник / Г. Р. Аванесян. – М. : Радиотехника, 2008. – 272 с.
5. Свечников, Г. С. Интегральная оптика / Г. С. Свечников. – К. : Наукова думка, 1988. – 166 с.
6. Носов, Ю. Р. Оптоэлектроника / Ю. Р. Носов. – М. : Радио и связь, 1989. – 360 с.
7. Гребнев, А. К. Оптоэлектронные элементы и устройства / А. К. Гребнев, В. Н. Гридин, В. П. Дмитриев. – М. : Радио и связь, 1998. – 336 с.
8. Радиоэлектронный блок с некондуктивными связями : тр.7-й Междунар. конф. «Волоконная оптика в системах связи, промышленной автоматике, медицине» / В. П. Тесленко, О. В. Щекотихин, Г. А. Полянский, П. А. Ройбул. – Запорожье : ЗНТУ, 2002. – С. 70–72.
9. Шмойлов, В. И. Пульсирующие информационные решетки с матричной коммутацией / В. И. Шмойлов, В. О. Бронзов // Штучний інтелект. – 2008. – № 3. – С. 790–799. – Режим доступу до журн.: www.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2008_3/JournalIAI_2008_3/Razdel18/23_Shmoilov_Bronzov.pdf
10. SciTecLibrary – Новости Науки и Техники. 13.08.2003. Российским специалистом разработана оптоэлектронная системная плата нового поколения, превосходящая даже современные аналоги компании IBM. – Режим доступу до матеріалів: www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5833.htm
11. Корпорация Intel представляет прототип высокоскоростного оптического интерфейса ввода/вывода для межкомпонентных соединений кристалл – кристалл. – Режим доступу до матеріалів: <http://www.intel.com/corporate/europe/emea/rus/country/update/contents/it04041.htm>
12. Юшин, А. М. Оптоэлектронные приборы и их зарубежные аналоги : [справочник]. В 5 т. Т. 1 / А. М. Юшин. – М. : РадиоСофт, 2000. – 512 с.
13. Пат. № 68540А. Україна, МКИ G02F 3/00. Интегральный фотоприёмный пристрій / Білявська О. С., Костенко В. Л., Проскурін М. П. – № 20033076496; заявл. 11.07.2003; опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8. – 3 с.
14. Костенко, В. Л. Модели фотоприемников для микро мощных оптопар ВЧ диапазона и оптоэлектронных логических элементов, устройств на их основе / В. Л. Костенко, Е. С. Белявская, Н. П. Проскурин // Нові технології. Науковий вісник Ін-ту економіки і нових технологій. – 2004. – № 3(6). – С. 14–19.
15. Пат. № 12865. Україна, МКИ G02F 3/00. Интегральный свтлодиод / О. С. Білявська, М. П. Проскурін. – № u 2005 04596; заявл. 17.05.2005; опубл. 15.03.06, Бюл. № 3. – 4 с.
16. Берг, А. Светодиоды / А. Берг, П. Дин ; [пер. с англ. под ред. А. Э. Яновича]. – М. : Мир, 1979. – 688 с.
17. Григоренко, В. П. Моделирование и автоматизация проектирования силовых полупроводниковых приборов / В. П. Григоренко, П. Г. Кузьмин, В. А. Кузьмин, Т. Т. Мнацаканов. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
18. Костенко, В. Л. Модель интегрального фотоприемника, его параметры и характеристики : труды Междунар. конф. «Сучасний стан та перспективи використання ВОЛЗ. Первинні мережі як транспортна основа телекомунікаційної інфраструктури України» / В. Л. Костенко, Н. П. Проскурин. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2003. – С. 179–185.
19. Костенко, В. Л. Интегральное фотоприемное устройство : труды Междунар. конф. «Современные информационные и электронные технологии» / В. Л. Костенко, Н. П. Проскурин, Е. С. Белявская. – Одеса : Од.НПУ, 2003. – С. 193.
20. Proskurin, N. P. The models of photoreceivers optocouples, micropowerful optoelectronic logic elements and devices of HF range : труды 6-й Междунар. конф. «Modern problem of radio Engineering, Telecommunications and Computer Science» / N. P. Proskurin, E. S. Belyavskaya, O. V. Schekotihin. – Львів – Славське : Львівська політехніка, 2004. – С. 549–550.
21. Демиденко, Е. А. Результаты исследований мало- и микро мощных оптоэлектронных логических элементов : труды Междунар. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» / Е. А. Демиденко, Н. П. Проскурин. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2006. – С. 58–60.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2010.

Після доробки 03.11.2010.

Проскурин Н. П., Костенко В. Л., Щекотихин О. В., Грушко С. С.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕХОДА К МИКРОМОЩНЫМ ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ ИНТЕГРАЛЬНЫМ СХЕМАМ С ОПТОЭЛЕКТРОННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Рассмотрены проблемы передачи данных в металлических направляющих средах для систем обработки информации, управления объектами в цифровых интегральных схемах. Проведен сравнительный анализ типов схем электронной логики и направляющих сред. Обоснована возможность использования микро мощных оптоэлектронных элементов для создания оптоэлектронной логики и интегральных схем на их основе.

Ключевые слова: цифровые интегральные схемы, оптоэлектроника, оптопара, направляющая среда, светодиод, фотоприемник, волоконнооптический канал связи, цифровые автоматы.

Proskurin N. P., Kostenko V. L., Schekotihin O. V., Grushko S. S.

VALID NECESSITY OF TRANSFER TO MICROPOWER SOLID STATE INTEGRATED CIRCUITS WITH OPTRONIC COMPONENTS FOR DIGITAL MACHINES AND COMPUTING DEVICES

The problems of data transmission in metal directing mediums for the systems of data processing and objects control in digital integrated circuits are considered. Comparative analysis of the types of electronic logic circuits and directing mediums has been carried out. The possibility of using micropower optoelectronic elements for creation of optoelectronic logic and integrated circuits based on it is shown.

Key words: digital integrated circuits, optoelectronics, optocoupler, directing medium, LED, photodetector, fiber-optic communication channel, digital machines.

УДК 621.395

Сметанин И. Н.¹, Ложковский А. Г.², Пиза Д. М.³, Вербанов О. В.⁴

¹ Ст. преподаватель Запорожского национального технического университета
² Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Одесской национальной академии связи им. А. С. Попова

³ Д-р техн. наук, профессор Запорожского национального технического университета

⁴ Ст. преподаватель Одесской национальной академии связи им. А. С. Попова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА УЧАСТКА СЕТИ GSM ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНЫХ ПЕРЕГРУЗОК

В данной статье обосновывается необходимость проведения исследований параметров нагрузки для участков сотовой сети связи стандарта GSM, которые подвергаются локальным перегрузкам, приводятся результаты проведенных статистических измерений, и, на основе анализа полученных данных, сделаны выводы об отличии характера потока нагрузки, создаваемого различными видами соединений.

Ключевые слова: сотовая сеть, час наибольшей нагрузки, поток вызовов, длительность разговора, интенсивность нагрузки, число занятий, отказ в обслуживании, локальная перегрузка.

ВВЕДЕНИЕ

С ростом возможностей современных сотовых операторов и количества обслуживаемых ими абонентов, иногда возникают условия, при которых происходит превышение телефонной нагрузки в соте за счет увеличения нагрузки от некоторой части абонентов в этой соте, т. е. возникает локальная перегрузка. Максимальное количество абонентов, собранное в пределах одной соты, можно наблюдать в период проведения массовых мероприятий, таких как День города, концерты и т. д. При этом очень важно качественно обеспечить абонентов сети всеми заявленными услугами. Стабильная и высококачественная работа телекоммуникационной сети зависит от правильного ее проектирования и возможной реконфигурации при ее эксплуатации. Основной исследуемой характеристикой при этом является интенсивность телефонной нагрузки. Причем исходные величины для каждого случая определяются по-своему.

Выбор величины нагрузки при проектировании сети основывается на предполагаемых (прогнозируемых) данных, т.к. точные данные о телефонной нагрузке еще неизвестны. Для внесения изменений при эксплуатации в качестве исходных данных используются уже известные результаты измерений работающей сети. Однако,

и в первом и во втором случаях используются усредненные значения, которые получают при статистических наблюдениях за телефонной нагрузкой. При этом определяемые основные характеристики имеют первичные и вторичные параметры. К первичным можно отнести параметры, которые характеризуют нагрузку, создаваемую потоком вызовов, т.е. среднюю длительность разговора, интенсивность нагрузки и число занятий. В группу вторичных параметров, можно внести количество вызовов абонентов за промежуток времени, длительность паузы между вызовами и время обслуживания вызова. Эта группа параметров может помочь сделать правильный вывод о характеристиках исследуемого потока вызовов и подтвердить либо опровергнуть достоверность предположений о потоковой модели и виде закона распределения случайных величин.

Для этих параметров расчет необходимого объема оборудования, числа линий и каналов может производиться соответствующим методом. Если применить метод, который не будет учитывать реальный поток вызовов, а, следовательно, не отражает их реальную структуру, то точность полученных расчетов будет небольшой, что естественно скажется на качестве обслуживания абонентов и эффективности использования оборудования.

Поэтому возникает необходимость уточнения методики расчета основных характеристик, основанной на модели уже известного потока, с позиции разности между теоретическим и статистическим законами распределения. В результате, непосредственный расчет оборудования основывается на статистических наблюдениях, которые включают в себя измерения первичных параметров, а на измерениях вторичных параметров, основывается оценка модели потока вызовов и выбор либо коррекция соответствующего метода расчета.

Исследования характеристик сетей мобильной связи много раз проводились ранее. Однако они проводились либо для систем стандартов аналоговой транкинговой радиосвязи [1–2], либо исследовалась сеть GSM [2–6], но достаточно давно и не отражает современную реальность, приводящую к локальным перегрузкам на участках сети. Поэтому в условиях возможности локального кратковременного значительного возрастания количества абонентов уточнение методики расчета основных характеристик становится еще более актуальным.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Данная статья является результатом проведенной исследовательской работы на сотовой сети оператора мобильной связи стандарта GSM по изучению первичных параметров телефонной нагрузки в современных условиях. При этом исследовался характер всей телефонной нагрузки, обслуживаемой только одним центром мобильной коммутации (MSC). Для более полного отслеживания изменений телефонной нагрузки в сотовой сети, наблюдения проводились в соответствии с Рекомендациями Международного союза электросвязи (ITU-T) в течение 4-х месяцев с учетом концентрации нагрузки [7]. Указанное исследование производилось в г. Запорожье на площади Фестивальной в 2010–2011 годах. Этот район характеризуется как место с высокой плотностью административных, финансовых учреждений, деловых и культурных центров. Также в центральной части площади часто проводятся массовые мероприятия, при проведении которых количество абонентов может превышать пропускную способность соты. Площадь рассматриваемой части равна около $S = 320 \times 275 = 8800 \text{ м}^2$. Вокруг данного участка местности, на различных расстояниях, у оператора мобильной связи стандарта GSM размещено 15 базовых станций (BS), обслуживаемых одним MSC.

Проведение измерений нагрузки осуществлялось в MSC сети путем снятия поступающей учетной информации по сигнализации ОКС-7. Эти данные отражают только ту часть вызовов, которые обслуживаются оператором. Однако, в случаях, когда абонент занят, либо он не отвечает, т.е. когда вызов не завершён тарифицированным разговором абонентов, то эта часть вызовов остается неучтенной. Таким образом, если сравнить

учтенную, т.е. обслуженную телефонную нагрузку, то она окажется меньше реально поступающей.

При возможности локальной перегрузки сети наиболее вероятны случаи получения отказа в обслуживании, когда сеть занята из-за отсутствия свободных каналов, (т.е. заняты все либо зарезервированы для хэндоверных абонентов). В этом случае поступивший вызов вообще останется незафиксированным даже с помощью программного обеспечения системы сигнализации. Для устранения этого недостатка можно предположить, что поступающий поток является простейшим. Тогда необходимо измерить общую длительность промежутков времени, когда заняты все радиоканалы. Теперь, если эту длительность отнести к интервалу времени, в котором проводятся измерения, то таким образом можно рассчитать вероятность потерь по времени P_t^1 . Применительно к простейшему потоку вызовов эта вероятность соответствует вероятности потерь по нагрузке P_n и по вызовам P_v . На основании того, что для простейшего потока потенциальная и поступающая нагрузки также равны, то их величина определяется по полученным значениям фактической обслуженной нагрузки и вероятности потерь из-за отсутствия свободных каналов.

Однако, такой подход правомерен лишь в случае, если поступающий поток абонентских вызовов описывается моделью простейшего потока. Формулы для расчета поступающего потока, который описывается другими моделями, могут быть другими. Так как основные соотношения параметров определены для известных моделей потоков вызовов, то очень важна их точная оценка.

В соответствии с архитектурой сети стандарта GSM MSC выполняет коммутацию между MSC и мобильными либо пользователями внешних сетей, а также управляет работой, связанной с перемещением абонента [8]. Взаимодействие MSC с BS осуществляется через контроллер базовых станций (BSC), по, так называемому, А-интерфейсу. В качестве пользователей внешних сетей к MSC могут быть подключены абоненты стационарной телефонной сети, а также цифровых сетей с интеграцией услуг (ISDN), сети пакетной коммутации (PSDN) и др.²

Из этого следует, что MSC системы стандарта GSM могут обслуживать потоки нагрузки в следующих направлениях связи:

- от пользователей мобильных терминалов к пользователям мобильных терминалов;
- от пользователей мобильных терминалов к пользователям ТФОП;
- от пользователей ТФОП к пользователям мобильных терминалов.

Реконструкция данных по прохождению всех вызовов через MSC в сети определяет множество сценариев устанавливаемых соединений, которые может зафиксировать программа учета нагрузки. Виды соединений, которые были наиболее часто зарегистрированы прог-

¹ Состояние, когда все каналы заняты, отражается в виде «пика» на обобщенной диаграмме нагрузки.

² Состояние, когда все каналы заняты, отражается в виде «пика» на обобщенной диаграмме нагрузки.

раммой, при обслуговуванні виклику в MSC, і, являючись визначальними при формуванні трафіка, показані на рис. 1. Остальні види зв'язу, (наприклад, переадресація виклику на голосову пошту, дзвінок в Call-центр обслуговуючого оператора сотової зв'язу) в силу свого крайнє рідкого використання і, не оказуючі значительного впливу на формування навантаження, не розглядалися.

При реєстрації даних система сигналізації ОКС-7 дозволяє учити номери BS, через які здійснюються виклики. Така інформація дозволяє більш

детально дослідити навантаження на радіоканали в період локальної перевантаження участку мережі.

Всі результати вимірювань оброблялися спеціально розробленою на мові Visual Basic 6 програмою і в подальшому передавалися в таблицний редактор Excel пакета MS Office 2007 для побудови діаграм.

В якості досліджуваної BS по результатам отриманих даних була вибрана BS-A1, яка працює з перевантаженням в час проведення масових заходів (рис. 2) і досліджена її завантаженість в період 10 послідовних робочих днів різних періодів року з урахуванням максимальної концентрації навантаження³[9].

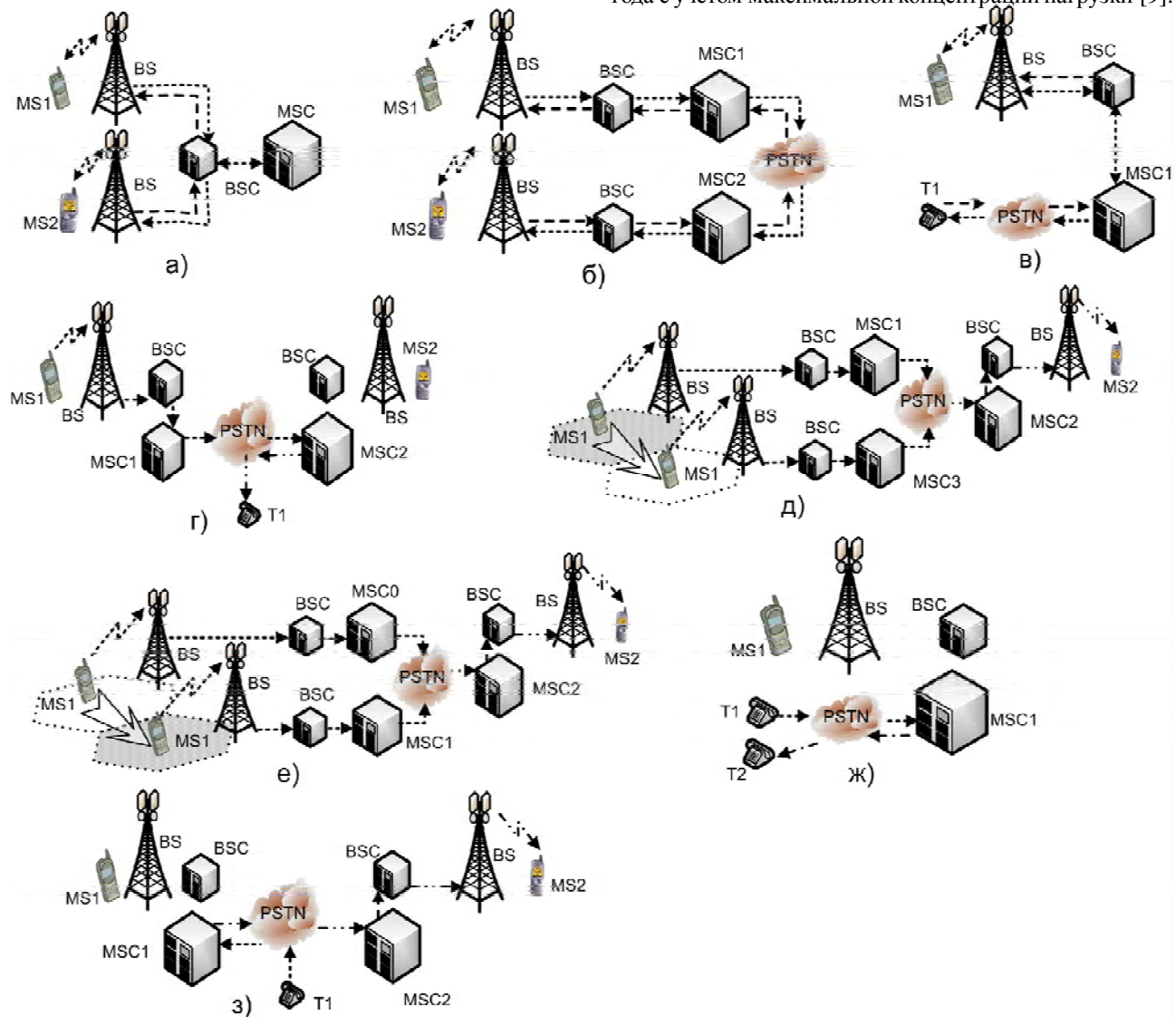


Рис. 1. Основні види з'єднань, які визначають навантаження в MSC:

а) з MS1 на MS2 або з MS2 на MS1 (обидва абоненти знаходяться в зоні обслуговування одного MSC); б) з MS1 на MS2 або з MS2 на MS1 (абонент 2 знаходиться в зоні обслуговування іншого MSC при з'єднанні MSC через ТфОП); в) з MS1 на MS2 (абонент 2 установив переадресацію виклику на термінал Т1 ТфОП) або з терміналу Т1 ТфОП на MS1; г) з MS1 на MS2 (абонент 1 виконує вихідний хендвер (абонент 1 здійснює виклик абонента 2 з поточної комірки, а потім переміщується в іншу соту і продовжує вести розмову); д) вхідний хендверний розмову з MS1 на MS2 (когда абонент 1 переміщується в комірку і продовжує вести розмову, який почав в попередній комірці); е) з терміналу Т1 ТфОП на MS1 (абонент 1 установив переадресацію виклику на термінал Т2 ТфОП); ж) з терміналу Т1 ТфОП на MS1 (абонент 1 установив переадресацію виклику на термінал Т2 ТфОП)

³ Найбільше навантаження має місце в лютому, березні, листопаді і грудні – тому цілком доцільно проводити вимірювання навантаження саме в ці місяці [9] гл.3 п.3.2.

На рис. 3 приведенные суточные диаграммы распределения нагрузки по 15-ти минутным интервалам. Полученные результаты исследований сезонной ежедневной загруженности BS показали (рис. 3), что нагрузка для повседневной деятельности в будние дни довольно стабильна и, в зависимости от месяца года, она изменяется незначительно. При этом на декабрь, приходится больше всего разговоров, чем в другие месяцы, а в феврале и марте – нагрузка почти одинакова. Превышение нагрузки в декабре может быть объяснено повышенной активностью абонентов в конце года.

Почасовое суточное распределение нагрузки для рабочих дней, вполне отражает повседневный распорядок жизни. Из обобщенной диаграммы для всех видов связи на рис. 4 видно, как, начиная с 6:00 до 7:30, нагрузка возрастает плавно. Потом до 9:00 нагрузка увеличивается более интенсивно. Далее она снова плавно возрастает до 12:30. С 13:00 до 13:30 наблюдается некоторый спад активности абонентов, что может соответствовать времени обеденного перерыва.

Затем нагрузка нарастает и указывает на явно выраженный час наибольшей нагрузки (ЧНН), который для

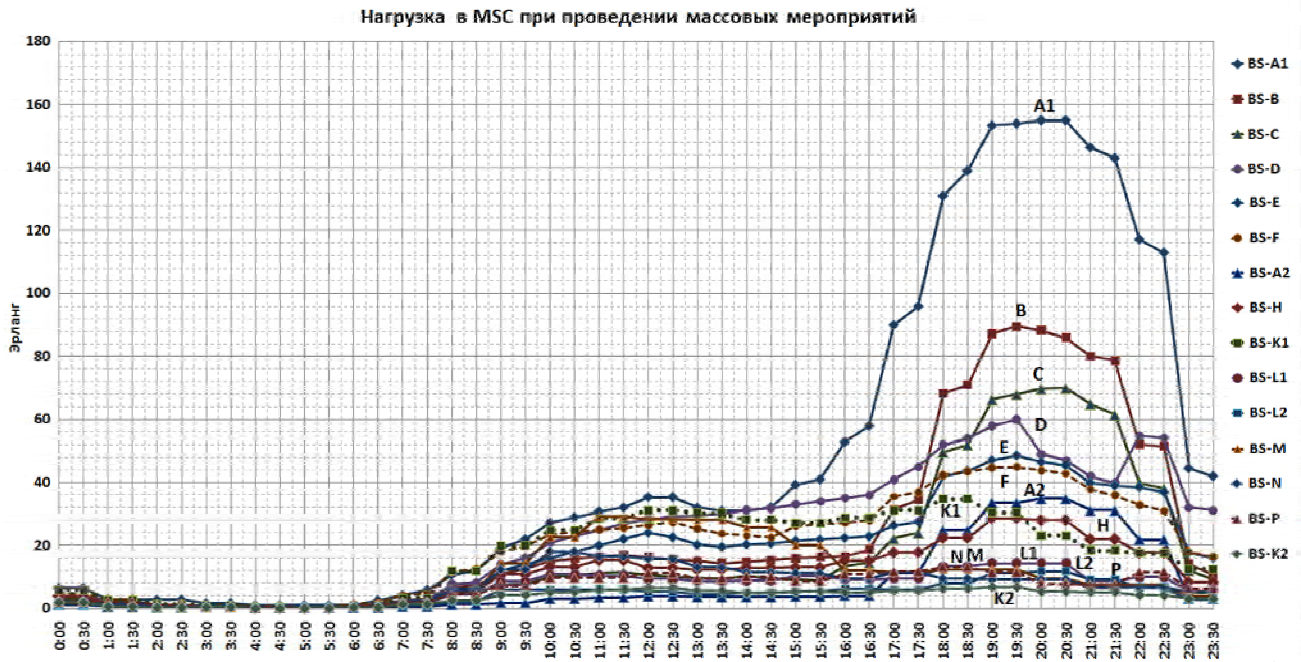


Рис. 2. Распределение нагрузки между BS одного MSC в период проведения массового мероприятия

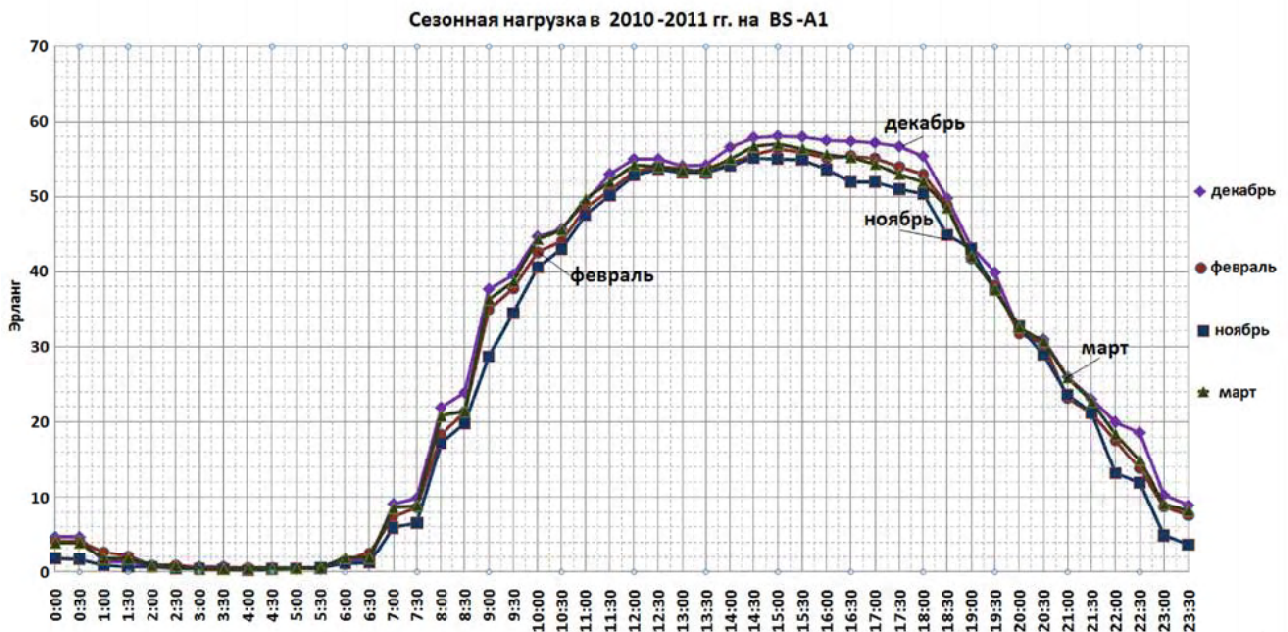


Рис. 3. Суточное распределение ежедневной нагрузки на исследуемой BS по периодам года

всех видов связи приходится на период с 14:30 до 15:30 и его значение достигает величины 56,6 Эрл. (Обобщенные данные распределения нагрузки в ЧНН сведены в табл. 1). В дальнейшем обобщенная нагрузка несколько снижается, а по окончании рабочего дня с 18:00, стабильно убывает.

Анализ результатов исследования нагрузки по направлениям связи показал, что основную загруженность почти в равных долях создают входящие (47,6 % от всей) и исходящие (47,2 %) вызовы. И лишь минимальную часть (1,7 %) от общей нагрузки составляют транзитные для MSC вызовы.

Более детальный анализ суточного распределения ежедневной нагрузки по видам соединений показывает, что нагрузки всех видов связи достаточно равномерно распределены в течение рабочего дня и вечернего времени (рис. 5). Наибольшую долю нагрузки в ЧНН (70 %) образуют соединения, осуществляемые между мобильными терминалами, которые обслуживаются только одним MSC (38,2 %) и несколькими MSC (31,8 %). Так, входящие соединения с MS2 на MS1 в пределах одного MSC (рис. 1, а) в ЧНН с 203 вызовами создают нагрузку в 11,38 Эрл при средней длительности занятия $T = 201,8$ сек., а исходящие с MS1 на MS2 в пределах одного MSC со 191 вызовом создают нагрузку в 11,04 Эрл при средней длительности занятия $T = 208,1$ сек. При этом входящих через несколько MSC соединений на MS1 (рис. 1, б) больше на 1,37 Эрл., чем исходящих от MS1 через ТфОП на MS2. Средняя длительность занятия для перечисленных видов соединений соответствует наличию на территории обслуживаемой BS государственных и деловых организаций, для которых приемлемым можно считать интервал от 120 до 240 секунд [10]⁴.

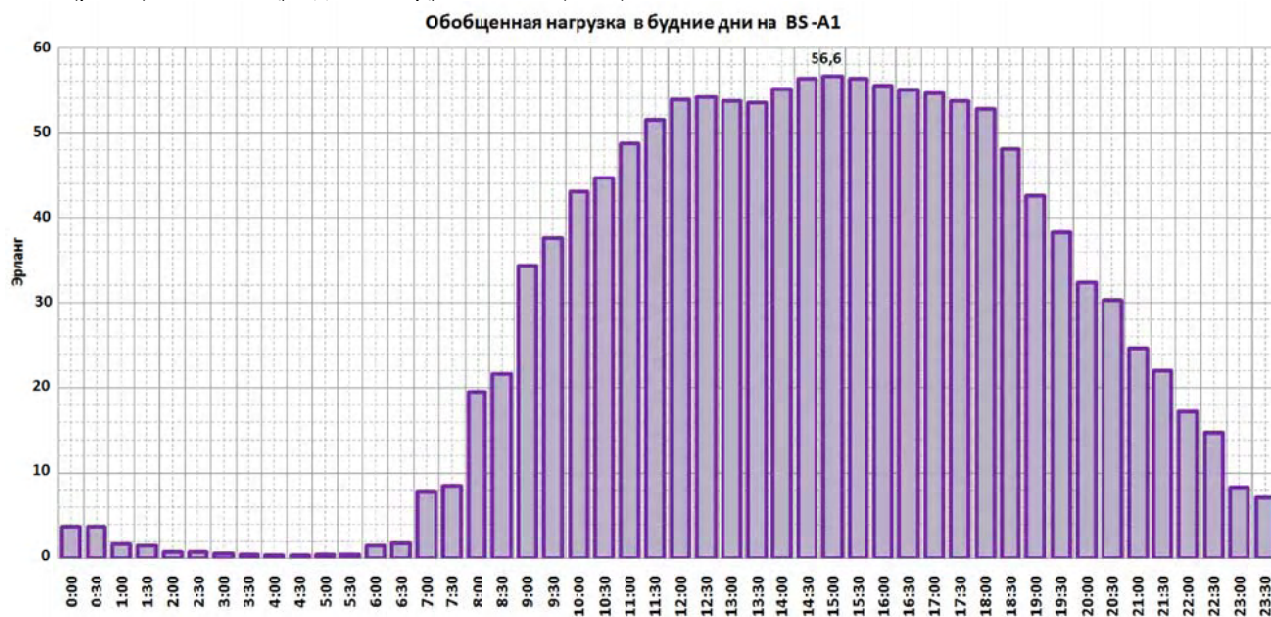


Рис. 4. Обобщенное суточное распределение ежедневной нагрузки BS-A1

Таблица 1. Распределение нагрузки в ЧНН по направлениям и видам связи

Вид нагрузки	исходящая					входящая				транзитная	
	MS1–MS2 один MSC	MS1–MS2 через ТфОП	MS1 на Т1 ТфОП	с MS1 на MS2 переадресация на Т1 ТфОП	хэндовер MS1 на MS2 на другой MSC	MS2–MS1 один MSC	MS2–MS1 через ТфОП	Т1 ТфОП на MS1	хэндовер MS1 на MS2 с другого MSC	с Т1 ТфОП на MS1 переадресация на MS2	Т1 ТфОП на MS1 переадресация Т2 ТфОП
Позиция на рис. 5	а)	б)	в)	г)	д)	е)	ж)	з)	и)	к)	л)
Число вызовов	191	152	59	6	125	203	179	55	112	13	19
Средняя длительность, с	208,1	204,2	100,2	93,6	179	201,8	201	199,64	112,37	108,4	118,7
Нагрузка, Эрл	11,04	8,62	1,64	0,16	6,22	11,38	9,99	3,05	3,48	0,39	0,63
Нагрузка в % к общей	18,8	14,7	2,8	0,3	10,6	19,4	17,0	5,2	6,0	0,7	1,1
Нагрузка по направлениям, Эрл	27,68					27,93				1,02	
Нагрузка по направлениям, в % к общей	47,2					47,6				1,7	

⁴ [10] Приложение А, рисунок А.

Превышение хэндоверных исходящих (рис. 1, *д*) разговоров над входящими (рис. 1, *е*) составляет 1,78 раза. Входящие вызовы с терминала T1 ТфОП на MS1 (рис. 1, *е*) в период ЧНН достигают величины 3,05 Эрл., а к окончанию рабочего дня значительно уменьшается и к 18:30 не превышает 0,91 Эрл., при возросшем до 67 по сравнению с ЧНН количеством вызовов.

Почти 35-ю часть от общей по всем видам связи нагрузки составляют исходящие разговоры с MS1 на терминалы ТфОП (рис. 1, *е*) с показателем 1,64 Эрл. в ЧНН.

Остальные виды соединений не превышают 0,63 Эрл.

Очевидно, что дополнительно требуют отдельных исследований работы BS с перегрузкой, т.к. в эти периоды нагрузка возрастает в 3 раза (достигая во время пика проведения массовых мероприятий 155 Эрл. рис. 2), что имеет очень важное значение для качества обслуживания абонентов.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДОСТОВЕРНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В соответствии с Рекомендациями ITU-T высокая точность измерений нагрузки на сети достигается проведением достаточно частых измерений. Поскольку в данном исследовании измерения производились выборочно, то с целью учета реального колебания нагрузки результаты этих измерений подверглись статистической обработке и при этом оценена степень точности полученных данных. Для этого были определены среднее значение (\bar{x}) или математическое ожидание (M_x) измеряемой случайной величины (x) [11]

$$M_x \cong \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где n – объем выборки.

Также был определен разброс отдельных значений случайной величины относительно среднего значения, оцениваемый величиной среднеквадратического отклонения (δ). Именно по величине δ на основе теоремы Чебышева – Ляпунова можно оценить точность произведенных статистических выборочных наблюдений.

Очевидно, что чем больше проведено измерений, тем ближе к средним значениям основной совокупности, будут располагаться средние значения выборки. Учитывая, что данные измерения были выборочны, то ошибка выборки будет меньше тогда, когда меньшим будет среднеквадратическое отклонение, т. е. в меньшей степени будет колебаться изучаемый параметр.

Так как в данном случае используется среднеквадратическое отклонение не сплошного, а выборочного наблюдения, то приближенно величину средней ошибки выборки можно определить из соотношения [12]:

$$\mu_x \approx \sqrt{\frac{\delta^2}{n}}, \quad (2)$$

где δ – среднеквадратическое отклонение.

В соответствии с теоремой Чебышева-Ляпунова может быть рассчитано значение предельной ошибки выборки (Δ). Эта величина, с определенной долей вероятности, отражает то, что отклонения выборки не превысят заданного значения. Численно определить предельную ошибку выборки можно из соотношения [12]:

$$\Delta_x = z\mu_x = \frac{z\delta}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

здесь z – поправочный коэффициент, который зависит от величины вероятности, с которой гарантируется определенное значение предельной ошибки. Так, например, для вероятности $P(z) = 0,99$ коэффициент $z = 2,6$. С возрастанием z величина вероятности $P(z)$ приближается к единице.

Приведенное соотношение свидетельствует о том, что уменьшение отклонения выборочной средней от основной генеральной средней (т. е. уменьшение предельной ошибки измерений Δ), возможно при уменьшении среднеквадратического отклонения δ либо с увеличением объема произведенной выборки n . Исходя из этого следует: чтобы обеспечить удовлетворительное значение отклонения результатов выборочных измерений от результатов сплошного наблюдения, достаточно меньшего объема выборки n , который уменьшается вместе со среднеквадратическим отклонением. Это стало основой определения предельной ошибки статистических данных.

В результате, для расчета предельной ошибки регистрации статистических данных о нагрузке и количестве вызовов со всех видов и направлений связи с вероятностью $P(z) = 0,99$ оказалась необходимой и достаточной выборка в ЧНН ежедневно четырех 15-ти минутных интервалов в течение 10 рабочих дней, что соответствует 40 замерам. Однако, такой же подход оказывается не приемлемым для расчетов по длительности занятия, т. к. в ЧНН объектом исследования является не средняя длительность занятия на указанных временных интервалах, а каждый отдельный вызов. Поэтому определение предельной ошибки длительности занятия от всех видов вызовов требует большего объема выборки.

Для примера результаты погрешностей расчетов для видов соединений, определяющих основную нагрузку, приведены в табл. 2.

Достоверность полученных результатов подтверждает относительная погрешность расчетов предельной ошибки измерений, которая определена с вероятностью $P(z) = 0,99$ соотношением:

$$\beta = \frac{\Delta_x}{M_x}, \quad (4)$$

и величина которой, ни в одном из направлений и видов связи не превысила 5 % .

Таблиця 2. Результаты расчетов погрешности для определяющих видов соединений в ЧНН

Направление	Вид соединения	Параметр	Среднее значение, M_x	Отклонение, δ	Объем выборки, n	Предельная ошибка, Δ	Относительная ошибка, в %
исходящая	MS1– MS2 один MSC	Нагрузка по 15 мин. интервалам, (Эрл.)	11,04	1,19	40	0,49	4,4%
		Число вызовов по 15 мин. интервалам	47,75	5,47	40	2,25	4,7%
		Длительность занятия, (сек)	208,14	240,88	9900	6,29	3,0%
	MS1–MS2 через ТфОП	Нагрузка по 15 мин. интервалам, Эрл	8,62	1,01	40	0,42	4,8%
		Число вызовов по 15 мин. интервалам	38	4,47	40	1,84	4,8%
		Длительность занятия, сек	204,2	238,88	9900	6,24	3,1%
	хэндоверный MS1 на MS2 на другой MSC	Нагрузка по 15 мин. интервалам, Эрл	6,22	0,7	40	0,29	4,6%
		Число вызовов по 15 мин. интервалам	31,25	3,43	40	1,41	4,5%
		Длительность занятия, сек	179	198,96	9900	5,20	2,9%
входящая	MS2– MS1 один MSC	Нагрузка по 15 мин. интервалам, Эрл	11,38	1,28	40	0,53	4,6%
		Число вызовов по 15 мин. интервалам	50,75	5,49	40	2,26	4,4%
		Длительность занятия, сек	201,8	205,87	9900	5,38	2,7%
	MS2–MS1 через ТфОП	Нагрузка по 15 мин. интервалам, Эрл	9,99	1,16	40	0,48	4,8%
		Число вызовов по 15 мин. интервалам	44,75	5,24	40	2,15	4,8%
		Длительность занятия, сек	201	210,62	9900	5,50	2,7%
	Хэндоверный MS1 на MS2 с другого MSC	Нагрузка по 15 мин. интервалам, Эрл	3,48	0,41	40	0,17	4,8%
		Число вызовов по 15 мин. интервалам	28	3,12	40	1,28	4,6%
		Длительность занятия, сек	112,37	127,88	9900	3,34	3,0%

ВЫВОДЫ

Обработанные результаты измерений, после проверки погрешности и всестороннего анализа позволяют сделать определенные выводы:

1. В отличие от более ранних исследований, в которых по типам направлений входящая нагрузка преобладала над исходящей, нынешняя входящая нагрузка к мобильным абонентам (47,2 %) практически такая же, как и исходящая от них (47,6 %), и эти два типа составляют почти всю нагрузку. Доля транзитной нагрузки в общей сравнительно мала (1,7 %).

2. Развитие и улучшение работы сетей сотовой связи стандарта GSM и изменения в тарифной политике операторов мобильной связи, в районах концентрации государственных учреждений, деловых и культурных центров, привели к увеличению длительности ведения разговоров почти до 3,5÷4 минут. При этом для связи между мобильными абонентами длительность входящих (201÷201,8 секунды) и исходящих (204,2÷208,1 секунды) вызовов почти одинакова.

3. Также отразившаяся на тарифной политике и конкурентная борьба за абонентов, привела к значительно уменьшению количества и длительности разговоров между пользователями мобильной и фиксированной связи. Таким образом, появилась значительная разница в длительности ведения разговора (почти 100 секунд) между исходящими вызовами мобильных абонентов к абонентам фиксированной связи (93,6 секунды при количестве вызовов б) и входящими от абонентов фикси-

рованной связи к абонентам стандарта GSM (199,64 секунды с числом вызовов 55).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Barcely, F.* Idle and Inter-arrival Time Statistics in Public Access Mobile Radio (PAMR) Systems / F. Barcely, S. Bueno // Proc of the IEEE GLOBECOM 97. –Nov. 98. –Pp. 126–130.
2. *Jordan, J.* Statistical Modelling of Channel Occupancy in Trunked PAMR Systems / J. Jordan, F. Barcelo // 15th International Teletraffic Congress (ITC15) V. Ramaswami and P.E. Wirth (Editors), Elsevier Science B. V., June 1997. – Pp. 1169–1178.
3. *Khedher, H.* Traffic Characterization for Mobile Networks / H. Khedher, S. Tabbane, F. Valois // In Vehicular Technology Conference (VTC'2002-Fall 2002), September 2002. – Vancouver, British Columbia, Canada. – Pp. 1485–1489.
4. *Boggia, G.* Modelling of call dropping in well-established cellular networks In EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. [Электронный ресурс] / G. Boggia, P. Camarda, A. D'Alconzo. – Vol. 2007 Article ID 17826, 11 pages, 2007. doi:10.1155/2007/17826 – Режим доступа к журн. <http://www.hindawi.com/journals/wcn/2007/017826/abs/>
5. *Bregni, S.* WLC09-1 : An Empirical Study on Statistical Properties of GSM Telephone Call Arrivals / S. Bregni, R. Cioffi, M. Decina // In Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '06). – San Francisco, Calif, USA, November-December 2006. – Pp. 1–5.
6. *Bregni, S.* An Empirical Study on Time-Correlation of GSM Telephone Traffic / S. Bregni, R. Cioffi, M. Decina // Wireless Communications, IEEE Transactions on. – September 2008. – vol. 7, no. 9. – Pp. 3428–3435.

7. ITU-T : Recommendation No. E.500 (11/98) : Traffic intensity Measurement Principles. – Geneva, 1998. – 16 p.
8. Берлин, А. Н. Цифровые сотовые системы связи / Берлин А. Н. – М. : Эко-Трендз, 2007. – 296 с.
9. Лившиц, Б. С. Теория телеграфика: Учебник для институтов связи / Б. С. Лившиц, А. П. Пшеничников, А. Д. Харкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Связь, 1979. – 224 с.
10. Системы измерения длительности соединений СИДС подсистем коммутации MSC и IN-платформ сотовой подвижной связи стандарта GSM 900/1800. Методика поверки : МИ 2994-2006 ГСИ – Офиц. изд. – М. : ФГУП «ВНИИФТРИ», 2006. – 18 с. – (Нормативный документ Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации).
11. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / Гмурман В. Е. – 9-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.
12. Максимов, Г. З. Телефонная нагрузка местных сетей связи. учеб. пособие / Г. З. Максимов, А. П. Пшеничников. – М. : Связь, 1969. – 152 с.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2011.

Сметанін І. М., Ложковський А. Г., Піза Д. М., Вербанов О. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАФІКУ ДІЛЯНКИ
МЕРЕЖІ GSM ПІД ВПЛИВОМ ЛОКАЛЬНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ

УДК 528.88.042.4

У даній статті обґрунтовується необхідність проведення досліджень параметрів навантаження для ділянок стільникової мережі зв'язку стандарту GSM, які піддаються локальним перевантаженням, наводяться результати проведених статистичних вимірів, і, на основі аналізу отриманих даних, зроблені висновки про відмінність характеру потоку навантаження, який створюється різними видами з'єднань.

Ключові слова: стільникова мережа, година найбільшого навантаження, потік викликів, тривалість розмови, інтенсивність навантаження, число занять, відмова в обслуговуванні, локальне перевантаження.

Smetanin I. N., Lozhkovsky A. G., Pisa D. M., Verbanov O. V.
RESEARCH OF PARAMETERS OF THE TRAFFIC OF A
SECTION OF NETWORK GSM AT INFLUENCE OF LOCAL
OVERLOADS

In given article necessity of carrying out of researches of parameters of loading for sections of a cellular network of communication of standard GSM which are exposed to local overloads is justified, results of the led statistical measurements, and, on the basis of the analysis of data retrieved are resulted, outputs are drawn on difference of character of a flow of the loading created by various types of connections.

Keywords: a cellular network, busy hour, a flow of calls, a conversation time, intensity of loading, number of occupations, a failure in service, a local overload.

Морщавка С. В.¹, Шама Є. О.², Піза Д. М.³

¹Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету

²Аспірант Запорізького національного технічного університету

³Д-р техн. наук, професор Запорізького національного технічного університету

ВПЛИВ ВИДІВ НОРМУВАННЯ НА ЯКІСТЬ РОЗПІЗНАННЯ РОСЛИННИХ ОБ'ЄКТІВ

Розглянуто вплив різних видів нормування на якість розпізнання за результатами дистанційного зондування.

Ключові слова: розпізнавання, хемометрика, нормування, спектральні коефіцієнти яскравості.

ВСТУП

При розпізнанні рослинних об'єктів, необхідно проводити аналіз багатоспектральних потоків даних сукупності спектральних коефіцієнтів яскравості, які описуються деяким масивом чисел [1]. На практиці під час експериментів зручно складати матрицю, в якій стовпці відповідають довжинам хвиль, а рядки вибіркам – значенням спектральних коефіцієнтів яскравості (СКЯ), що отримані з виходу аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) спектрометра [2]. Такий підхід є загально визнаним в хемометриці. Зазвичай значення x в межах однієї строки змінюються від деякого мінімального значення x_{\min} до деякого максимального значення x_{\max} . При переході від однієї вибірки до іншої значення СКЯ можуть значно відрізнятися. Їх абсолютні значення не повинні

впливати на подальшу статистичну обробку цих даних. Оскільки інформація про СКЯ міститься не в абсолютних значеннях відбивних характеристик на певних довжинах хвиль, а в його зміні щодо довжини хвилі, то можна провести нормування одержаних в результаті експериментів характеристик, які в подальшому будуть використовуватись для розпізнання об'єктів [3]. Слід зазначити, що значна кількість методів розпізнавання, в особливості параметричних, є самонормуючими, тобто нечутливи до масштабу, оскільки для обчислень використовується обернена коваріаційна матриця та виконується центрування. Однак, і у цьому випадку, при практичній реалізації, нормування також може позитивно вплинути на якість розпізнавання за рахунок усунення помилок при обчисленнях у процесорах з фіксованою розрядністю.

Приведення до єдиного масштабу забезпечується нормуванням кожної змінної на діапазон розкиду її значень. Для цього функція перетворення $y=f(x)$ повинна мати наступні властивості:

$$y(x_{\min})=K_{\min}; y(x_{\max})=K_{\max}; dy/dx>0. \quad (1)$$

Будь-яка функція з такими властивостями може бути використана для нормування. Наприклад, якщо $x_{\max} \rightarrow \infty$, то можна обрати функцію:

$$y(x) = 1 - \exp\left(1 - \frac{x}{x_{\min}}\right). \quad (2)$$

Тобто, за рахунок вибору відповідної функції можна врахувати різноманітні ефекти спотворення оцінок. Наприклад, схильність набору даних до крайніх оцінок. При цьому, можливо, слід застосовувати для різних наборів даних і різні функції перетворення, що враховують особливості їх поведінки, статусу і тому подібне. Зразкові графіки таких функцій наведені на рис. 1.

Приведення до єдиного масштабу забезпечується нормуванням кожної змінної на діапазон розкиду її значень. У простому варіанті це – лінійне перетворення:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}}, \quad (3)$$

де \tilde{x}_i, x_i – нормований та вимірний спектральні коефіцієнти яскравості на довжині хвилі λ_i , відповідно; $x_{i,\max}, x_{i,\min}$ – максимальний та мінімальний вимірні спектральні коефіцієнти яскравості, відповідно.

Слід зауважити, що лінійне нормування оптимальне, коли значення змінної щільно заповнюють певний інтервал. Але подібний «прямолінійний» підхід можна застосовувати далеко не завжди. Так, якщо при розпізнанні рослинних об'єктів в даних є відносно рідкісні викиди, що перевищують типовий розкид, то саме ці викиди визначають, згідно з попередньою формулою (3), масштаб нормування. Це приведе до того, що основна маса значень нормованої змінної зосередиться поблизу нуля

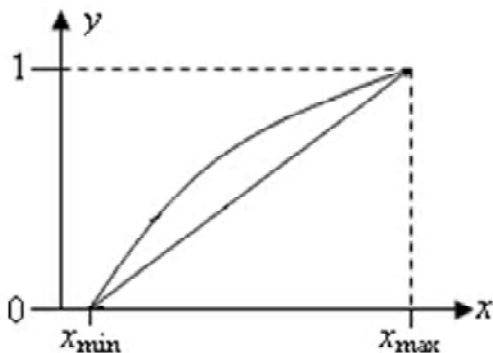


Рис. 1. Графіки функцій нормування

$|\tilde{x}_i| \ll 1$, або, навпаки, поблизу одиниці (крива «ранжована» на рис. 2 має мало значень в середині діапазону). На рис. 2 під назвою «вибірка» наведена для прикладу одна вибірка реальних даних – СКЯ амброзії у логарифмічному масштабі, у відносних одиницях виходу 12 розрядного АЦП спектрометру, в залежності від умовної довжини хвилі – i , що відповідає λ_i . Для рангової статистики цієї вибірки (крива «ранжована») на рис. 2 позначені пунктиром межі $P_0, P_5, P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{50}, P_{70}, P_{80}, P_{90}, P_{100}$, що є процентилями відповідного рівня.

Ще одним фактором є обмеження, що виникають при цифруванні СКЯ за рахунок обмеження розрядної сітки АЦП, що ілюструє крива «вибірка» на рис. 2 в діапазоні від 7 до 16 умовної довжини хвилі.

Для усунення впливу обмежень можна використовувати не діапазон від мінімального значення до максимального, а від $N-i$ до $1-N$ процентилі. При цьому N може мати значення від 0 до 0,5 (0,5 відповідає 50-й процентилю, або медіані). Узагальнення формули (3) матиме вигляд:

$$\tilde{x}_i = (1 - 2 \cdot N) \frac{x_i - x_{P_N}}{x_{P_{(1-N)}} - x_{P_N}} + N, \quad (4)$$

де x_{P_N} – значення N -процентилі.

Іноді при нормуванні набагато надійніше орієнтуватися не на екстремальні значення, а на статистичні характеристики даних, такі як середнє значення \bar{x}_i і дисперсія σ_i :

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}. \quad (5)$$

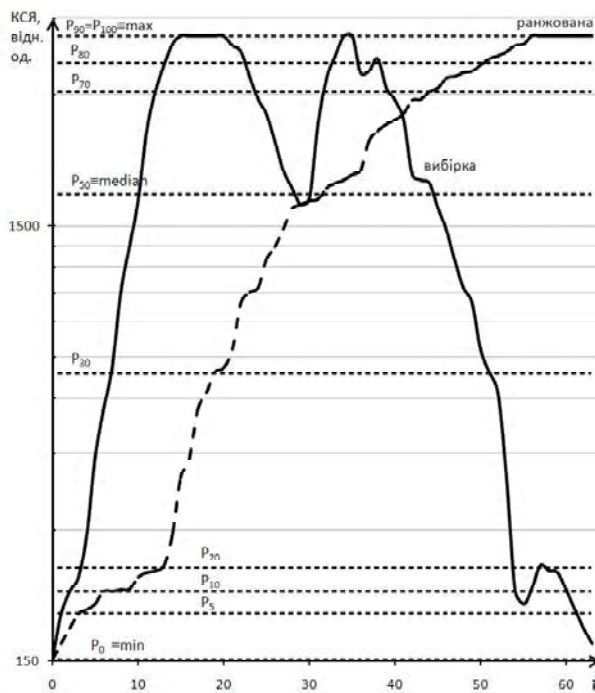


Рис. 2. Використання рангових статистик для нормування

В цьому випадку основна маса даних матиме одиничний масштаб, тобто типові значення усіх змінних будуть порівняними. Перетворення (5) в хемометриці має назву автошкалування.

Іноді для обмеження діапазону можливих значень вхідних даних використовуються нелінійні гладкі функції, наприклад, – логістичну

$$f(\tilde{x}_i) = (1 + e^{-\tilde{x}_i})^{-1}. \quad (6)$$

Однак до «такого кроку слід вдаватися з обережністю оскільки таке перетворення змінює структуру даних. А у випадку розпізнавання за СКЯ у цьому не має потреби, оскільки максимальні значення вхідних даних і так обмежені розрядністю АЦП спектрометра.

Для порівняння впливу видів нормування на якість розпізнавання рослинних об'єктів, порівнюємо ті види нормування, де масив даних нормується за допомогою лінійного перетворення (4) і за допомогою автошкалування (5).

УМОВИ І ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експериментальні дослідження проводилися в два етапи:

- польові дослідження спектрів відбиття від рослин;
- обробка результатів досліджень спектрів.

Польові дослідження проводилися на тестовому полігоні Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук, який розташований біля м. Запоріжжя. З отриманих експериментальних даних було відібрано 1000 наборів з 2048 спектральними точками. Критерієм відбору була можливість візуального визначення виду рослин по зображеннях і формі спектральної кривої (відсутність обмежень і надмірної зашумленості). Кількість вибірок різних видів рослин, що були відібрані для подальшого дослідження, та їх назви наведені в табл. 1.

За допомогою пристрою для дослідження спектрів рослин вимірювалися відносні спектральні характеристики в автоматичному режимі з періодом 1 с зі збереженням як поточної спектрограми, так і додаткової інформації (місце розташування і зовнішній вигляд рослини). Характеристики рослин в рядку знімалися послідовно, об'єктів приймача (спектрометричного блоку) переміщався уздовж рядка плавно, без ривків і зупи-

нок. Пристрій для дослідження спектрів складався з: спектрометра Red Tide 650 з волоконно-оптичним кабелем P200-2-UV-VIS і лінзою 74-VIS (фірма Ocean Optics); програмні компоненти, що входять в базовий комплект програмного забезпечення спектрометра: SpectraSuite і OOL_base32; Web-камера Genius VideoCamEye для реєстрації зображення рослин; датчик місцеположення BT-Q920 фірми QSatarz.

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Після усереднення 2048 СКЯ, що забезпечуються спектрометром за один замір, до 64, були здобуті 3 масиви чисел: 587×64 – матриця коефіцієнтів відбиття для соняшника, 189×64 – матриця коефіцієнтів відбиття для мишію і 224×64 – матриця коефіцієнтів відбиття для амброзії. Наступним кроком було нормування – кожна з трьох матриць піддавалася нормуванню по лінійному закону нормування згідно формули (4) з різними значеннями N і автошкалування згідно (5).

Для перевірки якості розпізнавання рослинних об'єктів за експериментальними даними був використаний блок дискримінаційного аналізу General Discriminant Analysis (GDA) програми Statistica 8.0 компанії StatSoft Inc. Він дозволяє ефективно здійснювати статистичний аналіз і обробку експериментальних даних, зокрема визначити статистичні характеристики вибіркового сукупностей, підгонку розподілів, здійснювати варіаційний, регресійний і дискримінаційний аналіз, будувати гістограми і графіки різної складності. Проведення дискримінаційного аналізу потрібне для того, щоб визначити можливість класифікації рослинних об'єктів за спектральними характеристикам, а також оцінити якість розпізнавання [4]. На даному етапі, для цього аналізу, вибір кількості ознак не брався до уваги, тому, що головною метою було порівняти вплив різних видів нормування на якість розпізнавання при однакових умовах, а не як збільшити якість розпізнавання за рахунок відбору найбільш інформативних ознак.

Були отримані наступні результати. Табл. 2 демонструє показники розпізнавання без проведення нормування взагалі. Табл. 3 дозволяє виявити залежність якості розпізнавання від номеру використаної для нормування процентилю.

Залежність вірогідності вірної класифікації від рівнів (процентилів), що використовуються для нормування, проілюстровано на рис. 3. Для порівняння на рис. 3 наведені вірогідності для випадків використання автошкалування та розпізнавання без попереднього нормування у вигляді горизонтальних ліній. Згідно з цим рисунком нормування може як покращити якість подальшого розпізнавання, так і погіршити її, але в незначних межах.

Однією з умов застосування методів дискримінаційного аналізу є нормальність розподілу вибірок. Методика перевірки на нормальність розподілу описана в міжнародному стандарті ISO 5479-97 [5]. Дозволяється деяке відхилення від нормального розподілу, при якому досить успішно класифікуються вибірки. В цілому вибірки відповідали нормальному розподілу.

Таблиця 1. Видовий склад досліджуваних рослин

Вид рослини	Латинська назва	Клас	Кількість вибірок
соняшник	<i>Helianthus annuus</i>	1	587
амброзія	<i>Ambrósia artemisiifólia</i>	2	224
мишію	<i>Setaria viridis</i>	3	189
всього			1000

Таблиця 2. Класифікаційна матриця без нормування

		Результати класифікації для кожного класу			
		1(соняшник)	2(амброзія)	3(мишій)	Всього
Апріорні дані про клас	1(соняшник)	557	26	4	587
	2(амброзія)	53	155	16	224
	3(мишій)	36	9	144	189
	Всього	646	190	164	1000
Вірогідність вірної класифікації		94,89 %	69,20 %	76,19 %	85,6 %

Таблиця 3. Класифікаційна матриця при використанні різних видів лінійного нормування

Рівні для нормування	N	0(min)	0,03	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	автошквал.	без норм.
	1-N	1(max)	0,97	0,95	0,93	0,9	0,8	0,7		
Кількість вірно класифікованих вибірок різних класів	2(сон.)	156	156	156	156	154	152	155	154	155
	3 кл.	136	135	147	143	142	143	142	135	144
	1 кл.	556	555	558	560	558	556	554	559	557
Вірогідність вірної класифікації для всіх класів, %		84,8	84,6	86,1	85,9	85,4	85,1	85,1	84,8	85,6

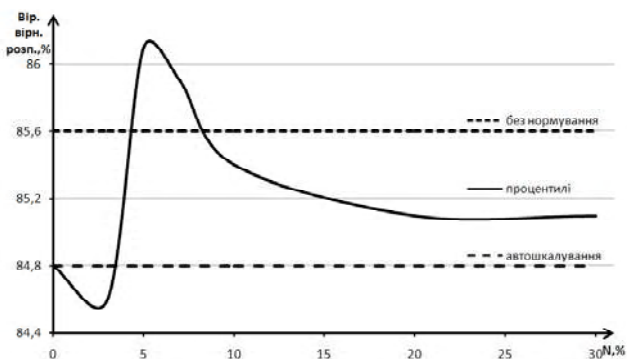


Рис. 3. Залежність вірогідності вірного розпізнавання від рівнів для нормування

ВИСНОВКИ

Перевірка впливу різних видів нормування на якість розпізнавання рослинних об'єктів за результатами дистанційного зондування виявила, що види нормування не значно, але впливають на кінцеву якість розпізнавання. Обробка експериментальних результатів за допомогою дискримінаційного аналізу показала, що для розпізнавання рослин найкраще використовувати лінійне нормування зі значеннями 5 та 95 процентилі замість мінімальних та максимальних, відповідно. При цьому виграш відносно розпізнавання без нормування склав 0,5 %, а відносно автошкалування 1,3 %. Виграш – незначний, але при вірогідностях вірного розпізнавання близько 90 % кожен додатковий відсоток має значення та досягається значним ускладненням процедури розпізнавання. Крім того, як вже зауважувалося вище, використання розпізнавання без нормування не завжди можливе на практиці. Отримані результати слід віднести до випадків, практичне значення яких не слід узагальнювати без перевірки. На користь цього говорить те, що найбільший вплив нормування створює на розпізнавання лише одного класу – третього, що відповідає мишій – бур'яну з невеликою площею листя, і тому меншим інтегральним коефіцієнтом відбиття. Але результати цієї статті показують, що при вирішенні задач розпізнавання образів

при необхідності нормування початкових даних, слід враховувати їх вплив та обирати їх оптимальні види для досягнення якісного розпізнавання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пиза, Д. М. Выбор эффективного метода распознавания растений по коэффициентам спектральной яркости / Д. М. Пиза, С. В. Морщавка, Ю. В. Скоробогатов// Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 1999. – № 1. – С.85–88.
2. Дистанционное зондирование: количественный подход / [Ш. М. Дейвис, Д. А. Ландгребе, Т. Л. Филлипс и др.]; под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис. Пер. с англ. М. : Недра. – 1983. – С. 415. (Пер. изд. США, 1978, 396 с.)
3. Морщавка, С. В. Информационные технологии обработки пропашных культур. Радиометрические аспекты / С. В. Морщавка, Д. М. Пиза, Е. А. Белоусов // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2008. – №2. – С. 45–52.
4. Боровиков, В. П. Популярное введение в программу STATISTICA/ В. П. Боровиков. – М. : Компьютер Пресс, 1998. – 238 с.
5. Статистическое представление данных. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения (ISO 5479-97): ГОСТ Р ИСО 5479-2002. – [Действителен с 2002-01-22] – М. : Госстандарт России, 2002. – 27 с. – (Технический комитет по стандартизации ТК125)

Стаття надійшла до редакції 11.05.2011.

Морщавка С. В., Шама Е. А., Пиза Д. М.

ВЛИЯНИЕ ВИДОВ НОРМИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО РАСПОЗНАВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрено влияние разных видов нормирования выборок на качество распознавания по результатам дистанционно-го зондирования.

Ключевые слова: распознавание, хемометрика, нормирование, спектральные коэффициенты яркости.

Morshchavka S. V., Shama E. O., Piza D. M.

EFFECT OF NORMALIZATION ON THE QUALITY OF RECOGNITION OF PLANT OBJECTS

Influence of different types of samples norm is considered on quality of recognition on results of the remote sensing.

Key words: recognition, xemometrics, normalization, the spectral brightness coefficients.

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING

УДК 681.5.015

Агибалов А. П.¹, Поляков М. А.²¹Магистрант Запорожского национального технического университета²Канд. техн. наук, доцент Запорожского национального технического университета

ТРАНСЛЯТОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА ИЗ СРЕДЫ MATLAB В ПРИЛОЖЕНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА

Предложена технология и средства автоматического переноса параметров модели конечного автомата из приложения Matlab в приложение человеко-машинного интерфейса. Рассмотрен пример применения технологии к модели электрического аппарата.

Ключевые слова: stateflow, конечный автомат, DDE-диалог, человеко-машинный интерфейс, тег.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время приложения, созданные с помощью программных средств человеко-машинного интерфейса (HMI, англ. – Human Machine Interface), являются неотъемлемой частью SCADA-систем и контроллерных систем управления техническими объектами и процессами [1, 2]. В среде этих приложений выполняется часть логики пользователя, которая формализуется с помощью конечных автоматов [3, 4].

В ряде случаев, в процессе проектирования этих автоматов, прибегают к их моделированию в среде универсальных пакетов моделирования, например приложения Simulink пакета MATLAB [5]. Библиотека Stateflow этого пакета позволяет графически интерпретировать конечный автомат проектируемой системы управления как событийно-управляемую модель.

В существующей технологии проектирования операция переноса результатов моделирования логики управления пользователя в приложение HMI выполняется вручную, является трудоемкой, требующей высокой квалификации исполнителя.

Целью данной работы является сокращение трудоемкости проектирования приложений HMI путем созда-

ния технологии и средств автоматического переноса параметров модели конечного автомата из приложения Matlab в приложение HMI.

ТЕХНОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ПЕРЕНОСА

Предлагаемая технология автоматического переноса параметров модели включает анализ файла модели Simulink и создание матричных эквивалентов элементов модели; инициацию DDE-диалога между приложениями Matlab и HMI; перенос созданных матричных эквивалентов в приложение HMI. Для реализации этой технологии созданы скрипты и функции Matlab, а также VBA-модули, встроенные в проект приложения HMI. Совокупность разработанных средств будем называть транслятором параметров модели конечного автомата из среды MATLAB в приложение человеко-машинного интерфейса, далее – транслятор. Транслятор предназначен для приложений HMI, созданных с помощью программного пакета RSVIEW32 компании Rockwell Automation (США) [2], но предлагаемая технология трансляции может быть использована при разработке трансляторов в другие пакеты HMI.

Программная структура транслятора представлена на рис. 1. Ядро транслятора – скрипт *analysis.m*. В процес-

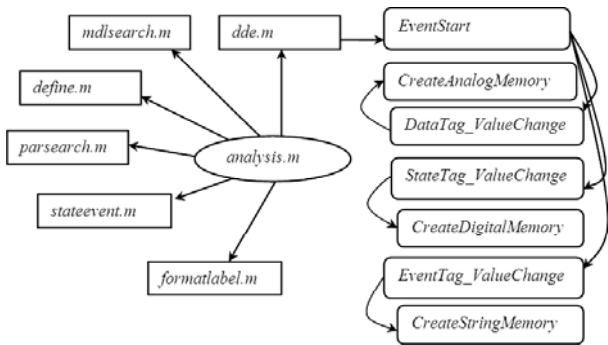


Рис. 1. Программная структура транслятора

се его выполнения вводится имя анализируемой Simulink-модели и имя проекта RSVIEW32, выбранного для генерации параметров модели, вызываются функции и скрипты для осуществления процесса трансляции.

Скрипт *mdlsearch.m* предназначен для поиска координат описания элементов модели. Скрипт *define.m* создан для формирования массивов элементов модели. Скрипт *parsearch.m* служит для поиска вышеназванных параметров в сформированных массивах. Скрипт *stateevent.m* создан для анализа меток состояний. Скрипт *formatlabel.m* отвечает за форматирование анализируемых данных для использования в SCADA-проекте. Скрипт *dde.m* инициализирует DDE-диалог с программой RSVIEW32 и посылает данные в проект; при этом VBA-модуль *EventStart* осуществляет процесс генерации тегов проекта при помощи пар модулей *DataTag_ValueChange*, *CreateAnalogMemory* и *StateTag_ValueChange*, *CreateDigitalMemory*. Скрипт *ddeexcel.m* служит для переноса результатов анализа в таблицу MS Excel для наглядного отображения структуры всей модели Simulink.

В результате работы программы создается база данных тегов SCADA-проекта, наиболее точно отвечающая параметрам элементов Simulink-модели.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСЛЯТОРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МОДЕЛИ

Рассмотрим использование транслятора на примере моделирования повторно-кратковременного режима работы электрического аппарата, при котором температура его частей за время нагрузки не достигает установленного значения, а за время паузы не достигает температуры холодного состояния [6].

Ставится задача трансляции модели электрического аппарата из приложения моделирования в приложение мониторинга RSVIEW32.

Simulink-модель электрического аппарата изображена на рис. 2. Параметрами модели являются время нагрузки tw и паузы tp , постоянные времени нагрева и охлаждения tay и $tay1$ соответственно, температура окружающей среды T и граничная температура нагрева аппарата T_1 . В примере приняты следующие значения констант: $tw = 1$ с, $tp = 2$ с, $tay = 7$ с, $tay1 = 15$ с, $T = 20$ град., $T_1 = 120$ град. Наблюдаемыми величинами являются мгновенная температура нагрева аппарата Th и режим его работы $mode$.

Блок Stateflow Chart реализует функцию конечного автомата. Диаграмма его состояний и переходов изображена на рис. 3.

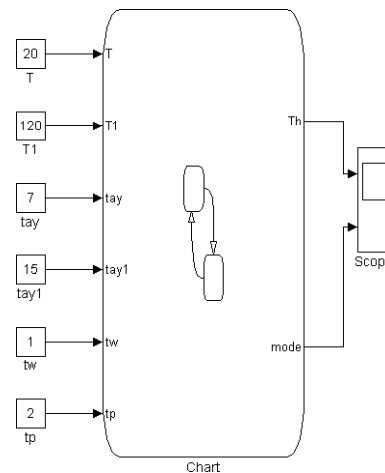


Рис. 2. Simulink-модель электрического аппарата

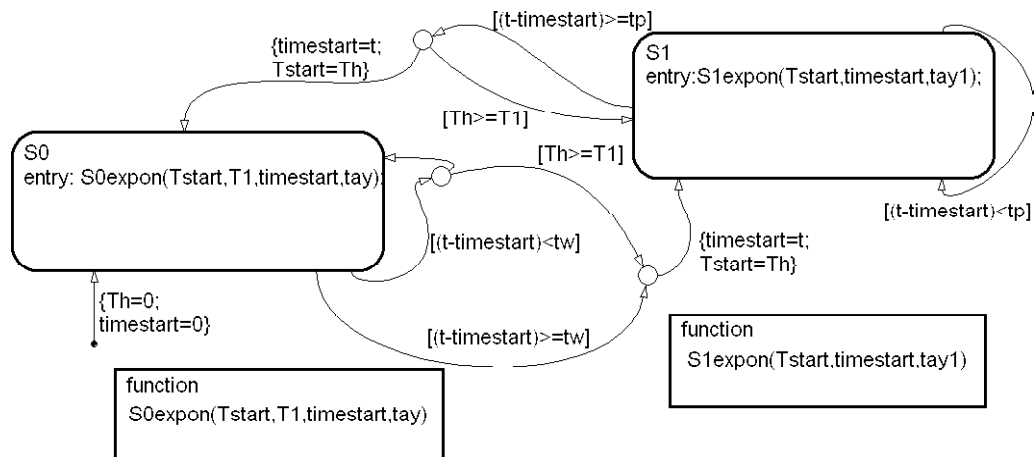


Рис. 3. Диаграмма состояний автомата и переходов блока Stateflow Chart

Автомат находится в одном из двух состояний: *S0* (под нагрузкой) и *S1* (без нагрузки). Каждое состояние характеризуется действием при входе в него (*entry:*), а именно – изменением температуры частей аппарата в зависимости от времени симуляции.

Действие при входе описывается графическими функциями *S0expon* и *S1expon*. Входными переменными функций являются константы модели.

Состояния модели связаны системой переходов, описываемых условиями и действиями, а также соединительных узлов для упрощения диаграммы Stateflow (рис. 3). В процессе симулирования температура аппарата образует экспоненциально нарастающий и спадающий процесс.

Результатами работы транслятора являются:

- 1) матричные эквиваленты элементов модели в рабочей области Matlab (рис. 4);
- 2) база данных тегов в НМИ-проекте (рис. 5);
- 3) таблица на листе Excel с параметрами модели автомата (рис. 6).

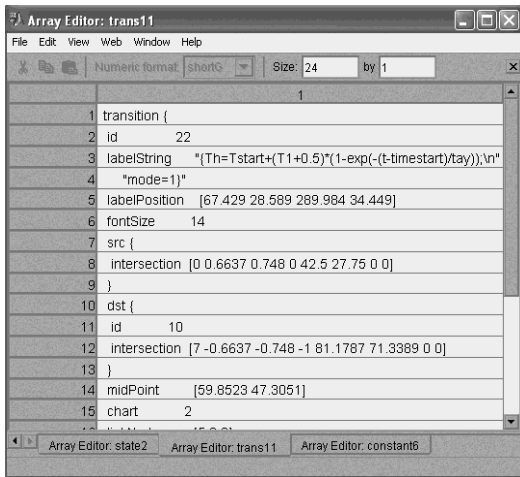


Рис. 4. Массив, отвечающий переходу диаграммы

?	Tag Name	Value	State	Description
1	Y transition1	[(t-timestart)<tw]	valid	Event description
2	Y transition2	{timestart=t;Tstart=Th}	valid	Event description
3	Y transition3	{timestart=t;Tstart=Th}	valid	Event description
4	Y transition4	[(t-timestart)<tp]	valid	Event description
5	Y transition5	{Th=0;timestart=0}	valid	Event description
6	Y tay	7	valid	Input data
7	Y tay1	15	valid	Input data
8	Y T1	21	valid	Input data
9	Y T	20	valid	Input data
10	Y S0	On	valid	State tag

Рис. 5. Монитор тегов RSView32

	A	B	C	D	E	F	G
1		State					
2	label	S0	S1	S0expon_	S1expon_	Tstart	timestart.tay1_
3	id	3	4	5	6		
4	entry:	S0expon(Tstar	S1expon(Tstart	timestart.tay1)			
5	during						
6	exit:						
7	on_event:						
8							
9					Transition		
10	id	12	13	14	15	16	17
11	Condition	_t-timestart	<tw		_t-timestart	<tp	_t-timestart
12	Action	timestart=t;	Tstart=Th	Tstart=Th	Th=0	timestart=0	
13	Source	3	8	7	4	SIMULINK	3
14	Destination	9	4	3	4	3	8

Рис. 6. Отчет по трансляции на листе Excel

ВЫВОДЫ

Для создания НМИ-проектов с клиент-серверной или распределенной архитектурой используются SCADA-системы. Логика пользователя приложений НМИ формализуется в виде конечного автомата и может быть смоделирована в программе Simulink пакета Matlab. Основными элементами модели являются входные и выходные параметры, состояния автомата и переходы между ними.

Разработанный транслятор параметров модели является комплексом программ, выполняемых в среде Matlab и VBA-надстройке RSView32. Трансляция основана на механизме DDE. Трансляции подвергаются:

- 1) параметры состояний: название, id-номер, действия при входе, выходе, во время активности состояния и при совершении установленного события;
- 2) параметры переходов: id-номер, условие совершения, параллельное действие, начальная и конечная точка;
- 3) входные и выходные данные: id-номер, имя переменной, тип данных, тип переменной, величина.

Автоматическое отображение результатов анализа модели на листе Excel упрощает восприятие сложных систем. Разработанный инструмент удачно прошел тестирование на демо-примерах приложения Simulink, в частности, на модели нагревателя, инфракрасной системы наведения ракеты, системы подачи топлива в автомобиле. В то же время предложенная технология имеет ограниченную функциональность, поскольку не генерирует автоматически события проекта RSView32, не создает дисплей и сигналы тревоги для мониторинга контролируемых величин, и потому имеет перспективу улучшения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Олсон, Г.* Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олсон, Д. Пиани. – С. Пб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.: ил.
2. RSView32: руководство пользователя [Электронный ресурс] / Rockwell Software Inc. – Электрон. дан. – М., [2000]. — Режим доступа: www.eskovostok.ru/_docs/9399-2se32ug-ru.pdf, вільний. – Загл. с экрана.
3. *Поляков, М. А.* Теоретико-множественная модель интегрированной контроллерной системы управления / М. А. Поляков // Системні технології. – 2009. – № 4. – С. 131–137.
4. *Поляков, М. А.* Логическое управление объектами электрических систем в среде приложения человеко-машинного интерфейса / М. А. Поляков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. – № 9(158). – С. 197–201.
5. *Дэбни, Д.* Simulink 4. Секреты мастерства / Д. Дэбни, Т. Харман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 404 с.
6. *Электрические и электронные аппараты: учебник для вузов / под ред. Ю. К. Розанова.* – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Информэлектро, 2001. – 420 с.: ил.

Статья надійшла до редакції 16.12.2010.
Після доробки 01.02.2011.

Агібалов О. П., Поляков М. О.

ТРАНСЛЯТОР ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ КІНЦЕВОГО АВТОМАТА ІЗ СЕРЕДОВИЩА MATLAB У ДОДАТОК ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ

Запропоновано технологію та засоби автоматичного переносу параметрів моделі кінцевого автомату з додатку Matlab до додатку людино-машинного інтерфейсу. Розглянуто приклад застосування технології до моделі електричного апарата.

Ключові слова: stateflow, кінцевий автомат, DDE-діалог, людино-машинний інтерфейс, тег.

Agibalov A. P., Polyakov M. A.

TRANSLATOR OF FINITE STATE MACHINE MODEL PARAMETERS FROM MATLAB ENVIRONMENT INTO HUMAN-MACHINE INTERFACE APPLICATION

Technology and means for automatic translation of FSM model parameters from Matlab application to human-machine interface application is proposed. The example of technology application to the electric apparatus model is described.

Key words: stateflow, finite-state machine, DDE-dialog, human-machine interface, tag.

УДК 004.056.53:004.75

Андрющенко Д. М.¹, Варава М. Ю.², Неласа Г. В.³¹Молодий науковий співробітник Запорізького національного технічного університету²Провідний спеціаліст з інформаційних технологій КБ Приватбанк³Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університетуРОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ρ - і λ -МЕТОДІВ ПОЛЛАРДА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФМУВАННЯ

Проведено аналіз ефективності розпаралелювання ρ - і λ -методів Полларда при вирішенні задачі дискретного логарифмування. Наводиться теоретична оцінка часу виконання завдання на паралельній системі. Проведено порівняння результатів практичних і теоретичних розрахунків. Зроблені заміри часу виконання розпаралелених методів.

Ключові слова: методи Полларда, дискретний логарифм, розпаралелювання, складність криптоалгоритма, оцінка складності.

ВСТУП

При створенні систем захисту інформації широко застосовуються асиметричні алгоритми. Надійність таких систем основана на трудомісткості виконання одного з наступних типів зворотних перетворень: розкладання великих чисел на прості множники; обчислення дискретного логарифму; обчислення коренів алгебраїчних рівнянь [1, 2]. Однак розвиток методів прискорених обчислень, в тому числі застосування багатопроцесорних систем паралельних рішень, викликає небезпеку зниження ступеню захисту криптосистем. Тому для оцінки надійності систем захисту та їх вдосконалення необхідно дослідження методів паралельних рішень для проведення названих перетворень.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Одними з найбільш розповсюджених асиметричних криптосистем є ті, що створені на базі еліптичних кривих $y^2 = x^3 + ax + b \pmod{p}$ над простим полем $GF(p)$. Якщо P є базовою точкою адитивної групи точок еліптичної кривої простого порядку n , точка Q належить заданій групі точок еліптичної кривої, то злом криптографічної системи полягає у розв'язанні рівняння $m \cdot P = Q$ відносно m , де $1 < m < n - 1$ (адитивний аналог задачі дискретного логарифмування).

Надійність систем захисту інформації, злом яких оснований на розв'язанні задачі дискретного логарифму-

вання залежить від величини n . Однак, збільшення n , окрім підвищення надійності, призводить до збільшення часу роботи криптографічних алгоритмів. Тому для побудови ефективних алгоритмів необхідний компромісний варіант, що забезпечує достатню надійність захисту при прийнятному рівні модуля n з точки зору швидкості роботи алгоритму. Поява нових методів прискорення обчислень дискретного логарифму, одним з яких є розпаралелювання, викликає необхідність збільшення параметру n . Тому оцінка ступеня надійності криптографічних систем, дослідження можливості їх злomu шляхом розпаралелювання процесу розв'язання задачі дискретного логарифмування є актуальною проблемою.

Відомі різні алгоритми послідовного вирішення цього завдання, в тому числі: великих-малих кроків, Поліга-Хеллмана, ρ -Полларда, λ -Полларда, Адлемана, index-calculus [1–3]. Більшість з них піддаються розпаралелюванню. У даній роботі для перевірки працездатності системи та оцінки ефективності даного підходу були розглянуті ρ -метод і λ -метод Полларда [2].

Метод ρ -Полларда. Ідея методу полягає в побудові послідовності точок Z_i еліптичної кривої

$$Z_i = A_i P + B_i Q, \quad (1)$$

де $1 < A_i, B_i < n - 1$,

область можна розбити на необхідне число підобластей, що дозволяє розпаралелювати задачу на необхідну кількість незалежних процесів. Результати роботи кожного із процесів у вигляді трійок чисел $\langle Z_i, c_i, d_i \rangle$ заносяться в загальну базу даних. Центральний процесор здійснює паралельний пошук значень $Z_i = Z_j, i \neq j$, і після цього можливе обчислення значення m .

Ілюстрацію розпаралелених ρ -і λ -методів Полларда наведено на рис. 3 та рис. 4.

Однією з головних характеристик паралельних систем є прискорення R паралельної системи, що визначається формулою: $R = T_1 / T_r$, де T_1 – час розв’язання задачі на однопроцесорній системі, а T_r – час розв’язання тієї ж задачі на r - процесорній системі. Нехай $W = W_{ск} + W_{пп}$, де W – загальне число операцій, $W_{пп}$ – число операцій, які можна виконувати паралельно, а $W_{ск}$ – число скалярних (нерозпаралелених) операцій. Позначимо також через t час виконання однієї операції. Тоді одержуємо оцінку для прискорення R

$$R = \frac{W \cdot t}{(W_{ск} + \frac{W_{пп}}{r}) \cdot t} = \frac{1}{a + \frac{1-a}{r}} \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \frac{1}{a}, \quad (11)$$

де $a = W_{ск} / W$.

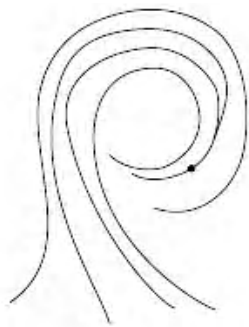


Рис. 3. Розпаралелений ρ -метод Полларда

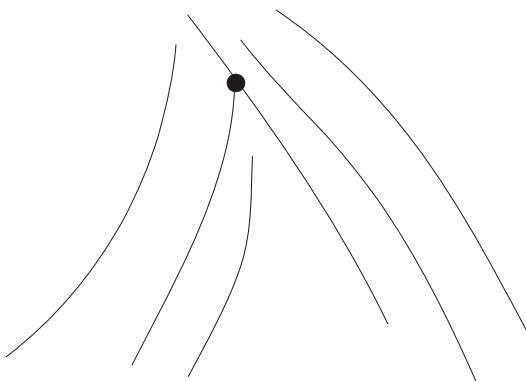


Рис. 4. Розпаралелений λ -метод Полларда

Таким чином, якщо 9/10 програми виконується паралельно, а 1/10 як і раніше послідовно, то більшого, ніж в 10 разів, прискорення одержати в принципі неможливо без втрат якості реалізації паралельної частини коду й кількості використаних процесів. Очевидно, що 10-кратне прискорення досягається тільки в тому випадку, коли час виконання паралельної частини дорівнює нулю.

Розпаралелювання ρ -і λ -методів Полларда дозволить проводити криптоаналіз протоколів не за рахунок підвищення продуктивності окремого комп’ютера, а завдяки масовому використанню паралельно підключених комп’ютерів у мережі.

Складність методу ρ -Полларда оцінюється як [4]:

$$I_\rho = \sqrt{\frac{\pi n}{4}}. \quad (12)$$

Однією з переваг ρ -методу Полларда є те, що він допускає розпаралелювання на r незалежних процесів. У цьому випадку складність реалізації кожного із процесів можна оцінити як:

$$I_{\rho_1} = \frac{\sqrt{\frac{\pi n}{4}}}{r} = \sqrt{\frac{\pi n}{4r^2}}. \quad (13)$$

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

На рис. 5 зображена залежність часу криптоаналізу L від порядку криптосистеми n й числа розпаралелених процесів r для ρ -методу Полларда. Як видно із графіка, використання паралельного виконання алгоритму, криптоаналіз має сенс, коли число процесів не більше 17–19.

Складність методу λ -Полларда оцінюється як [4]

$$I_\lambda = 2\sqrt{n}, \quad (14)$$

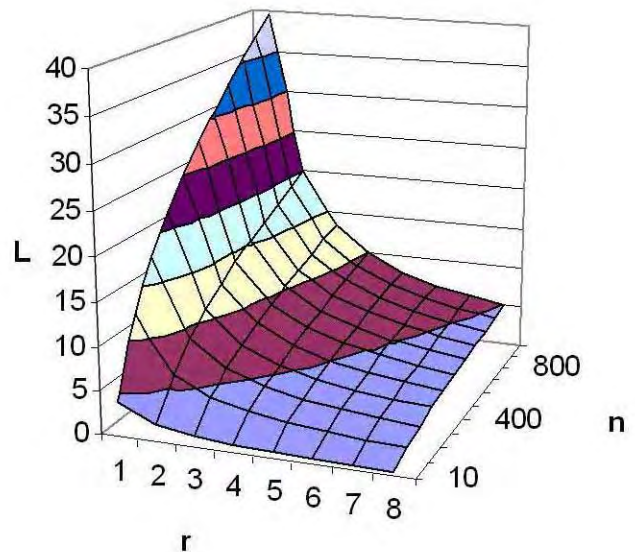


Рис. 5. Складність ρ -методу Полларда

а при розпаралелюванні

$$I_{\lambda_1} = \frac{2\sqrt{n}}{r} \tag{15}$$

На рис. 6 зображена залежність часу криптоаналізу від порядку криптосистеми й числа розпаралелених процесів для λ -методу Полларда. Як видно із графіка, λ -метод Полларда вимагає більше часу для обчислень, ніж ρ -метод Полларда. Отже, доцільно використовувати ρ -метод Полларда.

Проведемо порівняльний аналіз по складності названих методів. Для цього знайдемо відношення:

$$\frac{I_{\lambda}}{I_{\rho}} = \frac{2\sqrt{n}}{\sqrt{\frac{\pi n}{4}}} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \approx 2,26. \tag{16}$$

З цього відношення випливає, що λ -метод Полларда більше, ніж в 2 рази складніший за метод ρ -Полларда.

ОЦІНКА ЧАСУ ВИКОНАННЯ РОЗПАРАЛЕЛЕНИХ ρ -І λ -МЕТОДІВ ПОЛЛАРДА

У ході виконання дослідження були зроблені заміри часу виконання розпаралелених ρ -і λ -методів Полларда. Програма була запущена на виконання по черзі на 4-х, на 5-х, на 6-х і на 7-х комп'ютерах. Результати тестування наведені в табл. 1 і на рис. 7.

Як видно з таблиці 1 й графіка на рис. 7, час виконання програми методом λ -Полларда в середньому більше, ніж час виконання аналогічної програми методом ρ -Полларда в 2 рази.

Були проведені виміри часу виконання програми методом ρ -Полларда з порядками базових точок $n=2^{64}$, 2^{73} , 2^{84} , 2^{96} на комп'ютерах AMD AtlonXP 1000+. Результати наведені в табл. 2 і на рис. 8. Час розв'язання задачі на одному комп'ютері становить 48 хв для $n=2^{64}$.

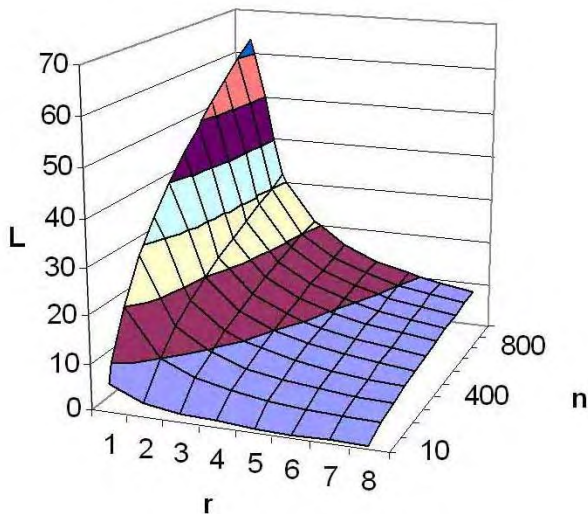


Рис. 6. Складність λ -методу Полларда

Таблиця 1. Час виконання програми, хв.

Кількість процесів, r	Метод	
	ρ -Полларда	λ -Полларда
4	6	10
5	3,5	6,5
6	2	4
7	1,5	2,5

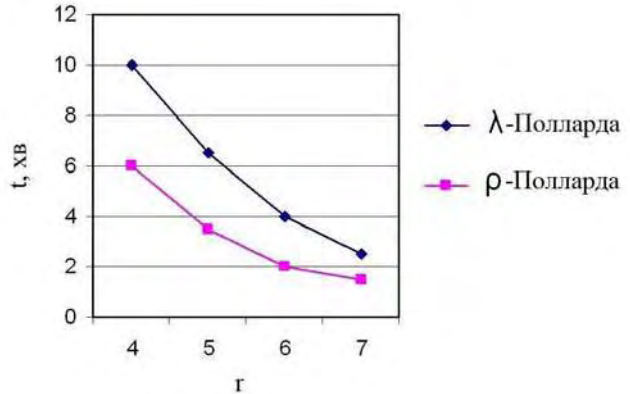


Рис. 7. Час виконання програми

Таблиця 2. Час виконання програми для різних n , хв.

r	$n=2^{64}$	$n=2^{73}$	$n=2^{84}$	$n=2^{96}$
4	22	41	–	–
5	14	26	–	–
6	11	19	38	–
7	10	15	25	37

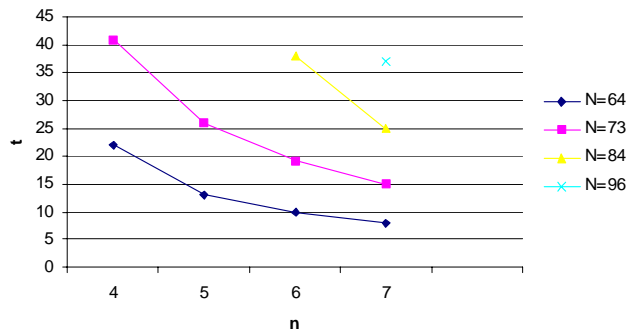


Рис. 8. Час виконання програми, хв.

З табл. 2 і графіка на рис. 8 видно, що програма криптоаналізу дозволяє істотно скоротити час обчислень.

Відомо, що можна прискорити обчислення за λ -методом Полларда, якщо відомий відрізок, на якому знаходиться значення дискретного логарифму [4]. У роботі [5] аналізується інший підхід – можливість використання λ -методу Полларда в тому випадку, коли не відомий відрізок, на якому лежить значення логарифму, шляхом розпаралелювання рішення алгоритму на довільну кількість обчислювальних вузлів r . При цьому весь діапазон, на якому проводиться пошук рішення, ділиться на r рівних частин. Кожен i -й обчислювальний вузол вирі-