

Բ Ա Ն Բ Ե Ր

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՍՏԱԼՍԱՐԱՆԻ**

**ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ,
ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ**

№ 1

Երևան 2016

В Е С Т Н И К

**НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА**

№ 1

Ереван 2016

P R O C E E D I N G S

**OF NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY
OF ARMENIA**

**INFORMATION TECHNOLOGIES,
ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING**

№ 1

Yerevan 2016

Հանդեսը հրատարակվում է 1998 թվականից

Բանբերի խմբագրական խորհուրդ. Յու. Լ. Սարգսյան (գլխավոր խմբագիր, տ.գ.դ.), Հ.Ա. Թերզյան (գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Ա.Խ. Գրիգորյան (գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Ա.Գ. Ավետիսյան (պատասխանատու քարտուղար, տ.գ.դ.), Ս.Գ. Աղբալյան (տ.գ.դ.), Մ.Ք. Բաղդասարյան (տ.գ.դ.), Հ.Վ. Թոքմաջյան (տ.գ.դ.), Ն.Բ. Կնյազյան (տ.գ.դ.), Ո.Ջ. Մարուխյան (տ.գ.թ.), Ա.Հ. Սիմոնյան (տ.գ.դ.), Ա.Շ. Խրիստաֆորյան (տ.գ.դ.)

Հանդեսի խմբագրական խորհուրդ. Ա.Հ. Սիմոնյան (հանդեսի գլխավոր խմբագիր, տ.գ.դ.), Վ.Շ. Մելիքյան (հանդեսի գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Մ.Գ. Խաչատրյան (հանդեսի պատասխանատու քարտուղար, տ.գ.թ.), Ա.Հ. Առաքելյան (տ.գ.դ.), Վ.Ի. Հահանով (Ուկրաինա, տ.գ.դ.), Վ.Մ. Հարությունյան (Ֆ-մ.գ.դ.), Վ.Վ. Բունիատյան (տ.գ.դ.), Ռ.Ռ. Վարդանյան (տ.գ.դ.), Օ.Ն. Գասպարյան (տ.գ.դ.), Ա.Վ. Գավրիլով (ՌԴ, տ.գ.դ.), Ա.Գ. Դուլյան (Ֆ-մ.գ.դ.), Վ.Ս. Ջալալյան (Ֆ-մ.գ.դ.), Թ.Ա. Նալչաջյան (տ.գ.դ.), Ա.Խ. Խուդավերդյան (տ.գ.դ.), Օ.Վ. Ստուկաչ (ՌԴ, տ.գ.դ.)

Խմբագիրներ՝ Ժ.Ս. Սեյրանյան, Հ.Յ. Պետրոսյան, Հ.Ջ. Ղազարյան

© Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան (ՀԱՊՀ), «Ճարտարագետ» հրատարակչություն, հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան 105, ՀԱՊՀ, banber.seua.am

Журнал издается с 1998г.

Редакционная коллегия Вестника: Ю.Л. Саркисян (главный редактор, д.т.н.), А.А. Терзян (зам. главного редактора, д.т.н.), А.Х. Григорян (зам. главного редактора, д.т.н.), А.Г. Аветисян (ответственный секретарь, д.т.н.), С.Г. Агбалиян (д.т.н.), М.К. Багдасарян (д.т.н.), Н.Б. Князян (д.т.н.), В.З. Марухян (к.т.н.), С.О. Симонян (д.т.н.), О.В. Токмаджян (д.т.н.), С.Ш. Христафорян (д.т.н.)

Редакционная коллегия журнала: С.О. Симонян (главный редактор журнала, д.т.н.), В.Ш. Меликян (зам. главного редактора журнала, д.т.н.), М.Г. Хачатрян (ответственный секретарь журнала, к.т.н.), А.А. Аракелян (д.т.н.), В.М. Арутюнян (д.ф.-м.н.), В.В. Буниятян (д.т.н.), Р.Р. Варданян (д.т.н.), С.В. Гаврилов (РФ, д.т.н.), О.Н. Гаспарян (д.т.н.), А.Г. Гулян (д.ф.-м.н.), В.С. Захарян (д.ф.-м.н.), Т.А. Налчаджян (д.т.н.), О.В. Стукач (РФ, д.т.н.), В.И. Хаханов (Украина, д.т.н.), С.Х. Худавердян (д.т.н.)

Редакторы: Ж.С. Сейранян, А.Ц. Петросян, А.З. Казарян

© Издательство Национального политехнического университета Армении (НПУА) "Чартарагет", адрес редакции: 0009, Ереван, ул. Теряна 105, НПУА, vestnik.seua.am

The journal has been published since 1998

Editorial Council of Proceedings: Yu.L. Sargsyan (editor-in-chief, doctor of tech. sciences), H.A. Terzyan (vice-editor-in-chief, doctor of tech. sciences), A.Kh. Grigoryan (vice-editor-in-chief, doctor of tech. sciences), A.G. Avetisyan (responsible secretary, doctor of tech. sciences), S.G. Aghbalyan (doctor of tech. sciences), M.K. Baghdasaryan (doctor of tech. sciences), S.Sh. Khristaphoryan (doctor of tech. sciences), N.B. Knyazyan (doctor of tech. sciences), V.Z. Marukhyan (cand. of tech. sci.) S.H. Simonyan (doctor of tech. sciences), H.V. Tokmajyan (doctor of tech. sciences)

Editorial Council of the journal: S.H. Simonyan (Editor-in-chief of the Journal, doctor of tech. sciences), V.Sh. Melikyan (vice-editor of the Journal, doctor of tech. sciences), M.G. Khachatryan (responsible secretary of the Journal, cand. of tech. sci.), A.H. Arakelyan (doctor of tech. sciences), V.M. Harutyunyan (doctor of phys.-math. sciences), V.V. Buniatyan (doctor of tech. sciences), O.N. Gasparyan (doctor of tech. sciences), S.V. Gavrilo (RF, doctor of tech. sciences), A.G. Ghulyan (doctor of phys.-math. sciences), V.I. Hahanov (Ukraine, doctor of tech. sciences), S.Kh. Khudaverdyan (doctor of tech. sciences), T.A. Nalchajyan (doctor of tech. sciences), R.R. Vardanyan (doctor of tech. sciences), O.V. Stoukach (RF, doctor of tech. sciences), V.S. Zakaryan (doctor of phys.-math. sciences)

Editors: Zh. S. Seyranyan, H.Ts. Petrosyan, H.Z. Ghazaryan

© National Polytechnic University of Armenia (NPUA) "Tchartaraget" Publishing House Address: 0009, Yerevan, 105 Teryan str., NPUA, proceedings.seua.am

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՊՀ-ի Բանբերը նոր հնգամյակում. գլխավոր խմբագրի կողմից	6
<u>ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ</u>	
Սիմոնյան Ա.Հ.	
Սիլվեստրի տիպի $A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t)$ ընդհանրացված միապարամետրական մատրիցային հավասարումների տրանսպոնցված նմանակների լուծման մեթոդներ	12
Հակոբյան Հ.Ց.	25
Շրջանագծերի մոտիկության մասին	
Բալասանյան Ա.Շ., Գևորգյան Հ.Մ.	34
Նմանակային մոդելավորման կիրառումը վիճակագրական մոդելների կառուցման մեթոդների արդյունավետության գնահատման համար	
Աբրոյան Ն.Հ., Հակոբյան Ռ.Գ.	46
Իրական ժամանակային համակարգերում մեքենայական ուսուցման օգտագործման ընդհանուր ակնարկ	
Հարությունյան Պ.Ա., Մոլդովեանու Ա., Մոլդովեանու Ֆ.	55
Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներով պայմանավորված առողջական խնդիրների և աշխատանքի հետ կապված հենաշարժական ապարատի խանգարումների ուսումնասիրություն	
	<u>ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ</u>
Պետրոսյան Օ.Հ., Ավդայան Ն.Բ., Հովհաննիսյան Ա.Ս.	66
Վերծանիչների կառուցման եղանակների համեմատական վերլուծություն	
Բունիաթյան Վ.Վ., Մելիքյան Գ.Շ., Ցականով Վ.Մ., Դաշտոյան Հ.Ռ.	76
Pt/Ba _x Sr _{1-x} TiO ₃ /Pt նուրբթաղանթային կառուցվածքի I-V բնութագրերի մոդելավորումը էլեկտրոնային փնջով ճառագայթելիս	
	<u>ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ</u>
Գոմցյան Հ.Ա.	85
Բլոկային ցիկլիկ կողերի ձևավորման եղանակները	
Ավետիսյան Հ.Ա., Այվազյան Մ.Ց.	95
Տերահերցային տիրույթի ալիքատարներ	
	104
<u>ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ</u>	
Հեղինակների ցուցակ	110
Հոդվածների ձևավորման կանոններ	116

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Вестник НПУА в новой пятилетке: от главного редактора</i>	8
<u>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</u>	
Симонян С.О. Методы решения обобщенных однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра $\mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{X}(t) \cdot \mathbf{D}(t) + \mathbf{F}(t) \cdot \mathbf{X}^T(t) \cdot \mathbf{B}(t) = \mathbf{C}(t)$	12
Акопян Г.Ц. О близости окружностей	25
Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Применение имитационного моделирования для оценки эффективности методов построения статистических моделей	34
Аброян Н.О., Акопян Р.Г. Общий обзор применения машинного обучения в системах реального времени	46
Арутюнян П.А., Молдовеану А., Молдовеану Ф. Исследование помех, обусловленных информационными технологиями и связанных со здоровьем и работой опорно-двигательного аппарата	55
<u>ЭЛЕКТРОНИКА</u>	
Петросян О.А., Авдалян Н.Б., Оганесян А.С. Сравнительный анализ способов построения дешифраторов	66
Буниатян В.В., Меликян Г.Ш., Цаканов В.М., Даштоян О.Р. Моделирование I-V характеристик Pt/Ba _x Si _{1-x} TiO ₃ /Pt тонкопленочной структуры под воздействием электронного луча	76
<u>РАДИОТЕХНИКА</u>	
Гомцян О.А. Методы формирования блочных циклических кодов	85
Аветисян А.А., Айвазян М.Ц. Волноводы в терагерцовом диапазоне	95
<u>Информационные материалы</u>	104
<i>Список авторов</i>	112
<i>Правила оформления статей</i>	117

C O N T E N T

NPUA Proceedings in the new five years: guest editorial 10

INFORMATION TECHNOLOGIES

Simonyan S.H.

Methods for Solving Sylvester Type $\mathbf{A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t)}$ 12
Generalized One-Parametric Transposed Analogues of Matrix Equations

Hakobyan H.Ts.

On the Closeness of Circles 25

Balasyan S.Sh., Gevorgyan H.M.

Application of Simulation Modeling for Assessing the Efficiency of Methods for
Constructing Statistical Models 34

Abroyan N.H., Hakobyan R.G.

A Review of the Usage of Machine Learning in Real-time Systems 46

Harutyunyan P., Moldoveanu A., Moldoveanu F.

Studying the Health Problems and Work-related Musculoskeletal Disorders Caused
by IT-Technologies 55

ELECTRONICS

Petrosyan O.H., Avdalyan N.B., Hovhannisyan A.S.

Comparative Analysis of the Methods for Constructing Decoders 66

Buniatyan V.V., Melikyan G.Sh., Tsakanov V.M., Dashtoyan H.R.

Modeling the I-V Characteristics of the Thin Film Pt/Ba_xSr_{1-x}TiO₃/Pt Structure
under the Electron Beam Irradiation 76

RADIO ENGINEERING

Gomtsyan H.A.

Methods for Forming Block Cyclic Codes 85

Avetisyan H.A., Ayvazyan M.Ts.

Waveguides Used in the Terahertz Range 95

Information Materials 104

List of the Authors 114

Rules for preparing the articles 118

ՀԱՊՀ-ի Բանբերը նոր հնգամյակում. գլխավոր խմբագրի կողմից

Հինգերորդ տարին է, ինչ հրատարակվում է ՀԱՊՀ-ի վերակառուցված Բանբերը: Գիտական լայն ընդգրկույթով պոլիտեխնիկական համալիր հանդեսն այսօր միավորում է տեխնիկական գիտությունների համալսարանին բնորոշ հիմնական բնագավառներում մասնագիտացված վեց պարբերականներ (սերիաներ), որոնցում հրատարակվում են ինչպես համալսարանի ամբիոնների և շուրջ 2 տասնյակ հետազոտական լաբորատորիաների, այնպես էլ նրա գիտական գործընկեր-կազմակերպությունների նորագույն հետազոտությունների արդյունքները: Բանբերի կայքի այցելուների՝ տարեցտարի ավելացող թիվն ու ընդլայնվող աշխարհագրությունը և նրանում արտահամալսարանական ու հատկապես արտասահմանյան հեղինակների աճող մասնակցությունը վկայում են հանդեսի հեղինակության և արտաքին տեսանելիության բարձրացման մասին:

Այսօր Համալսարանը մտել է իր զարգացման կարևորագույն մի շրջան, որը բնութագրվում է միջավայրային աննախադեպ փոփոխություններով և նոր մարտահրավերներով, մասնավորապես, դեմոգրաֆիական անբարենպաստ սցենարով, միաժամանակ՝ կրթության շուկայում մրցակցության աճող մակարդակով: Արտաքին նոր իրողությունները Համալսարանից պահանջում են վերակառուցել իր զարգացման ռազմավարությունը՝ նպատակաուղղելով այն երկրի տնտեսական մրցունակության բարձրացման և տեխնոլոգիական առաջընթացի հիմնախնդիրների լուծմանը: Նոր ռազմավարության միջոցով Համալսարանը կձգտի ձեռք բերել նաև ժամանակակից հետազոտական համալսարանին բնորոշ հիմնական հատկանիշները: Ապագայի այս ծրագրերում էական դերակատարություն ունի մեր բազմաճյուղ պոլիտեխնիկական գիտությունը, որի կայուն զարգացումը և ինովացիոն կողմնորոշումը նոր հնգամյակում Համալսարանի ռազմավարական գերակայությունների շարքում են: ՀԱՊՀ հոգաբարձուների խորհուրդը, հավանություն տալով Համալսարանի 2016-2020թթ. ստրատեգիական պլանի հենքային նախագծին (տե՛ս ՀԱՊՀ կայքը), դրա շրջանակներում հաստատագրել է նաև մեր գիտության ռազմավարական զարգացման նպատակն ու խնդիրները: Այդ խնդիրների իրականացումը ենթադրում է ճշգրտել նաև Համալսարանի գլխավոր գիտական հանդեսի առաքելությունն ու խնդիրները նոր հնգամյակում:

Մեկնակետ ունենալով ՀԱՊՀ գիտական նոր ռազմավարությունը՝ առաջարկվում է Բանբերի առաքելության հետևյալ ձևակերպումը. **առավելագույնս նպաստել Համալսարանի գիտության ինովացիոն վերակողմնորոշմանն ու միջազգային հեղինակության բարձրացմանը:**

Ստորև ներկայացվում են որոշ քայլեր՝ ուղղված այդ առաքելության իրականացմանը:

1. Բանբերի բոլոր սերիաներում բացել նոր բաժին՝ «Ինովացիոն մշակումները Պոլիտեխնիկում» խորագրով, որի ներքո զետեղել գովազդային նյութեր ու հաղորդումներ Համալսարանի նորաստեղծային նախագծերի արդյունքների, արտոնագրված նոր գյուտերի և դրանց առևտրայնացման հնարավորությունների ու ծրագրերի վերաբերյալ:

2. Նախատեսել ակնարկային հոդվածների շարք, որոնք կներկայացնեն աշխարհի առաջատար տեխնոլոգիական հետազոտական համալսարանների փորձը ինովացիոն ինֆրակառուցվածքների ստեղծման և տեխնոլոգիական նորաստեղծության արդյունքների առևտրայնացման ուղղությամբ՝ այն յուրացնելու և Համալսարան փոխանցելու առաջարկություններով:

3. Նախաձեռնել Բանբերի սերիաների աստիճանական վերաֆորմատավորումը և ընդգրկումը միջազգային «Scopus» և «Web of Science» տվյալների բազաներում, ձգտել նշված համակարգերում Բանբերի սերիաների ազդեցության գործակիցների (impact factor) շարունակական բարձրացմանը:

4. Մեծացնել անգլալեզու գիտական հոդվածների և արտասահմանյան առաջատար գիտնականների հետ համատեղ հրապարակումների տեսակարար կշիռը Բանբերի սերիաներում:

5. Պարբերաբար հրապարակել եռալեզու տեղեկատվական նյութեր՝ ազգային և միջազգային գիտական մրցույթներում Համալսարանի գիտնականներին շնորհված մրցանակների, պարգևների և դրամաշնորհների, ինչպես նաև Համալսարանում կազմակերպված միջազգային գիտաժողովների վերաբերյալ:

6. Բանբերի համապատասխան սերիաներում հրապարակել «Պոլիտեխնիկական ընթերցումներ» համալսարանական սեմինարի բոլոր զեկուցումները՝ սեմինարում ընդունված եզրակացություններով և երաշխավորություններով:

7. Բանբերի էջերում պարբերաբար քննարկել Համալսարանի գիտական նորացված ռազմավարության իրականացման արդյունքներն ու խնդիրները, ներկայացնել առաջարկներ՝ անհրաժեշտ փոփոխությունների և լրացումների վերաբերյալ:

Բանբերի սերիաների խմբագրական խորհուրդներից և ընթերցողներից ակնկալում ենք շահագրգիռ արձագանք և նոր առաջարկություններ՝ հանդեսի հետագա զարգացման հեռանկարային ուղիների վերաբերյալ:

Յուրի Սարգսյան

ՀԱՊՀ Բանբերի գլխավոր խմբագիր,

ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս

Вестник НПУА в новой пятилетке: от главного редактора

Прошло пять лет с основания реорганизованного Вестника Национального политехнического университета Армении (НПУА). Сегодня это поистине политехнический журнал с весьма широким научным охватом, объединяющий шесть периодических изданий (серий), которые представляют все типичные для университета отрасли технических наук. В них публикуются результаты новейших исследований кафедр, проблемных лабораторий Университета и других организаций – научных партнёров Университета. Увеличивающееся из года в год число и расширяющаяся география посещений веб-страницы Вестника наряду с растущим участием внеуниверситетских и особенно зарубежных авторов во всех выпусках журнала свидетельствуют, что за эти годы значительно повысились его авторитет и внешняя привлекательность.

Сегодня Университет вошёл в один из ответственных периодов своего развития, характеризуемый беспрецедентными изменениями внешней обстановки и новыми вызовами, в частности, крайне неблагоприятным демографическим сценарием и растущим уровнем конкуренции на рынке образования. Новые внешние реалии требуют от Университета перестройки своей стратегии развития, направив её на решение задач повышения экономической конкурентоспособности и ускорения технологического прогресса страны. С другой стороны, новая стратегия позволит НПУА обрести основные атрибуты, присущие современным исследовательским университетам. В этих планах будущего значительная роль принадлежит нашей многоотраслевой политехнической науке, устойчивое развитие и инновационная переориентация которой относятся к числу основных стратегических приоритетов Университета в новой пятилетке.

Недавно Совет попечителей НПУА одобрил концептуальную схему стратегического плана Университета на 2016-2020 гг. (см. веб-сайт НПУА), в рамках которой определены также цель и задачи стратегического развития университетской науки. Реализация этих задач предполагает также уточнение миссии и определение новых задач ведущего научного журнала Университета. Ниже представлены некоторые предложения по выдвинутым вопросам.

Принимая за отправную точку новую научную стратегию НПУА, можно предложить следующую формулировку миссии Вестника: **максимально способствовать инновационной переориентации и повышению международного авторитета университетской науки.**

Теперь предложим конкретные шаги, направленные на реализацию сформулированной миссии журнала:

1. Во всех сериях Вестника открыть новую рубрику “Инновации в НПУА”, включающую рекламные материалы и сообщения об инновационных разработках, новых изобретениях Университета и возможностях их промышленного внедрения и коммерциализации.

2. Предусмотреть серию обзорных статей об опыте ведущих технологических исследовательских университетов мира в создании эффективных инновационных инфраструктур, механизмов коммерциализации результатов инновационных проектов и о возможностях передачи и освоения этого опыта в НПУА.

3. Инициировать постепенное реформатирование и введение всех серий Вестника в базы данных “Scopus” и “Web of Science”, предусмотрев меры по повышению их коэффициентов воздействия (impact factors).

4. Увеличить долю англоязычных статей и совместных с ведущими зарубежными учёными публикаций в сериях Вестника.

5. Периодически публиковать трёхязычные информационные материалы о премиях, наградах и грантах, присуждённых учёным Университета на национальных и международных научных конкурсах, и о международных научных конференциях, организованных Университетом.

6. В соответствующих сериях Вестника публиковать доклады, заслушанные на университетском научном семинаре “Политехнические чтения”, с заключениями и рекомендациями семинара.

7. Периодически обсуждать на страницах Вестника результаты реализации новой научной стратегии НПУА, вносить предложения о необходимых изменениях и дополнениях.

Редакционный совет Вестника ждёт от коллег и читателей всех серий новых предложений о перспективных направлениях дальнейшего развития журнала.

Юрий Саркисян
главный редактор Вестника НПУА,
академик Национальной академии наук Армении

NPUA Proceedings in the new five years: guest editorial

More than five years have passed since the first publication of the reorganized Proceedings of National Polytechnic University of Armenia. Today, it is a really Polytechnic journal with a quite broad coverage—a complex of six scientific periodicals (series), representing all the main branches of technical sciences specific for the University. In regular semi-annual issues, the newest results of the research works implemented in NPUA departments, research labs and its science partner organizations are published. The increasing number year after year and the broadening geography of visits to the Proceedings web-site, as well as the growing share of external, and especially foreign authors in the journal publications testify the raising prestige and external visibility of the journal.

Today, NPUA has entered one of the critical periods of its development marked by the rapid environmental changes and new challenges, including the unfavorable demographic scenario, leading to the drastic reduction of the school leavers and the growing level of competition in the education market. New external realities require from the University to restructure its development strategy, targeting it to the problems of economic competitiveness and technological progress of the country. On the other hand, by means of the new strategy, the University aims at acquiring the main attributes of a modern research University. In these plans for future, an essential role belongs to our multi-branch polytechnic science, the innovative orientation and the continuous growth of which are among the strategic priorities of the University for the present five-year period. The NPUA Board of Trustees recently approved the outline of the University strategic plan for 2016–2020. In the frames of this document, the goal and objectives of the new NPUA science strategy are defined too (see NPUA web-site).

To support the fulfillment of these objectives, the mission and new objectives of the leading Polytechnic journal should also be formulated which is the main motivation of the present editorial. In what follows, we present our views on the issues under consideration.

Based on the NPUA new science strategy, the following mission statement for the Proceedings can be proposed: **to support maximally the innovative**

reorientation, and enhancement of the international prestige of the University science.

Here are a few steps which could help to realize the defined mission.

1. To open a new column in all series of the Proceedings under the headline “Innovations in NPUA”, where advertising materials and news, covering the results of the innovative research projects, new inventions and possibilities of their commercialization will be published.

2. To start a series of review papers, covering the modern experiences of the leading technological universities of the world in developing effective innovation infrastructures and mechanisms of commercialization of the research results with recommendations of possible applications in NPUA.

3. To initiate the gradual reformatting and inclusion of the Proceedings series in the international data bases “Scopus” and “Web of Science”, and follow up activities for increasing the impact factors of the registered periodicals.

4. To increase the share of the English language papers and joint publications with the co-authorship of leading international scientists.

5. To publish periodically trilingual information materials on the prizes, awards and grants won by the NPUA scientists on national and international scientific competitions and international conferences organized or co-organized by NPUA.

6. To place the reports of the University seminar “Polytechnic readings” with the adopted conclusions and recommendations of the seminar in the appropriate series of Proceedings.

7. To discuss the implementation results of the renovated NPUA science strategy and propose the necessary amendments and additions in the series of Proceedings periodically.

We expect new suggestions from the Editorial Councils and readers of the Proceedings series on the prospective ways of the further development of the journal.

Yuri Sarkissyan
Editor-in-chief of the NPUA Proceedings,
Academician of NAS, Armenia

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.52+511.52

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
ТРАНСПОНИРОВАННЫХ АНАЛОГОВ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ
ТИПА СИЛЬВЕСТРА**

$$A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t)$$

С.О. Симомян

Национальный политехнический университет Армении

Предложены три метода решения обобщенных однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра с квадратными матрицами-коэффициентами: аналитический метод; последовательный и параллельный численно-аналитические методы, основанные на дифференциальных преобразованиях Г.Е. Пухова. Во всех случаях получены соответствующие условия однозначной разрешимости задачи. Аналитический метод ограничен в практических приложениях, однако служит основой для разработки последовательного и параллельного численно-аналитических методов. Последние обладают такими структурами, которые дают возможность достаточно легко реализовать эти методы средствами современных информационных технологий. Предложенные методы определенным образом дополняют имеющийся пробел в рассматриваемой области и, кроме того, легко трансформируются в соответствующие аналоги для решения подобных задач с прямоугольными матрицами-коэффициентами. При этом вместо обычных функциональных или числовых обратных матриц используются обобщенные однопараметрические функциональные или числовые обратные матрицы, задающие в общем случае приближенные решения рассматриваемых задач.

Предложенные методы, как частные случаи, охватывают методы решения однопараметрических матричных уравнений типа Сильвестра, Стейна, Ляпунова и др.

Рассмотрен модельный пример с квадратными матрицами-коэффициентами, для решения которого был использован последовательный численно-аналитический метод. При этом получено точное тейлоровское решение, демонстрирующее эффективность предложенных методов.

Ключевые слова: обобщенный однопараметрический транспонированный аналог матричного уравнения типа Сильвестра, редукция, аналитическое решение, дифференциальные преобразования, последовательный и параллельный численно-аналитические методы, непрерывное решение непрерывной задачи, модельный пример.

Введение. В работе [1] были предложены методы решения однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра

$$A(t) \cdot X(t) + X^T(t) \cdot B(t) = C(t) \quad (1)$$

с квадратными матрицами $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$ одного и того же порядка m , где $X(t)$ - неизвестная функциональная матрица, подлежащая определению.

В настоящей работе рассматриваются методы решения обобщенных однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра

$$A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t), \quad (2)$$

являющихся обобщениями числовых матричных уравнений, рассмотренных, в частности, в [2].

Здесь $A(t)$, $D(t)$, $F(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$ – квадратные матрицы одного и того же порядка m , где $X(t)$ – неизвестная функциональная матрица, подлежащая определению.

Замечание 1. Очевидно, что уравнение (1) является частным случаем уравнения (2), когда $D(t) = F(t) = E$, где E – единичная матрица порядка m . Следовательно, решение уравнения будет связано с намного более сложными вычислительными затруднениями, нежели решение уравнения (1), характеризующееся, в свою очередь, непростыми численными процедурами.

Редукция и аналитическое решение задачи. Допустив, что матрицы $A(t)$, $D(t)$, $F(t)$ и $B(t)$ невырождены на рассматриваемом интервале изменения параметра t , из (2) получим, что

$$\begin{aligned} X(t) &= A^{-1}(t) \cdot [C(t) - F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t)] \cdot D^{-1}(t) = \\ &= A^{-1}(t) \cdot C(t) \cdot D^{-1}(t) - A^{-1}(t) \cdot F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) \cdot D^{-1}(t), \end{aligned}$$

откуда

$$X^T(t) = D^{-T}(t) \cdot C^T(t) \cdot A^{-T}(t) - D^{-T}(t) \cdot B^T(t) \cdot X(t) \cdot F^T(t) \cdot A^{-T}(t). \quad (3)$$

С другой стороны, из того же уравнения (2) имеем

$$\begin{aligned} X^T(t) &= F^{-1}(t) \cdot [C(t) - A(t) \cdot X(t) \cdot D(t)] \cdot B^{-1}(t) = \\ &= F^{-1}(t) \cdot C(t) \cdot B^{-1}(t) - F^{-1}(t) \cdot A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) \cdot B^{-1}(t). \end{aligned} \quad (4)$$

В результате сопоставления соотношений (3) и (4) приходим к выражению

$$\begin{aligned} D^{-T}(t) \cdot C^T(t) \cdot A^{-T}(t) - D^{-T}(t) \cdot B^T(t) \cdot X(t) \cdot F^T(t) \cdot A^{-T}(t) = \\ = F^{-1}(t) \cdot C(t) \cdot B^{-1}(t) - F^{-1}(t) \cdot A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) \cdot B^{-1}(t), \end{aligned} \quad (5)$$

в котором, в отличие от (2), фигурирует лишь только неизвестная матрица $X(t)$.

Далее, из (5) получим следующее, достаточно сложное матричное уравнение:

$$\begin{aligned} F^{-1}(t) \cdot A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) \cdot B^{-1}(t) - D^{-T}(t) \cdot B^T(t) \cdot X(t) \cdot F^T(t) \cdot A^{-T}(t) = \\ = F^{-1}(t) \cdot C(t) \cdot B^{-1}(t) - D^{-T}(t) \cdot C^T(t) \cdot A^{-T}(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Для решения этого линейного по отношению к матрице $X(t)_{m \times m}$ уравнения

воспользуемся известным аппаратом кронекеровых произведений [3], в результате чего получим следующую линейную по отношению к $\hat{X}(t)_{m^2 \times 1}$ гиперматрично-гипервекторную систему уравнений:

$$\begin{aligned} & \{[F^{-1}(t) \cdot A(t)] \otimes [B^{-T}(t) \cdot D^T(t)] - [D^{-T}(t) \cdot B^T(t)] \otimes [A^{-1}(t) \cdot F(t)]\}_{m^2 \times m^2} \cdot \hat{X}(t)_{m^2 \times 1} = \\ & \quad \underbrace{= [F^{-1}(t) \cdot C(t) \cdot B^{-1}(t) - D^{-T}(t) \cdot C^T(t) \cdot A^{-T}(t)]}_{m^2 \times 1} = \hat{D}_1(t)_{m^2 \times 1}, \end{aligned} \quad (7)$$

откуда при предположении выполнения условия гиперрегулярности

$$\text{rang}\{[F^{-1}(t) \cdot A(t)] \otimes [B^{-T}(t) \cdot D^T(t)] - [D^{-T}(t) \cdot B^T(t)] \otimes [A^{-1}(t) \cdot F(t)]\} = m^2 \quad (8)$$

будем иметь

$$\begin{aligned} \hat{X}(t) &= \{[F^{-1}(t) \cdot A(t)] \otimes [B^{-T}(t) \cdot D^T(t)] - [D^{-T}(t) \cdot B^T(t)] \otimes [A^{-1}(t) \cdot F(t)]\}^{-1} \cdot \\ & \cdot \hat{D}_1(t) = D(t) \cdot \hat{D}_1(t). \end{aligned} \quad (9)$$

Теперь, обозначив

$$F^{-1}(t) \cdot A(t) = P(t), \quad (10)$$

$$B^{-T}(t) \cdot D^T(t) = Q(t), \quad (11)$$

$$D^{-T}(t) \cdot B^T(t) = M(t), \quad (12)$$

$$A^{-1}(t) \cdot F(t) = N(t), \quad (13)$$

гиперматрично-гипервекторную систему уравнений (7) представим в виде

$$[P(t) \otimes Q(t) - M(t) \otimes N(t)] \cdot \hat{X}(t) = \hat{D}_1(t). \quad (14)$$

Тогда условия однозначной разрешимости задачи (2), по аналогии с [1], сводятся к одновременному выполнению условий:

- гиперрегулярности:

$$\text{rang}[P(t) \otimes Q(t) - M(t) \otimes N(t)] = m^2; \quad (15 \text{ а})$$

- регулярности:

$$\text{rang } F(t) = m \Leftrightarrow \exists F^{-1}(t), \forall t, \quad (15 \text{ б})$$

$$\text{rang } B(t) = m \Leftrightarrow \exists B^{-1}(t), \forall t, \quad (15 \text{ в})$$

$$\text{rang } D(t) = m \Leftrightarrow \exists D^{-1}(t), \forall t, \quad (15 \text{ г})$$

$$\text{rang } A(t) = m \Leftrightarrow \exists A^{-1}(t), \forall t. \quad (15 \text{ д})$$

При этом решение системы (14) имеет вид

$$\hat{X}(t) = [P(t) \otimes Q(t) - M(t) \otimes N(t)]^{-1} \cdot \hat{D}_1(t) = D(t) \cdot \hat{D}_1(t). \quad (16)$$

Замечание 2. Очевидно, аналитические решения (9) или (16) малопригодны для практических приложений, ибо они связаны с необходимостью определения функциональных обратных матриц $A^{-1}(t)$, $D^{-1}(t)$, $F^{-1}(t)$ и $B^{-1}(t)$, а также

кронекеровой функциональной обратной матрицы $[P(t) \otimes Q(t) - M(t) \otimes N(t)]^{-1}$. Ясно, что такой подход достаточно трудоемок и в подавляющем большинстве случаев практически нереализуем. Поэтому необходимо воспользоваться другими, более эффективными подходами. К одному из таких подходов, основанному на дифференциальных преобразованиях Г.Е. Пухова [4] и достаточно развитому в работах [5-10] для решения других аналогичных задач, и перейдем далее.

Последовательный численно-аналитический метод решения. Предположим, что функциональные матрицы $A(t)$, $D(t)$, $F(t)$, $B(t)$, $C(t)$ и $X(t)$, а также их обратные $A^{-1}(t)$, $D^{-1}(t)$, $F^{-1}(t)$ и $B^{-1}(t)$ аналитичны в некотором центре аппроксимации $t = t_v$. При этом, естественно, аналитичны и матрицы $M(t)$, $N(t)$, $P(t)$ и $Q(t)$. Следовательно, для всех этих матриц будут иметь место следующие дифференциальные преобразования [4]:

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K A(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad A(t) = \chi_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (17)$$

$$D(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K D(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad D(t) = \chi_2(t, t_v, H, D(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (18)$$

$$F(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K F(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad F(t) = \chi_3(t, t_v, H, F(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (19)$$

$$B(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K B(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad B(t) = \chi_4(t, t_v, H, B(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (20)$$

$$C(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K C(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad C(t) = \chi_5(t, t_v, H, C(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (21)$$

$$A^{-1}(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K A^{-1}(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad A^{-1}(t) = \chi_6(t, t_v, H, A^{-1}(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (22)$$

$$D^{-1}(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K D^{-1}(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad D^{-1}(t) = \chi_7(t, t_v, H, D^{-1}(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (23)$$

$$F^{-1}(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K F^{-1}(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad F^{-1}(t) = \chi_8(t, t_v, H, F^{-1}(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (24)$$

$$B^{-1}(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K B^{-1}(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad B^{-1}(t) = \chi_9(t, t_v, H, B^{-1}(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (25)$$

$$P(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K P(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad P(t) = \chi_{10}(t, t_v, H, P(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (26)$$

$$Q(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K Q(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad Q(t) = \chi_{11}(t, t_v, H, Q(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (27)$$

$$M(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K M(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad M(t) = \chi_{12}(t, t_v, H, M(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (28)$$

$$N(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K N(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad N(t) = \chi_{13}(t, t_v, H, N(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (29)$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K X(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \overline{\cdot} \quad X(t) = \chi_{14}(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (30)$$

где матрицы $A(K)$, $D(K)$, $F(K)$, $B(K)$, $C(K)$, $A^{\vee -1}(K)$, $D^{\vee -1}(K)$, $F^{\vee -1}(K)$, $B^{\vee -1}(K)$, $P(K)$, $Q(K)$, $M(K)$, $N(K)$ и $X(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ – матричные дискреты матриц $A(t)$, $D(t)$, $F(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $A^{-1}(t)$, $D^{-1}(t)$, $F^{-1}(t)$, $B^{-1}(t)$, $P(t)$, $Q(t)$, $M(t)$, $N(t)$ и $X(t)$ соответственно.

Заметим, что матрицы $A^{\vee -1}(K)$, $D^{\vee -1}(K)$, $F^{\vee -1}(K)$, $B^{\vee -1}(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ – матричные дискреты обратных матриц $A^{-1}(t)$, $D^{-1}(t)$, $F^{-1}(t)$ и $B^{-1}(t)$, а не обратные матрицы матричных дискрет $A(K)$, $D(K)$, $F(K)$ и $B(K)$; $K = \overline{0, \infty}$ – целочисленный аргумент; H – масштабный коэффициент; символ $\overline{\cdot}$ – знак перехода из области оригиналов в область дифференциальных изображений и наоборот; $\chi_1(\cdot) - \chi_{14}(\cdot)$ – некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы $A(t)$, $D(t)$, $F(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $A^{-1}(t)$, $D^{-1}(t)$, $F^{-1}(t)$, $B^{-1}(t)$, $P(t)$, $Q(t)$, $M(t)$, $N(t)$ и $X(t)$ соответственно.

Теперь в соответствии с правилами алгебры дифференциальных преобразований [4] оригиналы (10)-(13) переведем в область дифференциальных изображений. При этом будем иметь

$$P(K) = \sum_{l=0}^K F^{\vee -1}(l) \cdot A(K-l), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (31)$$

$$Q(K) = \sum_{l=0}^K B^{\vee -1}(l) \cdot D^T(K-l), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (32)$$

$$M(K) = \sum_{l=0}^K D^{\vee -1}(l) \cdot B^T(K-l), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (33)$$

$$N(K) = \sum_{l=0}^K A^{-1}(l) \cdot F(K-l), \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (34)$$

Далее с учетом (14) и (16) имеем:

при $K=0$:

$$D(0,0) \cdot \hat{X}(0) = \hat{D}_1(0), \quad (35)$$

откуда при условии гиперрегулярности

$$\text{rang} D(0,0) = m^2 \quad (36)$$

получим

$$\hat{X}(0) = \hat{D}^{-1}(0,0) \cdot \hat{D}_1(0); \quad (37)$$

при $K=1$:

$$D(0,0) \cdot \hat{X}(1) + D(1,0; 0,1) \cdot \hat{X}(0) = \hat{D}_1(1), \quad (38)$$

откуда

$$\hat{X}(1) = D^{-1}(0,0) \cdot [\hat{D}_1(1) - D(1,0; 0,1) \cdot \hat{X}(0)]; \quad (39)$$

при $K=2$:

$$D(0,0) \cdot \hat{X}(2) + D(1,0; 0,1) \cdot \hat{X}(1) + D(2,0; 1,1; 0,2) \cdot \hat{X}(0) = \hat{D}_1(2), \quad (40)$$

откуда

$$\hat{X}(2) = D^{-1}(0,0) \cdot [\hat{D}_1(2) - D(1,0; 0,1) \cdot \hat{X}(1) - D(2,0; 1,1; 0,2) \cdot \hat{X}(0)]; \quad (41)$$

...

при $K=K$:

$$\begin{aligned} & D(0,0) \cdot \hat{X}(K) + D(1,0; 0,1) \cdot \hat{X}(K-1) + D(2,0; 1,1; 0,2) \cdot \hat{X}(K-2) + \dots \\ & \dots + D(K-2,0; K-3; 1; \dots; 1; K-3; 0, K-2) \cdot \hat{X}(2) + \\ & + D(K-1; 0; K-2; 1; \dots; 1; K-2; 0; K-1) \cdot \hat{X}(1) + \\ & + D(K,0; K-1, 1; \dots; 1; K-1; 0, K) \cdot \hat{X}(0) = \hat{D}_1(K), \end{aligned} \quad (42)$$

откуда

$$\begin{aligned} & \hat{X}(K) = D^{-1}(0,0) \cdot [\hat{D}_1(K) - D(1,0; 0,1) \cdot \hat{X}(K-1) - D(2,0; 1,1; 0,2) \cdot \hat{X}(K-2) - \dots \\ & \dots - D(K-2,0; K-3, 1; \dots, 1, K-3; 0, K-2) \cdot \hat{X}(2) - \\ & - D(K-1,0; K-2, 1; \dots, 1, K-2; 0, K-1) \cdot \hat{X}(1) - \\ & - D(K,0; K-1, 1; \dots, 1, K-1; 0, K) \cdot \hat{X}(0)], \end{aligned} \quad (43)$$

причем гипервекторы:

$$D_1(0) = [F^{\vee}(0) \cdot C(0) \cdot B^{\vee}(0) \overset{-1}{-} D^{\vee}(0) \cdot C^T(0) \cdot A^{\vee}(0) \overset{-T}{-}], \quad (44)$$

$$\hat{D}_i(1) = \left[\begin{array}{l} [F^{-1}(1) \cdot C(0) \cdot B^{-1}(0) + F^{-1}(0) \cdot C(1) \cdot B^{-1}(0) + F^{-1}(0) \cdot C(0) \cdot B^{-1}(1)] - \\ - [D^{-T}(1) \cdot C^T(0) \cdot A^{-T}(0) + D^{-T}(0) \cdot C^T(1) \cdot A^{-T}(0) + D^{-T}(0) \cdot C^T(0) \cdot A^{-T}(1)] \end{array} \right], \quad (45)$$

$$\hat{D}_i(2) = \left[\begin{array}{l} [F^{-1}(2) \cdot C(0) \cdot B^{-1}(0) + F^{-1}(0) \cdot C(2) \cdot B^{-1}(0) + F^{-1}(0) \cdot C(0) \cdot B^{-1}(2)] + \\ + F^{-1}(1) \cdot C(1) \cdot B^{-1}(0) + F^{-1}(1) \cdot C(0) \cdot B^{-1}(1) + F^{-1}(0) \cdot C(1) \cdot B^{-1}(1)] - \\ - [D^{-T}(2) \cdot C^T(0) \cdot A^{-T}(0) + D^{-T}(0) \cdot C^T(2) \cdot A^{-T}(0) + D^{-T}(0) \cdot C^T(0) \cdot A^{-T}(2) + \\ + D^{-T}(1) \cdot C^T(1) \cdot A^{-T}(0) + D^{-T}(1) \cdot C^T(0) \cdot A^{-T}(1) + D^{-T}(0) \cdot C^T(1) \cdot A^{-T}(1)]^T \end{array} \right], \quad (46)$$

...

$$\hat{D}_i(K) = \left[\begin{array}{l} \sum_{l=0}^S F^{-1}(S) \cdot \sum_{s=0}^K C(l-s) \cdot B^{-1}(K-l) - \\ - \sum_{l=0}^S D^{-T}(S) \cdot \sum_{s=0}^K C^T(l-s) \cdot A^{-T}(K-l) \end{array} \right], \quad (47)$$

а гиперматрицы:

$$D(0,0) = P(0) \otimes Q(0) - M(0) \otimes N(0), \quad (48)$$

$$D(1,0;0,1) = [P(1) \otimes Q(0) + P(0) \otimes Q(1)] - [M(1) \otimes N(0) + M(0) \otimes N(1)], \quad (49)$$

$$D(2,0;1,1;0,2) = [P(2) \otimes Q(0) + P(1) \otimes Q(1) + P(0) \otimes Q(2)] - \\ - [M(2) \otimes N(0) + M(1) \otimes N(1) + M(0) \otimes N(2)], \quad (50)$$

$$\dots \\ D(K-2,0;K-3,1;\dots;1,K-3;0,K-2) = \\ = [P(K-2) \otimes Q(0) + P(K-3) \otimes Q(1) + \dots + P(1) \otimes Q(K-3) + P(0) \otimes Q(K-2)] - \\ - [M(K-2) \otimes N(0) + M(K-3) \otimes N(1) + \dots + M(1) \otimes N(K-3) + M(0) \otimes N(K-2)], \quad (51)$$

$$D(K-1,0;K-2,1;\dots;1,K-2;0,K-1) = \\ = [P(K-1) \otimes Q(0) + P(K-2) \otimes Q(1) + \dots + P(1) \otimes Q(K-2) + P(0) \otimes Q(K-1)] - \\ - [M(K-1) \otimes N(0) + M(K-2) \otimes N(1) + \dots + M(1) \otimes N(K-2) + M(0) \otimes N(K-1)], \quad (52)$$

$$D(K,0;K-1,1;\dots;1,K-1;0,K) = \\ = [P(K) \otimes Q(0) + P(K-1) \otimes Q(1) + \dots + P(1) \otimes Q(K-1) + P(0) \otimes Q(K)] - \\ - [M(K) \otimes N(0) + M(K-1) \otimes N(1) + \dots + M(1) \otimes N(K-1) + M(0) \otimes N(K)]. \quad (53)$$

Таким образом, вычислив матричные дискреты (31)-(34), гипервекторы (44)-(47), а также гиперматрицы (48)-(53), в соответствии с (37), (39), (41) - (43) можно вычислить и гипервекторы $\hat{X}(0), \hat{X}(1), \hat{X}(2), \dots, \hat{X}(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ и, следовательно, матричные дискреты $X(0), X(1), X(2), \dots, X(K)$, $K = \overline{0, \infty}$, а в соответствии с (30) - и неизвестную матрицу $X(t)$.

И, наконец, условия однозначной разрешимости задачи (2) при использовании последовательного численно-аналитического метода сводятся к одновременному выполнению условий:

- гиперрегулярности:

$$\text{rang} D(0,0) = m^2; \quad (54a)$$

- регулярности:

$$\text{rang} F^{-1}(K) = m, \quad \forall K = \overline{0, \infty}, \quad (54б)$$

$$\text{rang} B^{-1}(K) = m, \quad \forall K = \overline{0, \infty}, \quad (54в)$$

$$\text{rang} D^{-1}(K) = m, \quad \forall K = \overline{0, \infty}, \quad (54г)$$

$$\text{rang} A^{-1}(K) = m, \quad \forall K = \overline{0, \infty} \quad (54д)$$

в центре аппроксимации $t = t_v$.

Параллельный численно-аналитический метод решения. Объединив соотношения (35), (38), (40) и (42), получим гиперматрично-гипервекторное представление с точностью до соотношений (44)-(47) и (48)-(53), аналогичное представлению (28) из работы [1]. Таким образом, имея гиперматрично-гипервекторную систему

$$D(\bullet) \cdot \hat{X}(\bullet) = \hat{D}_1(\bullet), \quad (55)$$

где $\hat{X}(\bullet) = (\hat{X}(0)^T \mid \hat{X}(1)^T \mid \hat{X}(2)^T \mid \dots \mid \hat{X}(K)^T)^T$,

а $\hat{D}_1(\bullet) = (\hat{D}_1(0)^T \mid \hat{D}_1(1)^T \mid \hat{D}_1(2)^T \mid \dots \mid \hat{D}_1(K)^T)^T$, можно определить гипервектор $\hat{X}(\bullet)$ и в соответствии с (30) затем восстановить решение $X(t)$ исходной задачи.

Заметим также, что при использовании параллельного численно-аналитического метода для однозначной разрешимости задачи (2) должны быть одновременно выполнены условия:

- гиперрегулярности:

$$\text{rang} D(\bullet) = (K+1) \text{rang} D(0,0) = (K+1) \cdot m^2; \quad (56)$$

- регулярности (54б)-(54д)

$$(57)$$

в центре аппроксимации $t = t_v$.

Модельный пример. Пусть имеется матричное уравнение

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ t & 1+t \end{bmatrix} \cdot X(t) \cdot \begin{bmatrix} -t & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -t & 1 \\ -t & 0 \end{bmatrix} \cdot X(t) \cdot \begin{bmatrix} 1+t & 1-t \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = \\ = \begin{bmatrix} -t & (-t-t^2) \\ (-t-t^2+t^3) & (-t-t^2) \end{bmatrix}.$$

Следовательно, как нетрудно вычислить, при этом будем иметь

$$A^{-1}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{t}{1+t} & \frac{1}{1+t} \end{bmatrix}, \quad D^{-1}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{t} & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \\ F^{-1}(t) = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{t} \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad B^{-1}(t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+t} & \frac{1-t}{1+t} \\ 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Тогда с учетом того, что $t_\nu \neq 0$, $t_\nu \neq -1$, при $t_\nu = 1$, $H = 1$ получим

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}, \quad A(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad A(K) = [0], \quad \forall K \geq 2; \\ D(0) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad D(1) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D(K) = [0], \quad \forall K \geq 2; \\ F(0) = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad F(1) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad F(K) = [0], \quad \forall K \geq 2; \\ B(0) = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad B(1) = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B(K) = [0], \quad \forall K \geq 2; \\ C(0) = \begin{bmatrix} -1 & -2 \\ -1 & -2 \end{bmatrix}, \quad C(1) = \begin{bmatrix} -1 & -3 \\ 0 & -3 \end{bmatrix}, \quad C(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad C(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C(K) = [0], \quad \forall K \geq 2; \\ A^{\vee -1}(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0,5 & 0,5 \end{bmatrix}, \quad A^{\vee -1}(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0,25 & -0,25 \end{bmatrix}, \quad A^{\vee -1}(2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0,125 & 0,125 \end{bmatrix}, \dots, \\ D^{\vee -1}(0) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad D^{\vee -1}(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad D^{\vee -1}(2) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots, \\ F^{\vee -1}(0) = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad F^{\vee -1}(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad F^{\vee -1}(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots$$

Далее имеем

$$D(0,0) = \left[\begin{array}{cc|cc} -1,5 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & -2 \\ \hline \mathbf{0} & & 2 & -1 \\ 0 & -1,5 & & \end{array} \right], \det D(0,0) = 9 \neq 0,$$

откуда

$$D^{-1}(0,0) = \left[\begin{array}{cc|cc} -2/3 & -2/3 & 1/3 & 2/3 \\ 0 & -1/2 & 0 & 2/3 \\ \hline \mathbf{0} & & 1/2 & -1/3 \\ 0 & -2/3 & & \end{array} \right],$$

а согласно (44):

$$\hat{D}_1(0) = \overbrace{\begin{bmatrix} -0,5 & -2 \\ -2 & 0 \end{bmatrix}} = \begin{pmatrix} -0,5 \\ -2 \\ -2 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда с учетом (37) получим

$$\hat{X}(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad X(0) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Далее в соответствии с (49) имеем

$$D(1,0; 0,1) = \left[\begin{array}{cc|cc} -0,75 & -1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0 & -1 & 1 \\ \hline 1,5 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & -0,5 & -1,5 & -0,75 \end{array} \right],$$

а согласно (45):

$$\hat{D}_1(1) = \overbrace{\begin{bmatrix} -0,75 & -0,5 \\ -3,5 & 1 \end{bmatrix}} = \begin{pmatrix} -0,75 \\ -0,5 \\ -3,5 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Тогда с учетом (31) получим

$$\hat{X}_1(1) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad X(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Дальнейшие вычисления приводят к следующему:

$$\hat{X}(K) = (0); X(K) = [0], \forall K \geq 2.$$

Следовательно, тейлоровское решение задачи имеет вид

$$X(t) = X(0) + X(1) \cdot (t-1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot (t-1) = \begin{bmatrix} 1 & t \\ -t & 0 \end{bmatrix},$$

в абсолютной точности которого нетрудно убедиться подстановкой его в исходное матричное уравнение.

Замечание 3. При рассмотренном модельном примере с целью демонстрации особенностей предложенных методов мы пользовались аналитическими выражениями функциональных обратных матриц $A^{-1}(t)$, $D^{-1}(t)$, $F^{-1}(t)$ и $B^{-1}(t)$ (определение которых не связано с особыми вычислительными трудностями) для нахождения точных матричных дискрет $A^{-1}(K)$, $D^{-1}(K)$, $F^{-1}(K)$, и $B^{-1}(K)$, $\forall K = \overline{0, \infty}$. Разумеется, что в общем случае, с той же целью, необходимо воспользоваться численными D -процедурами, в частности, средствами, предложенными в работах [5-10].

Замечание 4. Нетрудно также убедиться, что при рассмотрении аналогичных (2) матричных уравнений с прямоугольными матрицами-коэффициентами $A(t)$, $D(t)$, $F(t)$, $B(t)$ и $C(t)$ предложенные в настоящей работе методы остаются в силе с точностью до однопараметрических обобщенных обратных матриц $A^{+}(t)$, $D^{+}(t)$, $F^{+}(t)$ и $B^{+}(t)$, а также их матричных дискрет $A^{+}(K)$, $D^{+}(K)$, $F^{+}(K)$ и $B^{+}(K)$, $\forall K = \overline{0, \infty}$.

Заключение. Таким образом, дифференциальные преобразования позволяют решение исходной непрерывной задачи свести к некоторым рекуррентным численным процедурам при последовательном численно-аналитическом методе и к некоторым поточным численным процедурам при параллельном численно-аналитическом методе. Эти процедуры могут быть эффективно реализованы средствами современных информационных технологий [11]. Восстановление же непрерывного решения $X(t)$ можно осуществлять сравнительно легко – с использованием некоторого обратного дифференциального преобразования (30).

Литература

1. **Симонян С.О.** К решению однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра $A(t) \cdot X(t) + X^T(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН.– 2016.- Т. LXIX, N1.– С. 49-60.

2. Wang M.H., Cheng X.H., Wei M.S. Iterativ Algorithms for Solving the Matrix Equation $A \cdot X \cdot B + C \cdot X^T \cdot D = E$ // Appl.Math. Comput. – 2007.- 187.- P. 622-629.
3. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. - М.: Наука. 2010. – 560 с.
4. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений. - Киев: Наукова думка, 1984.- 420 с.
5. Бадалян Л.А. Разработка методов определения псевдообратных нестационарных матриц и автоматизация вычислительных процедур: Автореф. дис. ... к.т.н. – Ереван, 2007. – 21 с.
6. Симонян А.С. Разработка численно-аналитических методов определения параметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза и автоматизация вычислительных процедур: Автореф. дис. ... к.т.н. – Ереван, 2013. – 24 с.
7. Симонян С.О. Параллельные вычислительные методы определения параметрических обобщенных обратных матриц // Известия Томского политехнического университета.- Томск, 2013.- Т. 323, №5.- С. 10-15.
8. Симонян С.О. Декомпозиционные методы определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц // Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН.- 2014.- Т. LXVII, №3.- С. 336-344.
9. Симонян С.О. Методы определения комплексных однопараметрических обобщенных обратных матриц // Известия Томского политехнического университета.- Томск, 2015.- Т. 326, №3.- С. 157-163.
10. Асланян Г.А. Разработка последовательных и параллельных методов определения параметрических обобщенных обратных матриц и автоматизация вычислительных процедур: Автореф. дис. ... к.т.н.- Ереван, 2015. – 22 с.
11. Strastrup B. The C++ Programming Language.- 4th Edition.- Boston: Addison – Wesleg professional, 2013. – 1368 p.

*Поступила в редакцию 25.02.2016.
Принята к опубликованию 20.05.2016.*

ՄԻԼԿԵՍՏՐԻ ՏԻՊԻ $A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t)$ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՏՐԱՆՍՊՈՆԱՑՎԱԾ ՆՄԱՆԱԿՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Ս.Հ. Սիմոնյան

Առաջարկված են քառակուսի մատրից-գործակիցներով Միլկեստրի տիպի ընդհանրացված միապարամետրական մատրիցային հավասարումների տրանսպոնացված նմանակների լուծման մեթոդներ. անալիտիկ մեթոդը; Գ.Ե. Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա հիմնված հաջորդական և զուգահեռ թվա-անալիտիկ մեթոդները: Բոլոր մեթոդների դեպքերում էլ ստացվել են խնդրի միարժեք լուծելիության համապատասխան պայմանները: Անալիտիկ մեթոդը սահմանափակված է գործնական կիրառություններում, սակայն այն հիմք է հանդիսանում հաջորդական և զուգահեռ թվա-անալիտիկ մեթոդների մշակման համար: Վերջիններս օժտված են այնպիսի կառուցվածքներով, որոնք հնարավորություն են տալիս այդ մեթոդները բավականաչափ հեշտությամբ իրականացնել ժամանակակից տեղեկատվական տեխնոլոգիաների միջոցներով: Առաջարկված մեթոդները որոշակիորեն լրացնում են դիտարկվող բնագավառում գոյություն

ունեցող բացը: Բացի այդ, դրանք հեշտությամբ տրանսֆորմացվում են ուղղանկյուն մատրից-գործակիցներով նման խնդիրների լուծման համար՝ համապատասխան նմանակներին: Այդ դեպքում սովորական ֆունկցիոնալ կամ թվային հակադարձ մատրիցների փոխարեն օգտագործվում են ընդհանրացված միապարամետրական ֆունկցիոնալ կամ թվային հակադարձ մատրիցներ, որոնք, ընդհանուր առմամբ, որոշում են դիտարկվող խնդիրների մոտավոր լուծումները: Առաջարկված մեթոդները, որպես մասնավոր դեպքեր, ընդգրկում են Միլվեստրի, Ստեյնի, Լյապունովի և այլ տիպերի միապարամետրական մատրիցային հավասարումների լուծման մեթոդները: Դիտարկված քառակուսի մատրից-գործակիցներով մոդելային օրինակի լուծման համար օգտագործվել է հաջորդական թվա-անալիտիկ մեթոդը: Ստացվել է առաջարկված մեթոդների հաշվողական արդյունավետությունը ցուցադրող ճշգրիտ թեյլորյան լուծումը:

Առանցքային բառեր. Միլվեստրի տիպի ընդհանրացված միապարամետրական մատրիցային հավասարումների տրանսպոնացված նմանակ, ռեդուկցիա, անալիտիկ լուծում, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, հաջորդական և գուգահեռ թվա-անալիտիկ մեթոդներ, անընդհատ խնդրի անընդհատ լուծում, մոդելային օրինակ:

**METHODS FOR SOLVING SYLVESTER TYPE $A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t)$
 $B(t) = C(t)$ GENERALIZED ONE-PARAMETRIC TRANSPOSED ANALOGUES
 OF MATRIX EQUATIONS**

S.H. Simonyan

Three methods for solving Sylvester type generalized one-parametric transposed analogues of matrix equations with squared matrix-coefficients are proposed: analytical, consecutive and parallel numerical-analytical methods based on G.E. Pukhov's differential transformations. For all the proposed methods, the corresponding conditions of one-valued solvability have been obtained. Though the analytical method is limited to practical applications, it serves as a basis for development of consecutive and parallel numeric-analytical methods. The latter have such a composition which enables to implement those methods quite easily by using modern IT means. The proposed methods definitely fill the existing gap in the researched field. Besides, they are easily transformed to the corresponding analogues for solving such problems with rectangular matrix-coefficients. In that case, instead of ordinary functional or numerical inverse matrices, generalized functional or numerical inverse matrices are used which in general define the approximate solutions of the problems under consideration. The proposed methods, as special cases, embrace Sylvester, Stein, Lyapunov and other types of solution methods for generalized one-parametric matrix equations. A method with squared matrix-coefficients modeling sample is discussed for the solution of which, the consecutive numerical-analytical method has been used. In that case, Tailor's precise solution has been obtained, thus displaying the computational productivity of the proposed methods.

Keywords: Sylvester type generalized one-parametric transposed analogue of a matrix equation, reduction, analytical solution, differential transformations, consecutive and parallel numeric procedures, continuous solution of the continuous problem, modeling sample.

УДК 514.122 + 004.93

О БЛИЗОСТИ ОКРУЖНОСТЕЙ

Г.Ц. Акопян

Ереванский государственный университет

Для большого количества однотипных объектов возникают задачи кластеризации и распознавания. Информация, описывающая заданные объекты, представляется алгебраическими образами. Решение рассматриваемых задач требует применения соответствующих технологий, где фундаментальную роль играет понятие расстояния между образами. Для алгебраического и геометрического представления образов выделяется конечное число признаков или свойств, характерных для всех этих объектов. Каждый объект представляется в виде многомерного вектора, в котором координаты являются действительными числами, равными значению соответствующих свойств. В частном случае, когда количество свойств равно двум, образ является двухмерным вектором или же точкой на плоскости. Зачастую представление об объекте носит размытый и приближенный характер. Это приводит к тому, что образ этого объекта представляется окружностью: чем меньше радиус этой окружности, тем точнее представлен объект.

Рассматриваются окружности на одной и той же плоскости, имеющие в общем случае разные радиусы. Для двух окружностей определяется понятие близости, которая равняется разности расстояния между центрами этих окружностей и сумме их радиусов. Из четырех свойств расстояния близость в общем случае удовлетворяет только условию симметричности. На модельном примере показано, что близость может не удовлетворять неравенству треугольника. Для трех окружностей, ни одна из которых не находится внутри другой, дается необходимое и достаточное условие для того, чтобы для близости выполнялись все три неравенства треугольника. Полученный результат иллюстрируется в частном случае, когда все три окружности имеют одинаковый радиус.

Ключевые слова: окружность, расстояние, близость, неравенство треугольника, эллипс, гипербола.

Введение. При представлении и исследовании многих задач распознавания образов начальным этапом является представление образов в виде многомерных векторов [1]. С этой целью выделяются свойства P_1, P_2, \dots, P_n , которыми описываются рассматриваемые образы. Каждому образу соответствует вектор $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, где $\alpha_i, i = 1, 2, \dots, n$ – действительное число, равное значению свойства P_i рассматриваемого образа. Если $n = 2$, образу соответствует точка на плоскости. Зачастую вместо определенного образа, которому соответствует точка A , рассматриваются образы, лежащие в ε -окрестности точки A .

Математический аппарат. Элементы аналитической геометрии: окружность, эллипс, гипербола.

1. Объектом нашего исследования являются окружности, определенные на заданной плоскости. Окружность в этой плоскости с центром в точке A и радиусом ε ($\varepsilon \geq 0$) будем обозначать через $A(\varepsilon)$: $A(\varepsilon) = \{B \mid |A B| = \varepsilon\}$, где $|A B|$ – расстояние между точками A и B , для которого, как известно, выполняются такие свойства, как симметричность, неотрицательность, невырожденность и аксиома треугольника [2].

Для двух окружностей $A^1(\varepsilon_1)$ и $A^2(\varepsilon_2)$ рассмотрим следующее число:

$$\rho(A^1(\varepsilon_1), A^2(\varepsilon_2)) = |A^1 A^2| - \varepsilon_1 - \varepsilon_2,$$

которое назовем *близостью* этих окружностей.

Модельный пример. Пусть $A = (-8, 0)$, $B = (8, 0)$, $C = (4, 1)$ (см. рис. 1). Применяя теорему Пифагора для прямоугольных треугольников ACD и BCD и определение близости для окружностей $A(1)$, $B(2)$, $C(3)$, получаем $\rho(A(1), C(3)) = \sqrt{97} - 4 \sim 5,8$, $\rho(B(2), C(3)) = \sqrt{65} - 5 \sim 3,1$, $\rho(A(1), B(2)) = 13$, и неравенство $\rho(A(1), B(2)) \leq \rho(A(1), C(3)) + \rho(B(2), C(3))$ не выполняется.

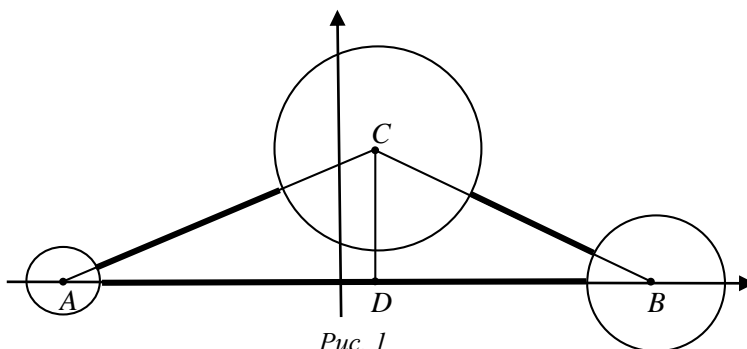


Рис. 1

Легко заметить, что для близости между двумя окружностями $A^1(\varepsilon_1)$ и $A^2(\varepsilon_2)$ не выполняются все свойства расстояния, при этом выполняются следующие свойства:

а) $\rho(A^1(\varepsilon_1), A^2(\varepsilon_2)) \geq -\varepsilon_1 - \varepsilon_2$, и это число равно $-\varepsilon_1 - \varepsilon_2$, если $A^1 = A^2$ (в частном случае $\rho(A(\varepsilon), A(\varepsilon)) = -2\varepsilon$);

б) $\rho(A^1(\varepsilon_1), A^2(\varepsilon_2)) = 0$ тогда и только тогда, когда эти окружности касаются с внешней стороны;

в) $\rho(A^1(\varepsilon_1), A^2(\varepsilon_2)) > 0$ тогда и только тогда, когда эти окружности не пересекаются и ни одна из них не находится внутри другой;

г) $\rho(A^1(\varepsilon_1), A^2(\varepsilon_2)) = \rho(A^2(\varepsilon_2), A^1(\varepsilon_1))$ – свойство симметричности.

Из этих свойств следует, что $\rho(A^1(\varepsilon_1), A^2(\varepsilon_2)) \geq 0$ тогда и только тогда, когда ни одна из этих окружностей не находится внутри другой или когда они имеют самое большее одну общую точку.

Модельный пример показывает, что близость в общем случае не удовлетворяет неравенству треугольника.

Рассмотрим три окружности $A(\varepsilon_1)$, $B(\varepsilon_2)$ и $C(\varepsilon_3)$, для которых попарные близости являются неотрицательными числами:

$$\rho(A(\varepsilon_1), B(\varepsilon_2)) \geq 0, \rho(A(\varepsilon_1), C(\varepsilon_3)) \geq 0, \rho(B(\varepsilon_2), C(\varepsilon_3)) \geq 0.$$

Предположим для простоты, что точки A и B лежат на оси X и расположены симметрично относительно начала координат:

$$A = (-a, 0), B = (a, 0) \text{ и } C = (x, y).$$

В этом случае

$$|AB| = 2a, |AC| = \sqrt{(a+x)^2 + y^2} \text{ и } |BC| = \sqrt{(a-x)^2 + y^2}.$$

Рассматриваемые близости вычисляются следующими формулами:

$$\rho(A(\varepsilon_1), B(\varepsilon_2)) = 2a - \varepsilon_1 - \varepsilon_2, \text{ где } \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \leq |AB|;$$

$$\rho(A(\varepsilon_1), C(\varepsilon_3)) = \sqrt{(a+x)^2 + y^2} - \varepsilon_1 - \varepsilon_3, \text{ где } \varepsilon_1 + \varepsilon_3 \leq |AC|;$$

$$\rho(B(\varepsilon_2), C(\varepsilon_3)) = \sqrt{(a-x)^2 + y^2} - \varepsilon_2 - \varepsilon_3, \text{ где } \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \leq |BC|.$$

2. Найдем геометрическое место точек заданной плоскости для множества центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для которых выполняется следующее неравенство треугольника:

$$\rho(A(\varepsilon_1), B(\varepsilon_2)) \leq \rho(A(\varepsilon_1), C(\varepsilon_3)) + \rho(C(\varepsilon_3), B(\varepsilon_2)). \quad (1)$$

Для этого сначала найдем геометрическое место точек для множества центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для которых неравенство (1) превращается в равенство. Подставляя в это равенство формулы рассматриваемых близостей, получаем

$$2(a + \varepsilon_3) - \sqrt{(a+x)^2 + y^2} = \sqrt{(a-x)^2 + y^2}.$$

Возведя обе части этого равенства в квадрат и упростив их, получим

$$(a + \varepsilon_3)^2 + ax = (a + \varepsilon_3) \sqrt{(a+x)^2 + y^2}.$$

Если $a + \varepsilon_3 = 0$, то $a = \varepsilon_3 = 0$, т.е. все три окружности имеют радиус 0, точки A и B совпадают с началом координат, и неравенство (1) выполняется для всех точек C плоскости.

В противном случае, обе части полученного уравнения разделим на $(a + \varepsilon_3)$. Возведя в квадрат обе части полученного равенства и упростив их, получим

$$x^2 \frac{\varepsilon_3(2a + \varepsilon_3)}{(a + \varepsilon_3)^2} + y^2 = \varepsilon_3(2a + \varepsilon_3).$$

Если $\varepsilon_3 = 0$, то $y = 0$, т.е. точка C лежит на оси X . В противном случае, разделим на $\varepsilon_3(2a + \varepsilon_3)$. Получим следующее уравнение эллипса [3]:

$$\frac{x^2}{(a + \varepsilon_3)^2} + \frac{y^2}{\varepsilon_3(2a + \varepsilon_3)} = 1. \quad (2)$$

Заметим, что точки A и B являются фокусами этого эллипса. Заметим также, что это уравнение зависит только от $|AB|$ и ε_3 и не зависит от радиусов ε_1 и ε_2 .

Неравенство (1) не выполняется, если $\varepsilon_3 \neq 0$ и центр C окружности $C(\varepsilon_3)$ находится внутри этого эллипса.

3. Найдем теперь геометрическое место точек заданной плоскости для множества центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для которых выполняется следующее неравенство треугольника:

$$\rho(A(\varepsilon_1), C(\varepsilon_3)) \leq \rho(A(\varepsilon_1), B(\varepsilon_2)) + \rho(B(\varepsilon_2), C(\varepsilon_3)). \quad (3)$$

Для этого сначала найдем геометрическое место точек для множества центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для которых неравенство (3) превращается в равенство. Подставляя в это равенство формулы рассматриваемых близостей, получаем

$$\sqrt{(a+x)^2 + y^2} = 2(a_2) + \sqrt{(a-x)^2 + y^2}.$$

Возведя обе части этого равенства в квадрат и упростив их, получим

$$ax - (a_2)^2 = (a_2) \sqrt{(a-x)^2 + y^2}.$$

Если $\varepsilon_2 = a$, то $x = 0$, т.е. точка C лежит на оси Y .

В противном случае, разделим обе части полученного равенства на $a - \varepsilon_2$. Возведя их в квадрат и упростив, получим

$$x^2 \frac{\varepsilon_2(2a - \varepsilon_2)}{(a - \varepsilon_2)^2} - y^2 = \varepsilon_2(2a - \varepsilon_2).$$

Если $\varepsilon_2 = 0$, то получим $y = 0$, т.е. точка C лежит на оси X . В противном случае, разделив обе части полученного равенства на $\varepsilon_2(2a - \varepsilon_2)$, получим следующее уравнение гиперболы, которую назовем *правой* гиперболой [3]:

$$\frac{x^2}{(a - \varepsilon_2)^2} - \frac{y^2}{\varepsilon_2(2a - \varepsilon_2)} = 1. \quad (4)$$

Заметим, что фокусами этой гиперболы являются точки A и B . Уравнение (4) зависит только от $|AB|$ и ε_2 и не зависит от радиусов ε_1 и ε_3 . Заметим также, что окружность $B(\varepsilon_2)$ касается правой ветви правой гиперболы, если $\varepsilon_2 < a$, и левой ветви правой гиперболы, если $\varepsilon_2 > a$. Обе ветви совпадают с осью Y , если $\varepsilon_2 = a$. Если D – точка пересечения эллипса и правой гиперболы, то

$$\rho(B(\varepsilon_2), D(\varepsilon_3)) = 0 \text{ и } \rho(A(\varepsilon_1), D(\varepsilon_3)) = \rho(A(\varepsilon_1), B(\varepsilon_2)).$$

Нетрудно показать, что неравенство (3) не выполняется только для тех окружностей $C(\varepsilon_3)$, для которых:

- а) центр C лежит правее правой ветви правой гиперболы, если $\varepsilon_2 < a$;
- б) центр C лежит правее левой ветви правой гиперболы, если $\varepsilon_2 > a$;

в) центр C лежит правее оси Y , если $\varepsilon_2 = a$.

4. Аналогичным образом найдем множество центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для которых выполняется следующее неравенство треугольника:

$$\rho(B(\varepsilon_2), C(\varepsilon_3)) \leq \rho(B(\varepsilon_2), A(\varepsilon_1)) + \rho(A(\varepsilon_1), C(\varepsilon_3)). \quad (5)$$

Для этого сначала найдем геометрическое место точек для множества центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для которых неравенство (5) превращается в равенство. Подставляя в это равенство формулы рассматриваемых близостей, получаем

$$\sqrt{(a-x)^2 + y^2} = 2(a-\varepsilon_1) + \sqrt{(a+x)^2 + y^2}.$$

Возведя обе части этого равенства в квадрат и упростив их, получим

$$ax - (a-\varepsilon_1)^2 = (a-\varepsilon_1)\sqrt{(a-x)^2 + y^2}.$$

Если $\varepsilon_1 = a$, то $x = 0$, т.е. точка C лежит на оси Y .

В противном случае, обе части полученного равенства разделим на $a-\varepsilon_1$. Возведя их в квадрат и упростив, получим

$$x^2 \frac{\varepsilon_1(2a-\varepsilon_1)}{(a-\varepsilon_1)^2} - y^2 = \varepsilon_1(2a-\varepsilon_1).$$

Если $\varepsilon_1 = 0$, то получим $y = 0$, т.е. точка C лежит на оси X . В противном случае, разделив обе части полученного равенства на $\varepsilon_1(2a-\varepsilon_1)$, получим следующее уравнение гиперболы, которую назовем *левой* гиперболой:

$$\frac{x^2}{(a-\varepsilon_1)^2} - \frac{y^2}{\varepsilon_1(2a-\varepsilon_1)} = 1. \quad (6)$$

Заметим, что фокусами этой гиперболы являются точки A и B . Уравнение (6) зависит только от $|AB|$ и ε_1 и не зависит от радиусов ε_2 и ε_3 . Заметим также, что окружность $A(\varepsilon_1)$ касается левой ветви левой гиперболы, если $\varepsilon_1 < a$, и правой ветви левой гиперболы, если $\varepsilon_1 > a$. Обе ветви совпадают с осью Y , если $\varepsilon_1 = a$. Если E – точка пересечения эллипса и левой гиперболы, то

$$\rho(A(\varepsilon_1), E(\varepsilon_3)) = 0 \text{ и } \rho(A(\varepsilon_1), B(\varepsilon_2)) = \rho(E(\varepsilon_3), B(\varepsilon_2)).$$

Следует отметить, что правые и левые гиперболы совпадают, если $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, а также если $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 2a$.

Нетрудно показать, что неравенство (5) не выполняется только для тех окружностей $C(\varepsilon_3)$, для которых:

- а) центр C лежит левее левой ветви левой гиперболы, если $\varepsilon_1 < a$;
- б) центр C лежит левее правой ветви левой гиперболы, если $\varepsilon_1 > a$;
- в) центр C лежит левее оси Y , если $\varepsilon_1 = a$.

Таким образом, нами доказана следующая теорема.

Теорема. Для того, чтобы для близости трех окружностей $A(\varepsilon_1)$, $B(\varepsilon_2)$ и $C(\varepsilon_3)$, где $A = (-a, 0)$, $B = (a, 0)$ и $C = (x, y)$, выполнялись все три неравенства треугольника

(1), (3), (5), необходимо и достаточно, чтобы центр C окружности $C(\varepsilon_3)$ удовлетворял всем следующим свойствам:

- а) C не лежит внутри эллипса (2);
- б) C не лежит правее правой ветви правой гиперболы (4), если $\varepsilon_2 < a$;
- в) C не лежит правее левой ветви правой гиперболы (4), если $\varepsilon_2 > a$;
- г) C не лежит правее оси Y , если $\varepsilon_2 = a$;
- д) C не лежит левее левой ветви левой гиперболы (6), если $\varepsilon_1 < a$;
- е) C не лежит левее правой ветви левой гиперболы (6), если $\varepsilon_1 > a$;
- ж) C не лежит левее оси Y , если $\varepsilon_1 = a$.

На рис. 2 изображены окружности $A(\varepsilon_1)$, $B(\varepsilon_2)$, эллипс (2), правая ветвь правой гиперболы (4), левая ветвь левой гиперболы (6) для случая, когда

$$0 < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 < a.$$

Геометрическое множество точек C , для которых выполняются все три неравенства треугольника (1), (3), (5), на рисунке изображено затемненной областью.

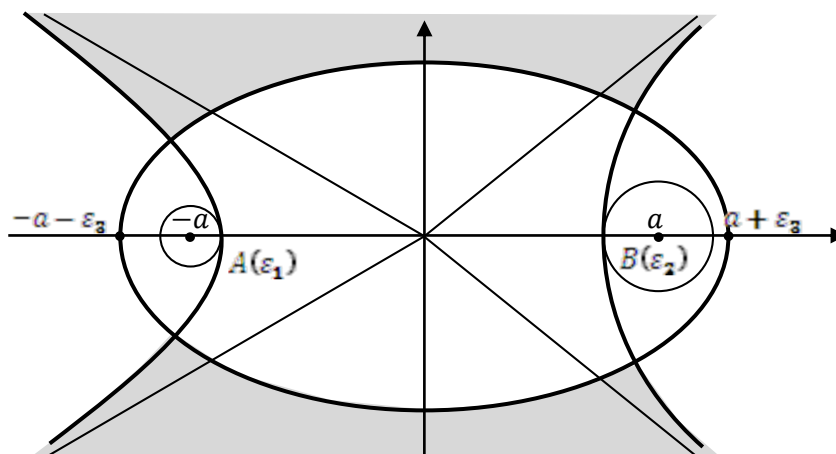


Рис. 2

Следствие 1. Если $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = a$, то для того, чтобы для близости рассматриваемых окружностей выполнялись все три неравенства треугольника, необходимо и достаточно, чтобы центр C не лежал внутри эллипса (2) и не находился вне оси Y .

Следствие 2. Если $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 2a$, $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$, то для того, чтобы для близости рассматриваемых окружностей выполнялись все три неравенства треугольника, необходимо и достаточно, чтобы:

- а) центр C не лежал внутри эллипса (2) и не находился на правой ветви гиперболы (4), совпадающей с гиперболой (6), если $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$;

б) центр C не лежал внутри эллипса (2) и не находился на левой ветви гиперболы (4), если $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$.

В частном случае, если $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon$ и $0 < \varepsilon < a$, то левые и правые гиперболы совпадают друг с другом (см. рис. 3).

Полученный эллипс пересекает ось Y в двух точках $(0, \pm \sqrt{\varepsilon(2a + \varepsilon)})$. Фокусы этого эллипса совпадают с фокусами гиперболы и являются точками A и B . Асимптотами гиперболы являются

$$y = \pm \frac{\sqrt{\varepsilon(2a - \varepsilon)}}{a - \varepsilon} x.$$

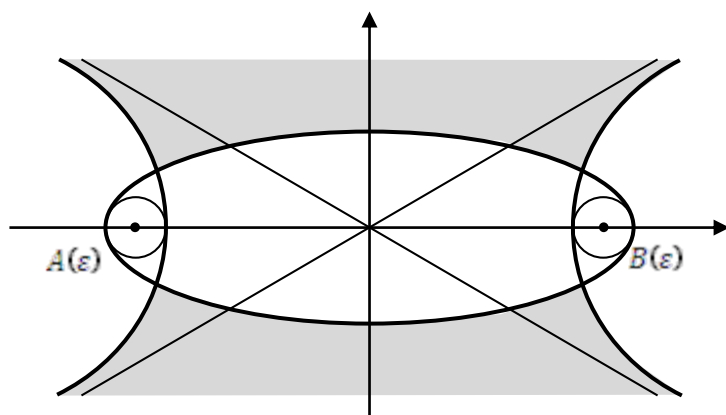


Рис. 3

Заметим, что если $\varepsilon \rightarrow 0$, то незатемненная область стремится к оси X , поскольку точки пересечения эллипса с осью Y стремятся к началу координат, и асимптоты гиперболы стремятся к оси X , а если $\varepsilon = 0$, то затемненная область совпадает со всей плоскостью.

Если мы на заданной плоскости изобразим все эллипсы и гиперболы для всех $0 < \varepsilon < a$, то получим довольно известную картину "кофокальных конических сечений". Эта картина образуется также при распространении волн, если в воду, поверхность которой совпадает с рассматриваемой плоскостью, в точках A и B одновременно будут брошены два одинаковых камня [4].

Заключение. Таким образом, для заданных окружностей $A(\varepsilon_1)$ и $B(\varepsilon_2)$ дается полное описание геометрического множества мест центров C окружности $C(\varepsilon_3)$, для близости которых выполняются все три неравенства треугольника. Этот результат может иметь прямое применение в задачах кластеризации и распознавания образов, представленных окружностями. Построение алгоритмов, решающих такие задачи, относится к области информационных технологий, где требуется представить и обработать большое количество заданной

первоначальной информации. Отметим также, что полученные результаты могут быть применены и в задачах вычислительной геометрии [5].

Литература

1. **Фомин Я.А.** Распознавание образов: теория и применения.- М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с.
2. **Шрейдер Ю.А.** Что такое расстояние? .- М.: Физматгиз, 1963. – 76 с.
3. **Ильин В.А., Позняк Э.Г.** Аналитическая геометрия.- М.: Физматлит, 2006. – 224 с.
4. **Kendig K.** Conics. The mathematical Association of America.- Washington, 2005. – 404 p.
5. **Berg M., Cheong O., Kreveld M., Overmars M.** Computational Geometry. Algorithms and Applications.- Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 388 p.

*Поступила в редакцию 18.04.2016.
Принята к опубликованию 20.05.2016.*

ՇՐՋԱՆԱԳԾԵՐԻ ՄՈՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Հ.Յ. Հակոբյան

Մեծ քանակությամբ միատիպ օբյեկտների համար առաջանում են դասակարգման և ճանաչման խնդիրներ: Տրված օբյեկտները նկարագրող ինֆորմացիան ներկայացվում է հանրահաշվական պատկերների միջոցով: Դիտարկվող խնդիրների լուծումը պահանջում է համապատասխան տեխնոլոգիաների կիրառում, երբ հիմնարար է պատկերների միջև հեռավորության գաղափարը: Պատկերների հանրահաշվական և երկրաչափական ներկայացման համար առանձնացվում են վերջավոր թվով բոլոր օբյեկտներին բնորոշ հայտանիշներ կամ հատկություններ: Յուրաքանչյուր օբյեկտ ներկայացվում է բազմաչափ վեկտորի տեսքով, որի կոորդինատները հանդիսանում են իրական թվեր, որոնք հավասար են համապատասխան հատկությունների արժեքներին: Մասնավոր դեպքում, եթե հատկությունների քանակը հավասար է երկուսի, պատկերը հանդիսանում է երկչափանի վեկտոր կամ հարթության կետ: Հաճախ օբյեկտի մասին պատկերացումն ունի չտարրորոշված, մոտավոր բնույթ, ինչը հանգեցնում է նրան, որ այդ օբյեկտի պատկերը ներկայացվում է շրջանագծով. որքան փոքր է այդ շրջանագծի շառավիղը, այդքան ճշգրիտ է ներկայացված օբյեկտը:

Դիտարկվում են միևնույն հարթության վրա գտնվող շրջանագծեր, որոնք ընդհանուր դեպքում ունեն տարբեր շառավիղներ: Երկու շրջանագծերի համար սահմանվում է մոտիկության գաղափարը, որը հավասար է այդ շրջանագծերի կենտրոնների միջև եղած հեռավորության և նրանց շառավիղների գումարի տարբերությանը: Հեռավորության չորս հատկություններից մոտիկությունը, ընդհանուր դեպքում, բավարարում է միայն

սիմետրիկության պայմանը: Մոդելային օրինակով ցույց է տրվում, որ մոտիկությունը կարող է չբավարարել եռանկյան անհավասարության պայմանը: Երեք շրջանագծերի համար, որոնցից ոչ մեկը չի գտնվում մյուսի ներսում, տրվում է անհրաժեշտ և բավարար պայման, որպեսզի մոտիկության համար տեղի ունենան բոլոր երեք եռանկյունների անհավասարությունները: Ստացված արդյունքը պատկերված է մասնավոր դեպքի համար, երբ բոլոր շրջանագծերն ունեն հավասար շառավիղներ:

Առանցքային բաներ. շրջանագիծ, հեռավորություն, մոտիկություն, եռանկյան անհավասարություն, էլիպս, հիպերբոլ:

ON THE CLOSENESS OF CIRCLES

H.Ts. Hakobyan

Clustering and pattern recognition tasks appear for a large number of similar objects. The information, describing the given objects is presented algebraically. The solution of these problems requires application of appropriate technologies, where the concept of distance between the images plays a fundamental role. A finite number of features or characteristics is allocated for the algebraic and geometric presentations of images typical of all these objects. Each object is represented as a multidimensional vector, the coordinates of which are real numbers equal to the value of the corresponding properties. In the particular case, if the number of properties is equal to two properties, the image is a two-dimensional vector or a point on the plane. Very often, the idea of an object is blurred and approximate, which leads to the fact that the image of the object is presented by a circle: the smaller the radius of the circle, the more accurate the presented object is.

The circles on the same plane, generally having different radii are considered. The concept of closeness is defined for the two circles equal to the difference between the distance between the centers of the circles, and the sum of their radii. Out of the four properties of the distance, closeness generally meets only the symmetry condition. In the model example, it is shown that closeness can be unsatisfactory for the triangle inequality. For the three circles, none of which is placed inside the other, a necessary and sufficient condition is given in order to allow to carry out all three triangle inequalities for closeness. The result is illustrated in the special case where all the three circles have the same radius.

Keywords: circle, distance, closeness, triangle inequality, ellipse, hyperbole.

УДК 681.51: 621.513

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

С.Ш. Баласанян, Э.М. Геворгян

Национальный политехнический университет Армении, Капанский филиал

Рассматривается проблема оценки эффективности методов построения статистических моделей с точки зрения их возможности идентифицировать реальные физические закономерности моделируемого процесса. С целью решения этой проблемы предлагается проводить компьютерные эксперименты с использованием имитационной модели виртуального объекта, представляющей собой вероятностную постулированную модель, применяемую при классическом регрессионном анализе. Формирование возможных реализаций случайного вектора входных переменных виртуальной модели осуществляется методом моделирования невырожденного многомерного нормального распределения, который основывается на использовании ковариационной матрицы переменных.

С помощью компьютерных имитационных экспериментов исследовано влияние объёма выборки, уровня статистического шума на прогнозирующую способность моделей, построенных с использованием методов регрессии и группового учета аргументов. Установлено, что сравнительно высокое прогнозирующее свойство моделей, построенных методом группового учета аргументов, проявляется особенно при умеренном статистическом шуме и малых выборках, соизмеримых с числом входных переменных. Исследованы также возможности рассмотренных методов с точки зрения выявления физических и системных закономерностей различных объектов с заданными постулированными функциями. Предложенная имитационная модель позволяет исследовать также влияние параметров виртуального объекта на адекватность и статистическую значимость моделей, построенных в результате имитационных экспериментов.

Практическое применение предложенной имитационной модели виртуального объекта показало ее пригодность для оценки эффективности различных методов моделирования. Эффективность практического применения рассмотренных методов оценена по результатам построения статистической модели заданного виртуального объекта. Применение шагового регрессионного метода позволило построить наилучшую, с точки зрения компромисса между адекватностью и сложностью, модель, что свидетельствует о целесообразности применения методов регрессии при построении статистических моделей.

Ключевые слова: виртуальный объект, шаговая регрессия, случайный вектор, имитация, адекватность.

Введение. Построение математических моделей технологических процессов часто осуществляется статистическими методами на основании экспериментальных данных, полученных в результате пассивного наблюдения. Задача разработки модели по экспериментальным данным состоит в построении зависимости между входными и выходными параметрами [1]. В связи с наличием различных методов моделирования возникает проблема выбора наиболее эффективного из них для моделирования конкретного объекта.

Обычно эффективность конкурирующих методов моделирования оценивается в результате сравнения моделей конкретного объекта, построенных с использованием одной и той же выборки, полученной в результате пассивного наблюдения. Однако этот метод позволяет сравнивать конкурирующие методы лишь с точки зрения прогнозирующих свойств построенных моделей и не дает никакого представления об их соответствии реальным физическим закономерностям моделируемого объекта. Современный уровень развития компьютерного моделирования позволяет использовать имитационные эксперименты как мощный инструмент для исследования эффективности методов структурно-параметрической идентификации. Такой инструмент применяется многими отечественными и зарубежными учеными. Комплексные вычислительные эксперименты выполнены в [2, 3], где исследуются различные критерии качеств идентификации и алгоритмы моделирования в целом.

В данной работе с целью оценки исследования эффективности различных методов моделирования, с точки зрения их возможности выявления физических и системных закономерностей моделируемых объектов, предлагается проводить компьютерные эксперименты с использованием имитационной модели виртуального объекта [4].

Описание виртуального объекта и ее имитационной модели. В настоящей работе в качестве виртуального объекта моделирования рассматривается стохастическая постулированная модель, используемая в классическом регрессионном анализе [4–6]:

$$\tilde{y} = G(\tilde{x}, \beta) + \tilde{\varepsilon}, \quad (1)$$

где $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ – вектор входных (независимых) переменных; \tilde{y} – случайная выходная (зависимая) переменная; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ – неизвестный вектор коэффициентов модели; $\tilde{\varepsilon}$ – случайная величина (случайное возмущение, ошибка, шум), формально учитывающая влияние случайных факторов. Предполагается, что как переменные модели, так и случайное возмущение распределены нормально с параметрами $M[\tilde{\varepsilon}] = 0, \sigma_{\tilde{\varepsilon}}^2 = \sigma^2 = const$.

Имитационная модель виртуального объекта, блок–схема которой приведена на рис. 1, функционирует следующим образом.

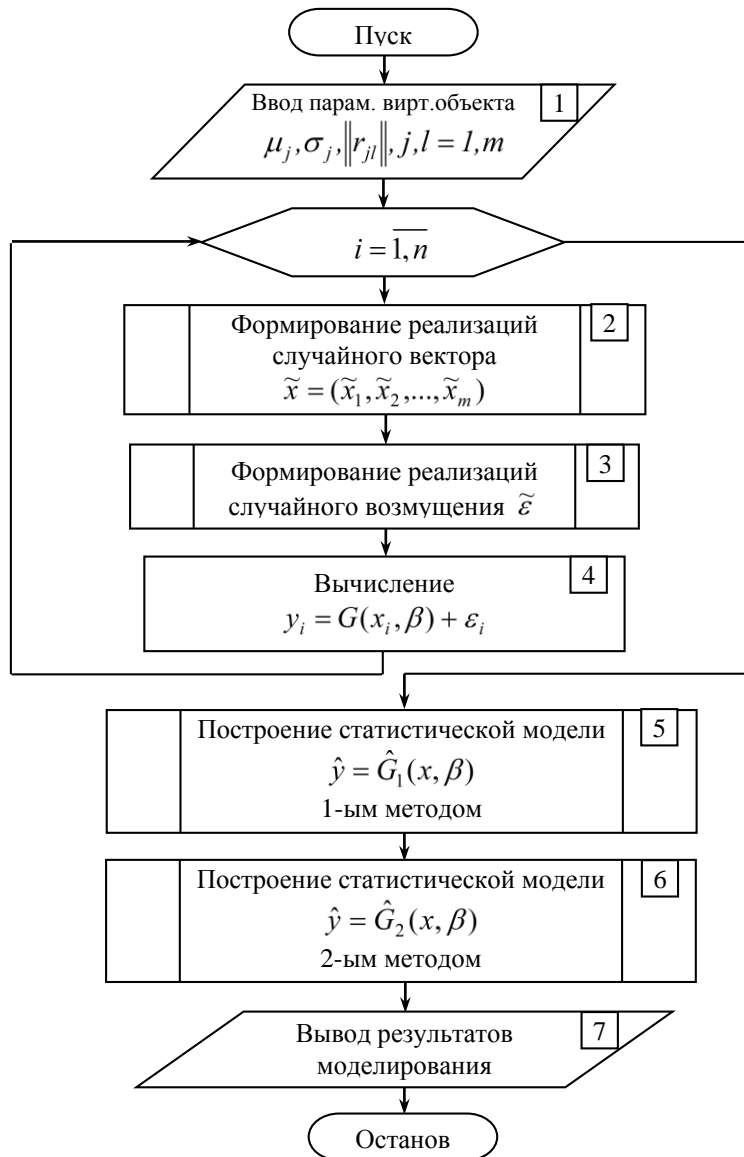


Рис. 1. Блок–схема имитационной модели виртуального объекта

Блок 1 осуществляет ввод исходных данных моделирования: значения параметров μ_j, σ_j , корреляционную матрицу $\|r_{ij}\|, (l, j = \overline{1, m})$ входных перемен-

ных моделируемого объекта, значения σ_ε случайного возмущения ε и требуемое количество n имитируемых статистических данных. Блоки 2–4 осуществляют имитацию функционирования исследуемого объекта в соответствии с соотношением (1), т.е. моделируют возможные реализации вектора входных переменных $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ методом невырожденного многомерного нормального распределения [2, 3] и случайного возмущения $\tilde{\varepsilon}$, затем в соответствии с заданной функцией $G(x, \beta)$ формируют возможные значения выходной переменной \tilde{y} . Далее на основании статистических данных $\{(\tilde{x}_{1i}, \tilde{x}_{2i}, \dots, \tilde{x}_{mi}, y_i) : i = \overline{1, n}\}$, полученных в результате имитационного моделирования исследуемого виртуального объекта (блоки 2-4), выбранными методами строятся статистические модели виртуального объекта (блок 6), а блок 7 выдает результаты моделирования.

Формирование возможных реализаций случайного вектора $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ (рис. 1) осуществляется методом моделирования невырожденного многомерного нормального распределения [6], основывающимся на использовании ковариационной матрицы C , элементы которой вычисляются по формуле

$$c_{ij} = r_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad (2)$$

где σ_i, σ_j - среднеквадратические отклонения входных переменных $\tilde{x}_i, \tilde{x}_j (i, j = \overline{1, m})$; r_{ij} - коэффициент корреляции между этими переменными.

Как известно, случайный вектор \tilde{x} с вышеуказанными характеристиками можно получить специальным линейным преобразованием случайного нормально распределенного стандартизованного вектора $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_m)$, компоненты которого представляют собой нормально распределенные случайные величины с параметрами $\mu = 0, \sigma = 1$:

$$\tilde{x} = A \cdot \tilde{z} + \mu. \quad (3)$$

Коэффициенты a_{ij} (элементы матрицы A) определяются рекуррентной процедурой:

$$a_{11} = \sqrt{c_{11}}, \quad a_{22} = \sqrt{c_{22} - \frac{c_{21}^2}{c_{11}}}, \quad a_{21} = \frac{c_{12}}{a_{11}} = \frac{c_{12}}{\sqrt{c_{11}}}.$$

Общая рекуррентная формула расчета коэффициента a_{ij} имеет вид

$$a_{ij} = \frac{c_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} \cdot a_{jk}}{\sqrt{c_{jj} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{jk}^2}}, \quad \text{где } \left(\sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} \cdot a_{jk} = 0 \right), \quad 1 < j \leq i \leq m. \quad (4)$$

Блок–диаграмма предложенной имитационной модели виртуального объекта, реализованной в среде LabVIEW, приведена на рис. 2.

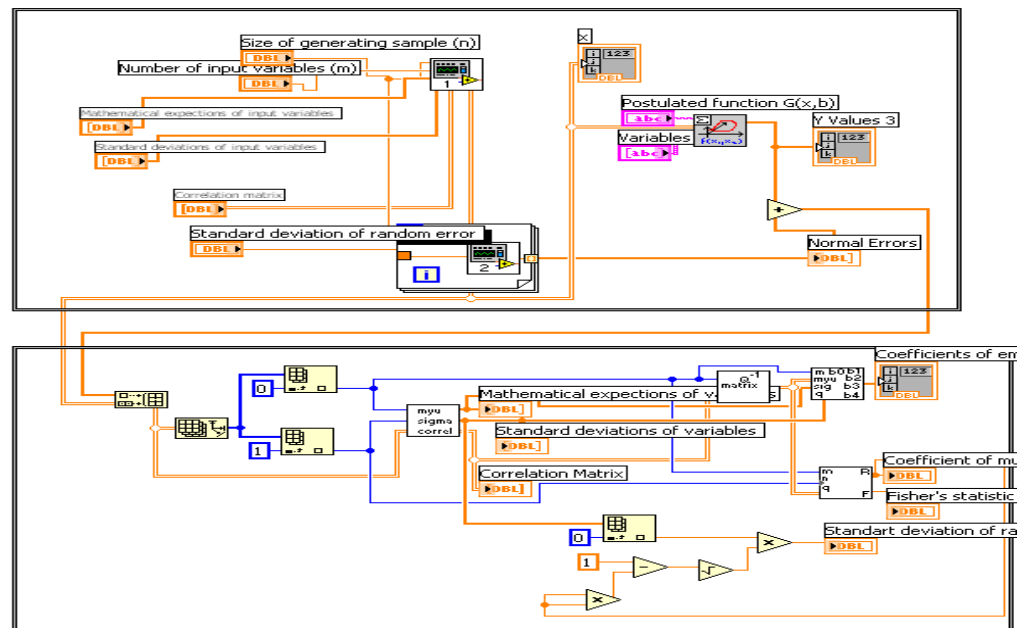


Рис. 2. Блок-диаграмма имитационной модели виртуального объекта

Применение имитационной модели виртуального объекта для оценки эффективности методов моделирования. Практическое применение модели виртуального объекта иллюстрируется на примере сравнения метода шаговой регрессии и метода группового учета аргументов.

Виртуальный объект задан следующими параметрами:

- исходные независимые (входные) переменные – x_1, x_2, x_3 ;
- отклик, зависимая (выходная) переменная – y ;
- постулированная модель:

$$y = x_1(0,04x_2 - 0,4) + 113x_3 - 170700 + \tilde{\varepsilon}; \quad (5)$$

- $\sigma_j, \mu_j, \sigma^2$,

$$\begin{array}{c}
 y \quad x_1 \quad x_2 \quad x_3 \\
 y \quad 1 \quad 0,6 \quad 0,2 \quad 0,31 \\
 \bullet \quad \|r_{ij}\| = x_1 \quad 0,6 \quad 1 \quad -0,28 \quad 0,32 \\
 \quad \quad x_2 \quad 0,2 \quad -0,28 \quad 1 \quad -0,6 \\
 \quad \quad x_3 \quad 0,31 \quad 0,32 \quad -0,6 \quad 1
 \end{array}$$

Построение модели методом шаговой регрессии. При построении модели методом шаговой регрессии имеются следующие данные:

- наряду с исходными входными переменными введены преобразованные входные переменные:

$$x_4 = x_1 \cdot x_2, \quad x_5 = x_1 \cdot x_3, \quad x_6 = x_2 \cdot x_3, \quad x_7 = x_2^2, \quad x_8 = x_3^2, \quad x_9 = x_1^2;$$

- число экспериментальных данных: $n = 180$;
- уровень значимости при проверке статистических гипотез: $\alpha = 0,05$;
- табличное значение критерия Фишера: $F_{0,95} = 3,9$.

Процесс построения регрессионной модели компактно представлен с помощью таблицы.

Таблица

Значения F -критерия и коэффициента R^2

Включаемая переменная	x_4	x_3 / x_4	x_4 / x_3	$x_5 / x_4 x_3$
Регрессионная модель на предыдущем шаге	$\hat{y} = \bar{y}$	$\hat{y} = f_1(x_4)$	$\hat{y} = f_3(x_3)$	$\hat{y} = f_2(x_4, x_3)$
Регрессионная модель на данном шаге	$\hat{y} = f_1(x_4)$	$\hat{y} = f_2(x_4, x_3)$	$\hat{y} = f_2(x_4, x_3)$	$\hat{y} = f_4(x_4, x_3, x_5)$
Общий критерий (\hat{F})	365,3	400,6	400,6	408,3
Частный критерий (F)	365,3	276,7	1075	$2,95 < 3,9$
Коэффициент множествен. корреляции (R)	0,9055	0,9339	0,9339	0,935
Коэффициент вариации $v_{\hat{y}}$	8,83	5,05	5,05	3,5

1. На основании данных $\{x_{ji} : j = \overline{1,3}; i = \overline{1,180}\}$, полученных в результате компьютерного эксперимента, с использованием имитационной модели виртуального объекта вычисляется корреляционная матрица $\|r_{ij}\|$:

	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
D	1	0,61	0,18	0,30	0,82	0,62	0,22	0,12	0,25	0,60
x_1	0,61	1	-0,30	0,30	0,50	0,95	-0,25	-0,31	0,24	0,95
x_2	0,18	-0,30	1	-0,62	0,45	-0,47	0,95	0,95	-0,62	-0,28
x_3	0,30	0,30	-0,62	1	-0,16	0,30	-0,29	-0,55	0,95	0,24
x_4	0,82	0,50	0,45	-0,16	1	0,50	0,41	0,40	-0,15	0,51
x_5	0,62	0,95	-0,47	0,30	0,50	1	-0,28	-0,41	0,45	0,95
x_6	0,22	-0,25	0,95	-0,29	0,41	-0,28	1	0,95	-0,28	-0,25
x_7	0,12	-0,31	0,95	-0,55	0,40	-0,41	0,95	1	-0,53	-0,25
x_8	0,25	0,24	-0,62	0,95	-0,15	0,45	-0,28	-0,53	1	0,20
x_9	0,60	0,95	-0,28	0,24	0,51	0,95	-0,25	-0,25	0,20	1

2. В качестве первой независимой переменной для включения в регрессионную модель выбирается x_4 , которая наиболее сильно коррелирована с откликом. Уравнение $\hat{y} = f_1(x_4)$ является статистически значимым, так как расчетное значение F - критерия \hat{F}_{x_4} превосходит выбранное табличное (критическое) значение ($F_{0,95} = 3,9$).

3. В качестве следующей переменной, претендующей для включения в регрессионную модель, выбирается x_3 , которая характеризуется наиболее высоким частным коэффициентом корреляции с откликом. Переменная x_3 включается в регрессионную модель, поскольку расчетное значение частного F -критерия \hat{F}_{x_3} превосходит табличное значение. Переменная x_4 в регрессионной модели сохраняется, поскольку расчетное значение \hat{F}_{x_4/x_3} частного F – критерия больше критического. Общий F – критерий показывает, что регрессионная модель $\hat{y} = f_2(x_4, x_3)$ является статистически значимой при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

4. Следующей переменной, претендующей на включение в регрессионное уравнение, является x_5 , которая характеризуется наиболее высоким частным коэффициентом корреляции с откликом. Вклад переменной x_5 является статистически незначимым при $\alpha = 0,05$, поскольку значение частного F –

критерия \hat{F}_{x_5/x_4x_3} меньше критического. Следовательно, x_5 не включается в модель, шаговая регрессионная процедура заканчивается, и в качестве наилучшей регрессионной модели выбирается $\hat{y} = f_2(x_4, x_3)$, которая имеет следующий вид:

$$y = x_1(0,039x_2 - 0,433) + 113,7x_3 - 170499. \quad (6)$$

Таким образом, применение метода шаговой регрессии позволило с достаточной для практики точностью идентифицировать существующую зависимость между выходными и входными переменными заданной постулированной моделью.

Построение модели методом группового учета аргументов (МГУА) с использованием многорядного полиномиального алгоритма [7–9]. При построении модели имеем следующие исходные данные:

- y – отклик, зависимая переменная;
- x_1, x_2, x_3 – исходные независимые переменные;
- число наблюдений – 180;
- объем обучающей выборки – 108;
- объем проверочной выборки – 72.

Общий вид перебираемых моделей (опорных функций) – обобщенный полином Колмогорова–Габоря второго порядка:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i x_i + \sum_{j=1}^3 \sum_{i \leq j} a_{ij} x_i x_j. \quad (7)$$

Используя опорные функции, строятся возможные варианты моделей, включающие попарные комбинации исходных переменных, из которых составляются уравнения решающих функций не выше второго порядка:

$$\begin{aligned} y(x_i, x_j) &= a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_j + a_3 \cdot x_i \cdot x_j + a_4 \cdot x_i^2 + a_5 \cdot x_j^2, \\ y_1 = f_1(x_1, x_2) &= a_0^{(1)} + a_1^{(1)} \cdot x_1 + a_2^{(1)} \cdot x_2 + a_3^{(1)} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_4^{(1)} \cdot x_1^2 + a_5^{(1)} \cdot x_2^2, \\ y_2 = f_2(x_1, x_3) &= a_0^{(2)} + a_1^{(2)} \cdot x_1 + a_2^{(2)} \cdot x_3 + a_3^{(2)} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_4^{(2)} \cdot x_1^2 + a_5^{(2)} \cdot x_3^2, \\ y_3 = f_3(x_2, x_3) &= a_0^{(3)} + a_1^{(3)} \cdot x_2 + a_2^{(3)} \cdot x_3 + a_3^{(3)} \cdot x_2 \cdot x_3 + a_4^{(3)} \cdot x_2^2 + a_5^{(3)} \cdot x_3^2. \end{aligned}$$

1. Используя обучающую выборку, методом наименьших квадратов для каждой модели определяются коэффициенты

$$a_0^{(k)}, a_1^{(k)}, a_2^{(k)}, a_3^{(k)}, a_4^{(k)}, a_5^{(k)} \quad (k = \overline{1,3}).$$

Набор полученных моделей составляет первый ряд селекции. С помощью проверочной выборки определяются коэффициенты детерминации построенных моделей: $\hat{R}_{x_1x_2}^2 = 0,738$, $\hat{R}_{x_1x_3}^2 = 0,403$, $\hat{R}_{x_2x_3}^2 = 0,115$, по которым оценивается

качество моделей. Среди вышеуказанных моделей первого ряда селекции выбираются две наилучшие.

2. Отобранные частные модели формируют множество новых переменных y_1 и y_2 , которые являются исходными переменными для единственной модели второго ряда селекции:

$$y = \varphi(y_1, y_2) = a_0^* + a_1^* \cdot y_1 + a_2^* \cdot y_2 + a_3^* \cdot y_1 \cdot y_2 + a_4^* \cdot y_1^2 + a_5^* \cdot y_2^2.$$

Коэффициенты новой модели находятся методом наименьших квадратов с использованием обучающей последовательности. Качество полученной модели оценивается коэффициентом детерминации, вычисленным с использованием проверочной выборки ($\hat{R}^2 = 0,9285$).

3. Делая последовательную замену переменных, получается статистическая модель с исходными переменными:

$$\begin{aligned} y = & a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_5 \cdot x_1 \cdot x_3 + a_6 \cdot x_2 \cdot x_3 + a_7 \cdot x_1^2 + \\ & + a_8 \cdot x_2^2 + a_9 \cdot x_3^2 + a_{10} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1^2 \cdot x_3 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_2^2 + \\ & + a_{14} \cdot x_1 \cdot x_3^2 + a_{15} \cdot x_1^3 + a_{16} \cdot x_2^3 + a_{17} \cdot x_1^2 \cdot x_2^2 + a_{18} \cdot x_1^2 \cdot x_3^2 + \\ & + a_{19} \cdot x_1^3 \cdot x_2 + a_{20} \cdot x_1^3 \cdot x_3 + a_{21} \cdot x_1 \cdot x_3^3 + a_{22} \cdot x_2 \cdot x_3^3 + \\ & + a_{23} \cdot x_1^2 \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{24} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3^2 + a_{25} \cdot x_1^4 + a_{26} \cdot x_2^4 + a_{27} \cdot x_3^4. \end{aligned}$$

Полученная модель представляет собой неполный полином четвертого порядка, а ее структура существенно отличается от структуры постулированной модели (1). Очевидно, что с точки зрения компромисса между адекватностью и сложностью, модель (6), построенная методом шаговой регрессии и соответствующая постулированной модели (1), безусловно, предпочтительнее модели, полученной с помощью МГУА, обладающей достаточно сложной структурой и обеспечивающей небольшой прирост (5,1%) коэффициента детерминации. Несмотря на несложную структуру, построенная регрессионная модель (6) компактна, обладает достаточно хорошей прогнозирующей способностью ($\hat{R}^2 = 0,8834$) что позволяет использовать ее как для целей прогнозирования, так и для управления.

Таким образом, применение метода шаговой регрессии в данном случае более целесообразно, чем использование МГУА.

Выводы. Предложена имитационная модель виртуального статического объекта, предоставляющая возможность путем проведения компьютерных экспериментов оценить эффективность конкурирующих методов моделирования.

Практическое применение предложенной имитационной модели виртуального объекта показало ее пригодность для оценки эффективности

различных методов моделирования. В частности, путем сравнения результатов проведенных имитационных экспериментов установлено, что метод шаговой регрессии обеспечивает построение модели, которая, в отличие от МГУА, адекватно отражает физические и системные закономерности моделируемого процесса, а также обладает оптимальной структурой с точки зрения компромисса между сложностью и адекватностью.

Предложенная имитационная модель позволяет исследовать также влияние параметров виртуального объекта на адекватность и статистическую значимость моделей, построенных в результате имитационных экспериментов.

Литература

1. **Карабутов Н.Н.** Структурная идентификация статических объектов: Поля, структуры, методы.– М.: Едиториал УРСС, 2011.– 152 с.
2. **Herzberg A.M., Tsukanov A.V.** The Monte–Carlo Comparison of two Criteria for the Selection of Models // J. Statist. Comput. Simul. – 1985. – Vol. 22. – P. 113–126.
3. **Ефименко С.Н., Степашко В.С.** Имитационный эксперимент как средство исследования эффективности методов моделирования по данным наблюдений // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 1. – С. 69–78.
4. **Balasanayan S.Sh., Gevorgyan H.M.** The Construction of Statistical Model of a Virtual Object in the LabVIEW Environment // Proceedings of 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2014, IEEE.– Porto, 26–28 Feb., 2014.– P. 291–293.
5. **Дрейпер Н., Смит Г.** Прикладной регрессионный анализ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2007.– 912 с.
6. **Ермаков С.М.** Метод Монте–Карло в вычислительной математике: Вводный курс.– СПб.: Невский диалект, 2009.– 192с.
7. **Ивахненко А.Г., Степашко В.С.** Помехоустойчивость моделирования. – Киев: Наукова думка, 1985. –216 с.
8. **Иванченко В.Н., Лябах Н.Н., Гуда А.Н.** Исследование свойств алгоритмов идентификации сложных процессов с помощью моделирования на ЭВМ // Автоматика. – 1992. – № 3. – С. 82–88.
9. **Качала В.В.** Сравнительный анализ алгоритмов структурной идентификации // Тр. Междунар. конф. “Идентификация систем и задачи управления” SICPRO’2000, Москва, ИПУ, 26–29 сентября 2000 г. – М.: ИПУ РАН, 2000. – С. 133–143.

*Поступила в редакцию 04.03.2016.
Принята к опубликованию 20.05.2016.*

**ՆՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ
ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Ս.Շ. Բալասանյան, Հ.Մ. Գևորգյան

Դիտարկված է վիճակագրական մոդելների կառուցման մեթոդների արդյունավետության գնահատման հիմնախնդիրը մոդելավորվող օբյեկտի ֆիզիկական օրինաչափությունների իդենտիֆիկացման հնարավորության տեսակետից: Այդ հիմնախնդրի լուծման նպատակով առաջարկվում է օգտագործել վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելով իրականացվող քումփյութերային գիտափորձերը: Վիրտուալ օբյեկտը ձևականորեն ներկայացված է որպես դասական ռեգրեսիոն վերլուծության մեջ օգտագործվող հավանականային պոստուլացված մոդել: Վիրտուալ օբյեկտի մուտքային փոփոխականների պատահական վեկտորի իրացումների ձևավորումն իրագործվում է չվերասերված բազմաչափ նորմալ բաշխման մեթոդով, որը հիմնված է մուտքային փոփոխականների կովարացիոն մատրիցի օգտագործման վրա:

Նմանակային մոդելավորման միջոցով հետազոտվել են ընտրանքի ծավալի, վիճակագրական աղմուկի մակարդակի ազդեցությունը ռեգրեսիոն և արգումենտների խմբային հաշվառման մեթոդներով կառուցված մոդելների կանխատեսման հատկության վրա: Հաստատվել է, որ արգումենտների խմբային հաշվառման մեթոդով կառուցված մոդելների կանխատեսման համեմատաբար բարձր հատկությունը դուստրվում է հատկապես չափավոր վիճակագրական աղմուկի և փոքր ընտրանքների դեպքում, որոնք համաչափելի են մուտքային փոփոխականների թվի հետ: Հետազոտված են նաև դիտարկվող մեթոդների հնարավորությունները՝ տրված պոստուլացված ֆունկցիաներով տարբեր օբյեկտների ֆիզիկական և համակարգային օրինաչափությունների բացահայտման տեսանկյունից: Առաջարկված նմանակային մոդելը թույլ է տալիս ուսումնասիրել նաև վիրտուալ օբյեկտի պարամետրերի ազդեցությունը նմանակային գիտափորձերի արդյունքում կառուցված մոդելների համարժեքության և վիճակագրական նշանակալիության վրա:

Առաջարկված վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելի գործնական կիրառությունը ցույց է տվել նրա պիտանիությունը՝ մոդելավորման տարբեր մեթոդների արդյունավետության գնահատման համար: Դիտարկվող մեթոդների գործնական կիրառության արդյունավետությունը գնահատվել է տրված վիրտուալ օբյեկտի վիճակագրական մոդելի կառուցման արդյունքների հիման վրա: Քայլային ռեգրեսիոն մեթոդի կիրառությունը հնարավորություն է տվել կառուցել համարժեքության և բարդության փոխզիջման տեսանկյունից լավագույն մոդել, ինչը վկայում է վիճակագրական մոդելների կառուցման դեպքում ռեգրեսիոն մեթոդների կիրառման նպատակահարմարության մասին:

Առանցքային բաներ. վիրտուալ օբյեկտ, քայլային ռեգրեսիա, պատահական վեկտոր, նմանակում, համարժեքություն:

APPLICATION OF SIMULATION MODELING FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF METHODS FOR CONSTRUCTING STATISTICAL MODELS

S.Sh. Balasanyan, H.M. Gevorgyan

The problem of assessing the effectiveness of the methods for constructing statistical models in terms of their ability to identify the real physical laws of the simulated process is considered. To address this problem, we propose to use computer experiments with the simulation model of a virtual object, formally represented as the stochastic postulated model used in the classical regression analysis. The formation of possible realizations of the random vector of input variables of the virtual model is performed by the simulation method of the non-degenerate multivariate normal distribution based on the covariance matrix of the variables.

By computer simulation experiments, the influence of the sample size, level of statistical noise on the predictive ability of the models built by using the regression methods and the group method of data handling are investigated. It is established that a relatively high predictive ability of the models constructed by the group method of data handling appears particularly at moderate statistical noise and small samples commensurable with the number of input variables. The possibilities of these methods in terms of identifying the physical and systemic regularities of various objects with the specified postulated functions are also investigated. The proposed simulation model allows to investigate the impact of the virtual object parameters on the adequacy and the statistical significance of the model built as a result of simulation experiments.

The practical application of the proposed simulation model of the virtual object has shown its suitability for assessing the efficiency of various methods of modeling. The efficiency of the practical application of the considered methods is evaluated by the results of the constructed statistical models of the given virtual object. The use of the stepwise regression method has allowed to construct the best possible, in terms of a compromise between adequacy and complexity, model, indicating the feasibility of applying the regression methods at constructing statistical models.

Keywords: virtual object, stepwise regression, stochastic vector, simulation, adequacy.

UDC 004.8

A REVIEW OF THE USAGE OF MACHINE LEARNING IN REAL-TIME SYSTEMS

N.H. Abroyan, R.G. Hakobyan

National Polytechnic University of Armenia

In this work, we supply a general overview over the usage of machine learning techniques in real-time systems. At present, there is a tendency of a full or partial replacement of a human's intellectual work by computer programs in every sphere and, for that, there is a need to imitate a human brain i.e. create something like artificial intelligence. On the one hand, machine learning has been quite popular and successfully used in various spheres in recent years. Moreover, the discovery and usage of deep neural networks has immensely increased the efficiency of machine learning usage. On the other hand, as the amount of data greatly increases and changes in quality over time, the usage of real-time systems becomes more and more widespread. So it is quite effective and convenient to use machine learning in real time systems for elaborating a huge amount of newly generated data. Although nowadays there are several machine learning algorithms for classification, regression, clustering etc, their traditional usage as supervised or unsupervised machine learning approach in real-time systems will not be efficient enough because of some nuances that we are going to talk about in this work.

Keywords: machine learning, classification, regression, real-time system, supervised learning, unsupervised learning, semi-supervised learning.

Introduction. Interest in machine learning has grown exponentially over the past two decades, mostly due to a couple underlying factors. First, the expansion of computers, the internet, and the information economy have generated increasing volumes and varieties of data, many of which are unstructured (i.e. they cannot be processed by computers without first requiring human effort to structure them into machine-readable form). At the same time, computational processing has become cheaper and more powerful, enabling to carry out faster and more complex mathematical calculations and increasingly affordable data storage. Machine learning is a subfield of computer science that evolved from the study of pattern recognition and the computational learning theory in artificial intelligence. In 1959 Arthur Samuel defined machine learning as a "field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed". Machine learning algorithms iteratively learn from data by generalizing their experience into models. These models allow computers to find insights that might be difficult or impossible for humans to find. They learn from previous computations to produce reliable decisions and results.

A system is said to be real-time if the total correctness of an operation depends not only upon its logical correctness, but also upon the time in which it is performed [1]. So

real-time systems have some extra special properties which need some sort of different attitude and usage of machine learning algorithms, and we are going to study it.

Supervised or unsupervised learning. Traditionally, there have been two fundamentally different types of tasks in machine learning [2].

The first task is supervised learning. Let $X = (x_1, \dots, x_n)$ be a set of n examples (or points), where $x_i \in X$ for all $i \in [n] := \{1, \dots, n\}$. Our goal is to learn a mapping from x to y , given a training set made of pairs (x_i, y_i) . Here, $y_i \in Y$ are called the labels or targets of the examples x_i . A standard requirement is that the pairs (x_i, y_i) are sampled independently and identically distributed from some distribution, ranging over $X \times Y$. The task is well defined, since a mapping can be evaluated through its predictive performance on the test examples. When the labels are continuous, the task is called regression. When y takes values in a finite set (discrete labels), the task is called classification [2]. A graphical example of classification is presented in Fig. 1. In this figure training examples are introduced in the form of circles and triangles, which means that in the given training set, all examples are already differentiated.

The second is unsupervised learning. Here also, typically, it is assumed that the points are drawn independently and identically distributed from a common distribution on X . It is often convenient to define the $(n \times d)$ matrix $X = (x_i^T)_{i \in [n]}^T$ that contains the data points as its rows. The goal of unsupervised learning is to find an interesting structure in the data X . It has been argued that the problem of unsupervised learning is fundamental in terms of estimating a density, which is likely to have generated X . However, there are also weaker forms of unsupervised learning, such as quantile estimation, clustering, outlier detection, and dimensionality reduction [2].

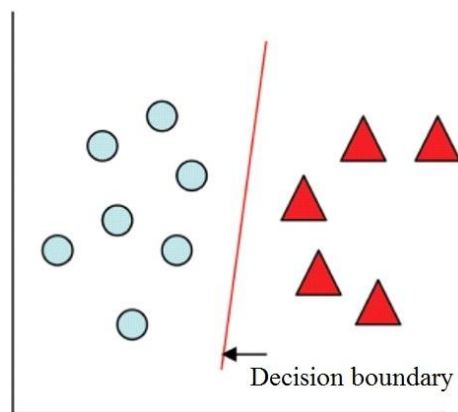


Fig. 1. Graphical presentation of an example of supervised learning

A graphical example of clustering is presented in Fig. 2. In this figure, all training examples are presented in the exact form of circles, which means that initially there is no any difference among them. Here, our task is to determine some regularity and classify them into groups. Thus for instance, the density of circles (i.e. training examples) could serve as a classification regularity in area or space.

For real-time systems, before choosing one of those tasks (supervised or unsupervised), there are two main facts that should be considered.

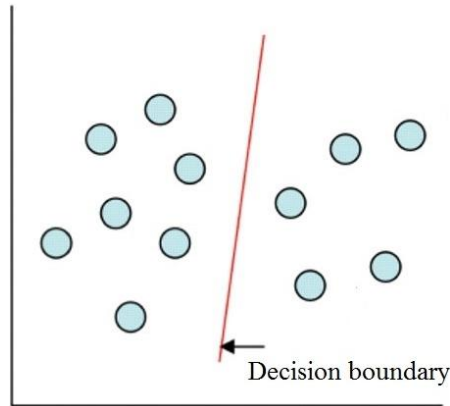


Fig. 2. Graphical presentation of an example of unsupervised learning

- The training model should take into account the recent history when it makes its predictions. A good example is the weather; if it has been sunny and 25 degrees the last two days, it is unlikely that it will be -5 and snow the next day.
- The training model should be updatable. That is, our model should “evolve” based on the real-time data that we receive. A good example might be a retail sales model that remains accurate as the business gets larger.

These two phenomena sound like the same thing, but they are potentially very different. The central question is whether the underlying source generated data is changing. In case of the weather for the previous few days (also considering the historical climate statistics), you can usually predict the weather with a high accuracy for the next day, and your prediction, given the recent history, will be nearly the same from year to year. Here, the characteristics of climate does not change or changes insignificantly (climate also tends to change during many years and a reason for that could be, for instance, the global warming). Eventually, the same model for the last year will work for this year. In the case of the business, the underlying source is changing; the business is growing, and our prediction of the sales, given the previous few days of sales, is probably going to be different from that of the last year. Therefore, the last year’s data, when the business was small, is not completely relevant to this year’s data, when the business is larger. We need to update the model (or scrap it completely and retrain) to get something that works. The first case, where the prediction is conditioned by history, has not special specific properties to review, supervised learning will work finely. In the second case, where there is a need to update the model or retrain completely, we deal with non-stationary data, and here the approaches are as follows:

- Using the incremental method. These are machine learning algorithms that learn incrementally over the data. That is, the model is updated each time it sees a new

training instance. There are incremental versions of Support Vector Machines and Neural networks. Bayesian Networks can be made to learn incrementally.

- Using periodic re-training with a batch algorithm. Perhaps this is a more straightforward solution. Here, we simply buffer the relevant data and retrain our model by some period.

In case of using supervised learning, if our data is changing in quality over time and we want our predictions to remain accurate, there is a need of doing predictions manually and appending them to our training set. This approach is not an effective one, because over time, there is a need of human intervention. On the other hand, using unsupervised learning is not always acceptable. For instance, in financial data, there should be at least some labeled data in order to do sensible prediction. For that reason, we can choose something between supervised and unsupervised learning, which is called semi-supervised learning.

Semi-supervised learning is halfway between supervised and unsupervised learning. In addition to unlabeled data, the algorithm is provided with some supervision information – but not necessarily for all examples. Often, this information will be the targets associated with some of the examples. In this case, the data set $X=(x_i)_{i \in [n]}$ can be divided into two parts: the points $X_l=(x_1, \dots, x_l)$, for which labels $Y_l=(y_1, \dots, y_l)$ are provided, and the points $X_u=(x_{l+1}, \dots, x_{l+u})$, the labels of which are not known [2]. Using semi-supervised learning, there can be a way to predict based on the initial labeled data and always renew the real-time unlabeled data. A graphical example of semi-supervised learning is shown in Fig. 3. In this figure, we have presented both labeled (circles and triangles) and unlabeled (dots) data. This means that some of our training examples are already labeled, but the others are not labeled and there is a need to find regularities among them and classify them into groups.

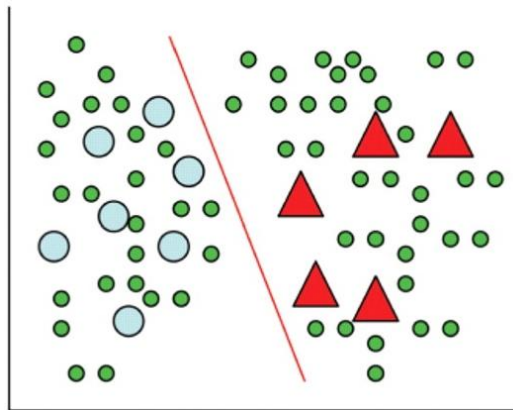


Fig. 3. Graphical presentation of an example of semi-supervised learning

The first usage of semi-supervised learning is known as self-learning. That was the earliest idea about using unlabeled data in classification of self-learning, which is also

known as self-training, self-labeling or decision-directed learning. This is a wrapper-algorithm that repeatedly uses a supervised learning method. It starts by training on the labeled data only. In each step a part of the unlabeled points is labeled according to the current decision function; then the supervised method is retrained, using its own predictions as additional labeled points. This idea can be found in literature (e.g., Scudder (1965); Fralick (1967); Agrawala (1970)) [2].

Thus, one should not be too surprised that for semi-supervised learning to work, certain assumptions will have to be held. One of such most popular assumptions can be formulated as follows. If two points x_1, x_2 are close, so should be the corresponding outputs y_1, y_2 . Clearly, without such assumptions, it would never be possible to generalize from a finite training set to a set of possibly infinitely many unseen test cases [2].

Considering this, there is a need of generalization of the smoothness assumption that is useful for semi-supervised learning, which is called “semi-supervised smoothness assumption”. While in the supervised case, according to our prior beliefs, the output varies smoothly with the distance, we now also take into account the density of the inputs. The assumption is that the label function is smoother for semi-supervised learning in high-density smoothness assumption regions than in low-density regions. If two points x_1, x_2 in a high-density region are close, so should be the corresponding outputs y_1, y_2 . Note that by transitivity, this assumption implies that if two points are linked by a path of high density (e.g., if they belong to the same cluster), their outputs are likely to be close. If, on the other hand, they are separated by a low-density region, their outputs need not be close. Note that the semi-supervised smoothness assumption applies to both regression and classification [2].

In case of using machine learning in real-time systems too, there are two main things to consider:

- **Data Horizon:** How quickly do we need the most recent datapoint to become part of our model? Does the next point need to modify the model immediately?
- **Data Obsolescence:** How long does it take the data to become irrelevant to the model? Good examples come from economics; generally, newer data instances are more relevant. However, in some cases data from the same quarter from the previous year are more relevant than the previous quarter of the current year.

Keeping performance high. To improve the prediction accuracy, there is a need for having many mutual exclusive training features. The increase of the features’ number leads to a decrease in the machine learning algorithm performance. On the other hand, it is obvious that in real-time, the systems’ performance is very important. So there is a need of wisely choosing the features. We need a minimum number of features, which can ensure a high rate of accuracy. To achieve that, we can use deep learning.

Deep learning (more correctly deep machine learning) is a branch of machine learning based on a set of algorithms that attempt to model high-level abstractions in data by using multiple processing layers with complex structures, or otherwise composed of multiple non-linear transformations. During the past several years, the

techniques developed from deep learning research have already been impacting a wide range of areas and aspects of machine learning and artificial intelligence [3]. There are several definitions of deep learning and one of them is that deep learning is replacing handcrafted features with efficient algorithms for unsupervised or semi-supervised feature learning and hierarchical feature extraction [4].

During the last several years, many universities' and information technology companies' researchers have demonstrated the empirical success of deep learning in different applications of computer vision, phonetic recognition, voice search, conversational speech recognition, speech and image feature coding, semantic utterance classification, natural language understanding, hand-writing recognition, audio processing, information retrieval, robotics etc. [3].

Deep learning algorithms are based on distributed representations. The underlying assumption behind distributed representations is that the observed data are generated by the interactions of many different factors at different levels. Deep learning adds the assumption that these factors are organized into multiple levels, corresponding to different levels of abstraction or composition. The varying numbers of layers and layer sizes can be used to provide different amounts of abstraction [5]. Deep learning exploits this idea of hierarchical explanatory factors where higher level, more abstract concepts are learned from the lower level ones. These architectures are often constructed with a greedy layer-by-layer method. Deep learning helps to disentangle these abstractions and pick out the features useful for learning [5]. Many deep learning algorithms are applied on unlabeled data (which is usually more abundant than labeled data), making this an important benefit of these algorithms. The deep belief network is an example of a deep structure that can be trained in an unsupervised manner [5]. One of the most popular algorithms of deep learning is deep neural networks. An example of deep neural network is presented in Fig. 4. Another method of keeping performance high is parallelization. For increasing a program's performance, there is a need to parallelize that program, especially the algorithms that are used in that program [6]. So, high performance can also be achieved by parallelizing the known machine learning algorithms or evaluating new ones by using parallelization methods. There could be different approaches to parallelizing of machine learning algorithms. Both SIMD (single instruction – multiple data) and MIMD (multiple instruction – multiple data) parallelization types may work here. One of the MIMD parallelization ways can be the modification of the algorithm in the way of those operations in loops, and frequently executed instructions satisfy Bernstein's conditions. Every iteration can be performed independently from the previous one. In this case parallelization can be done through a pipeline mechanism [6]. Another way of MIMD parallelization is parallelization through multithreading. Threading provides a mechanism for programmers to divide their programs into more or less independent tasks with the property that when one thread is blocked another

thread can be run [6].

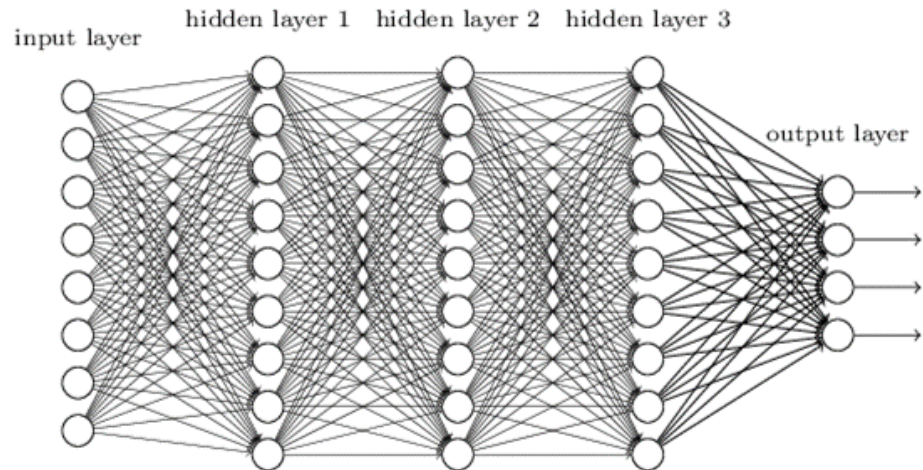


Fig. 4. An example of deep neural network

SIMD parallelization also would be effective for machine learning algorithms since many algorithms involve operations with matrixes. Many operations with matrixes can be parallelized quite well and in many cases it is done through GPU (graphical processing unit). Today, parallel GPUs have begun making computational inroads against the CPU (central processing unit), and a subfield of research, dubbed GPU Computing or GPGPU for General Purpose Computing on GPU, has found its way into fields like machine learning, oil exploration, image processing, linear algebra, statistics, 3D reconstruction, stock options pricing determination etc. Their highly parallel structure makes them more effective than general-purpose CPUs for SIMD parallelizations.

Conclusion. In this work, we introduced a general overview on the usage of machine learning in real-time systems. We showed that for better result it would be more effective to use the semi-supervised learning method. For real-time systems there is a need to take into account such factors as model adaptiveness, data change over time, data obsolescence, etc. For ensuring high performance in real-time systems, there is a need for choosing features by wisely using deep learning. Also parallelization of machine learning algorithms is also an acceptable way of keeping performance high.

References

1. **Shin K.G., Ramanathan P.** Real-time computing: a new discipline of computer science and engineering // Proceedings of the IEEE.- Jan. 1994.- 82 (1).- P. 6-24.

2. **Olivier Chapelle, Bernhard Scholkopf, Alexander Zien.** Semi-Supervised Learning.- Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2006.- 528 p.
3. **Deng L., Yu D.** Deep Learning: Methods and Applications // Foundations and Trends in Signal Processing.- 2014.- 7.- P. 3–4.
4. **Song H.A., Lee S.Y.** Hierarchical Representation Using NMF // Neural Information Processing. Lectures Notes in Computer Sciences 8226.- Springer, Berlin Heidelberg, 2013.- P. 466–473.
5. **Bengio, Y., Courville A., Vincent P.** Representation Learning: A Review and New Perspectives // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.- 2013.- 35 (8).- P. 1798–1828.
6. **Abroyan N.H., Hakobyan R.G.** Parallelization of Sorting Algorithms // Computer Science and Information Technologies.- 2015.- P. 201-205.

Received on 07.04.2016.

Accepted for publication on 20.05.2016.

ԻՐԱԿԱՆ ԺԱՍԱՆԱԿԱՅԻՆ ՀԱՍՏԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՄԵՔԵՆԱՅԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԱԿՆԱՐԿ

Ն.Հ. Աբրոյան, Ռ.Գ. Հակոբյան

Ներկայացվում է իրական ժամանակային համակարգերում մեքենայական ուսուցման օգտագործման ընդհանուր բնութագիրը: Այսօր գրեթե բոլոր ոլորտներում նկատվում է մարդու ինտելեկտուալ աշխատանքը համակարգչային ծրագրային միջոցներով լրիվ կամ մասնակիորեն փոխարինելու միտում: Դրա համար անհրաժեշտ է նմանակել մարդու ուղեղի աշխատանքը, այսինքն՝ ստեղծել արհեստական բանականությանը նման բան: Մի կողմից՝ վերջին մի քանի տարիների ընթացքում մեքենայական ուսուցումը շատ տարածված է եղել և հաջողությամբ օգտագործվել այդ նպատակով: Ավելին, նեյրոնային խոր ցանցերի հայտնաբերումից և կիրառումից հետո մեքենայական ուսուցման արդյունավետությունը մեծապես աճել է: Մյուս կողմից, քանի որ տվյալների քանակը գնալով աճում է, և դրանք կրում են որակական փոփոխություններ, ուստի իրական ժամանակային համակարգերի օգտագործումն ավելի լայն տարածում է գտնում: Այսպիսով, նոր ստացվող տվյալների մշակման համար մեքենայական ուսուցման օգտագործումն իրական ժամանակային համակարգերում լինում է բավականին արդյունավետ և նպատակահարմար: Չնայած նրան, որ ներկայումս կան մեքենայական ուսուցման մի քանի ալգորիթմներ՝ նախատեսված դասակարգման, նվազարկման, կլաստերացման համար, սակայն դրանց ավանդական օգտագործումը, որպես վերահսկվող կամ չվերահսկվող մեքենայական ուսուցման մոտեցում, իրական ժամանակային համակարգերում չի կարող լինել բավարար արդյունավետ՝ որոշակի առանձնահատկությունների պատճառով, որոնք դիտարկվում են այս աշխատանքում:

Առանցքային բառեր. մեքենայական ուսուցում, իրական ժամանակային համակարգ, վերահսկվող ուսուցում, չվերահսկվող ուսուցում, կիսավերահսկվող ուսուցում:

ОБЩИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Н.О. Абрян, Р.Г. Акопян

Рассматривается общая характеристика использования машинного обучения в системах реального времени. Люди стараются посредством компьютерных программ полностью или частично имитировать работу человеческого мозга – создать искусственный интеллект. С одной стороны, в последние годы машинное обучение получило широкое распространение и удачно применялось для этой цели. Более того, использование глубоких нейронных сетей привело к повышению производительности машинного обучения. С другой стороны, так как количество данных со временем увеличивается и они претерпевают качественные изменения, применение систем реального времени становится актуальным и распространенным. Таким образом, применение машинного обучения в системах реального времени для обработки получаемых данных становится достаточно продуктивным и удобным. Несмотря на то, что в настоящее время существует ряд алгоритмов машинного обучения для классификации, регрессии, кластеризации и т.п., их классическое использование в качестве контролируемого или неконтролируемого машинного обучения неэффективно в системах реального времени ввиду некоторых особенностей, которые приведены в этой работе.

Ключевые слова: машинное обучение, система реального времени, контролируемое обучение, неконтролируемое обучение, полуконтролируемое обучение.

UDC 629.331;572.087

STUDYING OF THE HEALTH PROBLEMS AND WORK-RELATED MUSCULOSKELETAL DISORDERS CAUSED BY IT-TECHNOLOGIES

P.A. Harutyunyan¹, A. Moldoveanu², F. Moldoveanu²

¹ "UCOM" LLC

² POLITEHNICA University of Bucharest, Romania

The development of computer technologies makes our work easier to conduct, but on the other hand causes new but serious health-associated problems. The number of chronic diseases caused by IT technologies is growing increasingly all over the world. Sedentary behavior is one of the main factors contributing to degradation of health and, in some cases, to death. That is why we are encouraged to take the challenge and get involved in solving some of the fundamental problems. Here a question arises: how to protect humans against more serious health problems and complications in future? Health problems caused by IT technologies and Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) widely spread all over the world. What can be done to lighten the problem in this area? First of all, we need to ensure that all our doubts are correct and continue proposing solutions for them. Human health is mostly affected by the negligible attitude of people towards their sitting posture and health. As a result of our studies among more than 300 workers, we have revealed that most of them had a feeling of discomfort caused by the work they were doing and almost none of the interviewees did anything to improve the situation.

Keywords: activity monitoring, sedentary behavior, sitting posture, sedentary work, revelation of the posture changes, ergonomics, context-awareness.

Introduction. The development of computer technologies has made our jobs easier to conduct, but on the other hand causes new but serious health-associated problems [1]. Work at the office typically means to spend particular amount of time sitting on an office chair, which in its turn adds stress to the spine [2]. As it is well-known, back pain is one of the most common work-related health problems and is mostly caused by particular work activities, such as weight lifting or sitting in an office [2]. Office work-related pain in the neck is also very common nowadays, and it is agreed that the etiology of neck pain among office workers is multidimensional and is associated with complex factors with individual, physical and psychosocial components [3]. Musculoskeletal Disorders related to work include injuries of the soft tissues of the body, such as muscles, ligaments, blood vessels, tendons, nerves and may cause symptoms like pain, fatigue, stiffness, numbness and tingling, swelling or discomfort [1]. Risk factors that increase

the possibility to work-related musculoskeletal disorders include repetition, awkward postures, static loading or sustained exertions and mechanical contact stress [1]. Repetition, which is an issue among computer and office workers is doing the same motion repeatedly and may cause a trauma in the joints and the surrounding tissues or in worse cases - an injury [1]. Awkward postures may result in an injury as they bend the joints into a position that is more likely to be hurt [1]. Static loading or sustained exertions is when the muscles are holding the body in one position for a long time and this may cause reduced blood circulation and tension of muscles leading to an injury [1]. And the last risk factor, the mechanical contact stress, may cause injuries as a result of prolonged work where sharp or hard objects or surfaces press into the soft tissues [1]. All these risk factors are issues in office work places.

The system goal. In the introduction part, problems related to sedentary work were presented. We have problems and each problem requires a solution. In this situation, we would like to develop a system which will monitor the state of health of workers during the working time, as well as the bad habits like the sitting posture, viewing distance, etc. But before that, we need to make a study to reveal all the problems, to specify in which part our efforts should be concentrated. We will study three types of workers whose workstyle is active, partly active and sedentary. After analyzing the result we will have a clean representation about the problems and will focus the system in special targets.

Studying the discomfort for office workers - METHODS. The present study aims at revealing the problem of office workers who spend most of their working time in the office and don't have enough mobility during work. We will compare the employees' health status in other groups of employees. The main objective of the study was to get exhaustive quantitative data to help us with decision-making with regard to further development of a system which will monitor the workers in the office environment (eg. posture) or health status during worktime.

The present research was carried out by the method of prospective cohort study. Such studies widely vary in terms of size and complexity. A cohort study is mainly used in medicine, social science and business analysis, as well as in other disciplines. In this specific case, it is used for health evaluation purposes. A prospective cohort study follows patients over a particular period of time, by performing permanent or repeated monitoring of the risk factors or health status of patients or both [4]. A cohort is a group of people sharing a particular characteristic and tracked for a particular period of time.

Very different target groups of members were selected, from a small (maximum 10 employees) company of banks and telecommunication big companies.

Investigation instrument. The first thing done in the scope of the study was to filter the organizations according to the type of business they do, and only after that make a final selection of organizations and workers.

EQ-5D-3L instrument applied in the study is a verified, approved and reliable tool used to evaluate the quality of life (QoL) [5] of people. The QoL Commission studied the problem in advance and offered a questionnaire consisting of several questions. Parallel to this questionnaire we also used the Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires (CMDQ) developed by Dr. Alan Hedge [6] from Cornell University.

Sample Size. A sample size is an important component of every study. It is highly important to understand that different studies require different sample sizes and that it is not acceptable to use the same formula for all of them. A sample is a part of anything that is a representative of a whole. Hence, a question arises: how many persons should our study sample be composed of? The sample size and the result achieved after the study should best and accurately represent the whole from which the sample is taken. In order to decide on how much accurate results we want to achieve after the study, we must calculate the sample size carefully.

Thus, the sample size for our study was calculated with the confidence level of 95%, power 80%, assumed relative risk of 1.7 and expected incidence in unexposed group of 19%, which is based on the results of the previously conducted study [7]. So the required sample in the scope of this particular study which will best represent Armenian population is 332 [8].

10 organizations were contacted, of which 4 organizations refused to participate in our study and 6 were included in it. Altogether, in those organizations were 834 employees, of which 590 met our inclusion criteria. So, 485 employees were contacted, from which 112 employees refused to participate, 24 were on vacation and 349 completed our in-depth interviews. After data collection and cleaning, 16 persons' data were excluded from the analysis due to the missing values.

So, the final sample available for the analysis was 333, which fully corresponds to the required sample size calculated previously.

Statistical considerations. Before entering the data into the SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) database, we reviewed all questionnaires completed by interviewees. At that stage, a unique data entry was performed by us with further cleaning, which was rather a time-and-effort-consuming process. Data analysis was conducted via the SPSS and STATA software packages.

Categorical variables were presented as counts and percentages compared by *by-item* analyses and continuous variables were presented as means and standard deviation. As far as we have used categorical data we have used bivariate and multivariate logistic regression analysis.

P-values are used to define the statistical significance level in testing the hypothesis. As the null hypothesis refers to a statement that no significant difference is observed between the groups, so in our study, the null hypothesis is considered to be the lack of difference between the groups (active, partly active, sedentary). In other words, we consider the null hypothesis to be true if there is no difference between our groups. The p-value shows how compatible the data with the null hypothesis are. So the higher the p-values assume that the hypothesis under consideration is true, the lower p-values assume that the data observed are not consistent with the null hypothesis to be true, so it must be rejected. In our study, we considered the significance level (α) to be 5%. So if the p-value is less than 0.05 we reject the null, in other words our data are inconsistent with the assumption that the null hypothesis is true and we reject it. The p-value does not measure the support of any other hypothesis, it only interprets whether the hypothesis we are currently testing is true or whether it must be rejected.

Study variables. The dependent variable of the study was the quality of life of workers divided into three work categories: active, partly active and sedentary. Based on a few studies of regression analysis, the dummy variable was created for this variable. These types of variables (dummy) are used mainly in regression analysis to represent subgroups in a study. The investigator recodes the options of the variable and defines passive as “0” and partly active and active options as “1”, based on other studies carried out previously. The independent variables of the study were gender, time of working (months), sought or received medical assistance, changes performed at workplace to improve the quality of workplace, variables experiencing ache, pain and discomfort, including options of never, 1-2 times last week, 3-4 times last week, once every day, several times every day/uncomfortable feeling when experiencing ache, pain and discomfort/ache, pain and discomfort interfering with the ability to work, with options of slightly, moderately and very. It is worth to mention that for regression analysis, score was generated for these variables. For the neck, all options were summed and the maximum value was 8 and minimum 0, for shoulders 16 and 0, for upper back 8 and 0, for upper arm 12 and 0, lower back 8 and 0, forearms 14 and 0, wrist 16 and 0, hip buttocks 7 and 0, thigh 16 and 0, knee 16 and 0, respectively maximum and minimum values.

Ethical considerations. This study corresponds to local and international ethical standards. All participants were informed about their rights (participation was on a voluntary basis and they could refuse to further participate in the study and answer the questions; anonymity and confidentiality was fully ensured). Before the interview, all interviewees had read the notification agreement, which contained general information about the objectives and conditions of the study, the rights of the interviewee, confidentiality clause, as well as information about the group of researchers/interviewers. The main language of the study was Armenian. However,

whenever preference was given to English, the English version of the notification agreement and questionnaire was provided.

Study of the discomfort for office workers - RESULTS. Employees' baseline characteristics are presented in Table 1. Of 333 employees included in the sample 65 (19.52%) had active, 71 (21.32%) partly active and 197 (59.16%) sedentary working conditions. More females were in sedentary group (55.33%) than in the partly active (49.30%) or active (35.38%) groups ($p=0.020$). Fewer people were working more than 61 months (approximately 5 years) in each group (29.23% versus 70.77%, 43.66% versus 56.34% and 35.53% versus 64.47%, $p=0.210$). And in all the groups people were less likely to sought or receive medical assistance.

Table 1

Baseline characteristics

Characteristics	Active n=65	Partly active n=71	Sedentary n=197	p-value
Gender				0.020
Male	42 (64.62)	36 (50.70)	88 (44.67)	
Female	23 (35.38)	35 (49.30)	109 (55.33)	
Time of working (months)				0.210
<61	46 (70.77)	40 (56.34)	127 (64.47)	
≥61	19 (29.23)	31 (43.66)	70 (35.53)	
Sought or received medical assistance				0.680
Yes	21 (32.31)	19 (26.76)	53 (26.90)	
No	44 (67.69)	52 (74.24)	144 (73.10)	
Changes performed at workplace to improve quality of workplace				0.151
Yes	12(18.46)	6 (8.45)	35 (17.77)	
No	53 (81.54)	65 (91.55)	162 (82.23)	

*Results are presented as frequencies and percentages, unless specified otherwise.

People with active lifestyle had more chances to never experience neck pain (68.25% versus 46.48% or 34.01%, $p=0.000$). Regarding shoulders, 81.54% of people working with active conditions never experienced a pain in the shoulders or discomfort compared to people from partly active (64.79%) or sedentary group (64.47%) ($p=0.011$). The groups also differed significantly in the rates of lower backache, pain or discomfort. And employees in the sedentary (75.63%) or at least partly active (66.20%) group experienced lower part of back pain, ache or discomfort at least once a week compared to people from the active group (43.08%, $p=0.000$).

There is also a significant difference in hip/buttocks, as people from the sedentary group had worse results, experiencing ache, pain or discomfort more often than those

from partly active or active groups (35.53% versus 21.13% or 4.62%, $p=0.000$). And it is also worth to mention that people experience pain, ache or discomfort in lower parts of legs more frequently with active work than people with sedentary working conditions (29.23% versus 25.38%, $p=0.006$). No differences were found regarding shoulders, upper back, upper arms, wrists and thighs.

The most significant differences are found in neck, shoulders, lower part of back, forearms, hip/buttocks and knees. The by-item analysis showed worse results for employees with sedentary working conditions compared to the ones with partly active and active working conditions, showing a very uncomfortable feeling in the neck (25.89% versus 14.08% or 4.62%, $p=0.000$), shoulders (15.25% versus 5.63% or 0.00%, $p=0.007$), lower back (26.40% versus 23.94% or 10.77%, $p=0.000$) and hip/buttocks (3.55% versus 0.00% or 1.54%, $p=0.000$). No significant differences were observed regarding the other parts of the body.

The analysis was also conducted, regarding the ability of employees to work, as they experience ache, pain or discomfort (Table 2). Significant differences were found, showing substantially worse results in ability to work when experiencing ache, pain or discomfort in the neck, the lower part of the back, the wrists and hip/buttocks. The employees' neck pain, ache or discomfort substantially interfered with their ability to work for the people with sedentary working conditions compared to the ones with active or partly active work (25.89% versus 4.62% or 9.86%, $p=0.000$). People from the sedentary group also had higher chances to have a backache in the lower part, pain or discomfort that substantially interferes with their ability to work if compared to people from partly active or active groups (28.93% versus 15.49% or 7.69%, $p=0.000$). No significant differences were observed in domains of upper back, upper arms, forearms, thighs or knees.

Bivariate analysis: simple logistic regression. Table 3 presents the results of the simple or bivariate logistic regression analysis for the associations between the dependent variable and other independent variables. It is worth taking into consideration that the regression coefficient is the obvious increase in the log odds of the dependent variable's per unit which increases in the value of the independent variable.

From Table 3, it is obvious that in the working period, upper arm problems, forearm problems, wrist problems are not associated with any odds of the dependent/outcome variable, meaning that when the $OR=1$, the independent variable has nothing to do with the dependent variable. In the case of thigh, knee and leg problems, OR is marginally higher for 1 ($OR>1$) meaning that those variables are associated with higher odds of the dependent variable. In the other cases, when $OR<1$, independent variables are associated with lower odds of the dependent variable.

Table 2

Ache, pain and discomfort interfering with the ability to work

Characteristics	Active n=65	Partly active n=71	Sedentary n=197	p-value
Neck				0.000
Not at all	51 (78.46)	41 (57.75)	94 (47.72)	
Slightly	11 (16.92)	23 (32.39)	52 (26.40)	
Substantially	3 (4.62)	7 (9.86)	51 (25.89)	
Shoulders				0.053
Not at all	56 (86.15)	50 (70.42)	139 (70.56)	
Slightly	7 (10.77)	16 (22.54)	34 (17.26)	
Substantially	2 (3.08)	5 (7.04)	24 (12.18)	
Upper back				0.089
Not at all	58 (89.23)	53 (74.65)	150 (76.14)	
Slightly	7 (10.77)	13 (18.31)	30 (15.23)	
Substantially	0 (0.00)	5 (7.04)	17 (8.63)	
Upper Arms				0.309
Not at all	64 (98.46)	64 (90.14)	180 (91.37)	
Slightly	1 (1.54)	5 (7.05)	14 (7.11)	
Substantially	0 (0.00)	2 (2.82)	3 (1.52)	
Lower Back				0.000
Not at all	45 (69.23)	38 (53.52)	65 (32.99)	
Slightly	15 (23.08)	22 (30.99)	75 (38.07)	
Substantially	5 (7.69)	11 (15.49)	57 (28.93)	
Forearms				0.276
Not at all	65 (100.00)	66 (92.96)	190 (96.45)	
Slightly	0 (0.00)	3 (4.23)	5 (2.54)	
Substantially	0 (0.00)	2 (2.82)	2 (1.02)	
Wrists				0.033
Not at all	64 (98.46)	64 (90.14)	191 (96.95)	
Slightly	1 (1.54)	4 (5.63)	1 (0.51)	
Substantially	0 (0.00)	3 (4.23)	5 (2.54)	
Hip/Buttocks				0.048
Not at all	62 (95.38)	67 (94.37)	166 (84.26)	
Slightly	3 (4.62)	4 (5.63)	27 (13.71)	
Substantially	0 (0.00)	0 (0.00)	4 (2.03)	
Thighs				0.635
Not at all	61 (93.85)	69 (97.18)	187 (94.92)	
Slightly	2 (3.08)	1 (1.41)	8 (4.06)	
Substantially	2 (3.08)	1 (1.41)	2 (1.02)	
Knees				0.139
Not at all	54 (83.08)	57 (80.28)	174 (88.32)	
Slightly	5 (7.69)	9 (12.68)	18 (9.14)	
Substantially	6 (9.23)	5 (7.04)	5 (2.54)	
Lower legs				0.051
Not at all	49 (75.38)	57 (80.28)	162 (82.23)	
Slightly	12 (18.46)	6 (8.45)	29 (14.72)	
Substantially	4 (6.15)	8 (11.27)	6 (3.05)	

Table 3

<i>Bivariate logistic regression analysis</i>			
Variable	Crude OR	p-value	CI (95%)
Independent variables			
Gender: Male	0.60	0.023	(0.38; 0.93)
Period of working	1.00	0.700	(0.99; 1.00)
Neck problems	0.80	<.001	(0.73; 0.88)
Shoulder problems	0.95	0.046	(0.89; 1.00)
Upper back problems	0.95	0.327	(.85; 1.05)
Upper arm problems	1.00	0.897	(0.91; 1.11)
Lower back problems	0.85	<.001	(0.78; 0.92)
Forearms problems	1.00	0.960	(0.89; 1.13)
Wrist problems	1.00	0.948	(-0.91; 1.10)
Hip buttocks problems	0.63	<.001	(0.51; 0.78)
Thigh problems	1.03	0.486	(0.94; 1.13)
Knee problems	1.10	0.004	(1.02; 1.15)
Leg problems	1.05	0.071	(0.996; 1.10)

Multiple logistic regression. Multiple logistic regression analysis was carried out to identify the factors associated with the outcome/dependent variable while controlling other significant variables. In Table 4, the final model is described and only significant variables from the bivariate analysis were included in this model to control the potential confounders. The independent variables from this model are shown to be significantly associated with the dependent variable (p-value=<0.001). As it is seen, only gender (OR=0.76), neck problems (OR=0.78), lower back problems (OR=0.90) and hip/buttocks problems (OR=0.67) are associated with lower odds of the dependent variable, that means the above mentioned variables are associated with a passive lifestyle of the employee.

Table 4

<i>Multivariate logistic regression analysis</i>					
Variable	Crude OR	p-value	CI (95%)	Pseudo R2	p-value
Independent variables				<0.1417	<0.001
Gender	0.76	0.299	(0.45; 1.27)		
Neck problems	0.78	<.001	(0.68; 0.89)		
Shoulder problems	1.06	0.100	(0.99;1.15)		
Lower back problems	0.90	0.042	(0.82; 0.99)		
Hip buttocks problems	0.67	0.001	(0.54; 0.85)		
Knee problems	1.11	0.004	(1.03; 1.19)		
Leg problems	1.07	0.038	(1.00; 1.14)		

As it is seen from the Fig. 1, active workers experience ache, pain or discomfort in the lower part of the body less than workers from the partly active and sedentary groups.

It is also obvious, that workers from the partly active group experience ache, pain or discomfort more frequently than those from the active group.

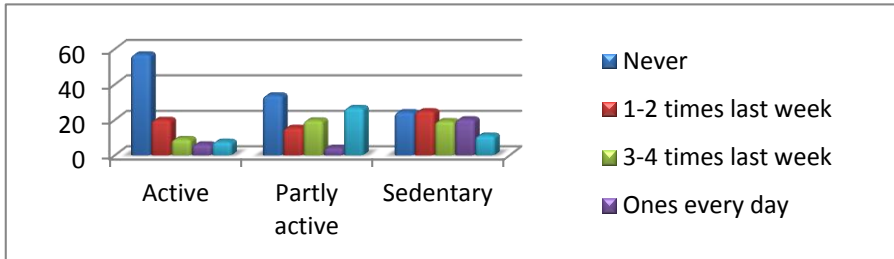


Fig. 1. Ache, pain and discomfort in the lower back

As shown on the Fig. 2, the uncomfortable feeling of ache, pain and discomfort is increasing from active lifestyle to sedentary.

From Fig. 3 it is obvious that ache, pain or discomfort in the neck affects the ability to work in different groups of workers doing different jobs and especially workers doing sedentary jobs, as compared with workers doing an active or a partly active job.

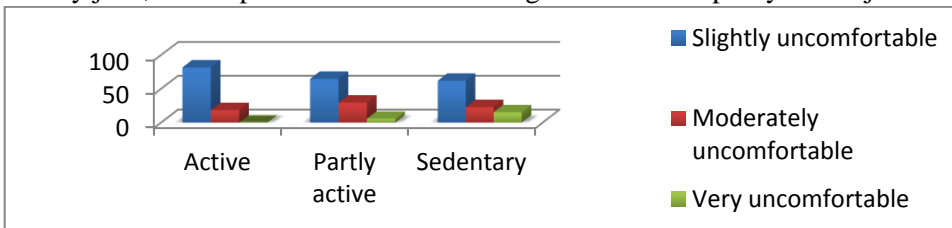


Fig. 2. Uncomfortable feeling of ache, pain and discomfort in shoulders

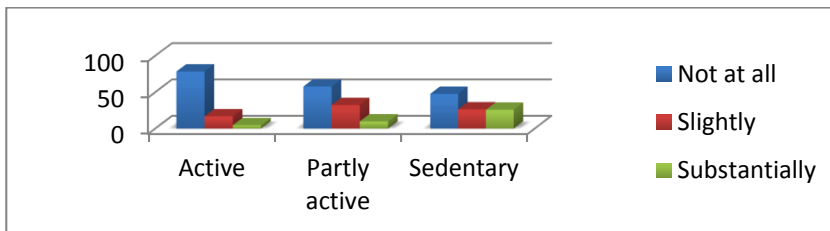


Fig. 3. Ache, pain and discomfort in the neck interfering with the ability to work

Conclusions. The results of this study indicate that sedentary working conditions may cause pain, ache or discomfort in different parts of the body resulting in an uncomfortable feeling in the neck, shoulders, lower part of the back, forearms, hip/buttocks and knees, but a more important finding is the ability to work, which decreases with the experience of ache, pain or discomfort especially in the neck and

lower back. Significant association was found between the gender, neck problems, lower back problems, hip/buttocks problems and the passive lifestyle of the employees.

These findings suggest opportunities for intervention strategies as to stimulate an ergonomic setting in the workplaces. Based on the results of all studies we have done, we propose to develop a system for workers' monitoring, which will use a video camera, or special devices. The devices will provide various data necessary to measure both the ergonomic conditions and the worker's health status in the workplace. With the help of those parameters we can provide the necessary recommendation related to the employees' health status.

References

1. Office Ergonomics Practical solutions for a safer workplace / **A. Balch, B. Coulter, A. Duffner, et al.**- 2002.
2. Ergonomics of the Office and Workplace: An Overview. Available at: <http://www.spine-health.com/wellness/ergonomics/ergonomics-office-and-workplace-overview>. Accessed October, 2015.
3. Individual and work related risk factors for neck pain among office workers: a cross sectional study / **B. Cagnie, L. Danneels, D. Van Tiggelen, et al** // Eur Spine J.- 2006.-16(5).- P. 679–686. doi:10.1007/s00586-006-0269-7.
4. Prospective cohort study of HIV post-exposure prophylaxis for sexual assault survivors / **Mana Rafik Loutfy, Sheila Macdonald, Terri Myhr, Heather Husson, et al** // International Medical Press.-2008. Available: <http://www.intmedpress.com/serveFile.cfm?sUID=036e1d48-66b7-40de-8040-227f2ab95eeb>, Accessed October, 2015.
5. EuroQol Research Foundation, Available: <http://www.euroqol.org/>
6. Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires: Human Factors and Ergonomics Laboratory at Cornell University, Available: <http://ergo.human.cornell.edu/default.htm>, Accessed September, 2015.
7. **Devereux J.J., Vlachonikolis I.G., Buckle P.W.** Epidemiological study to investigate potential interaction between physical and psychosocial factors at work that may increase the risk of symptoms of musculoskeletal disorder of the neck and upper limb // Occup Environ Med.-2002.-59(4).-P. 269-277. doi:10.1136/oem.59.4.269.
8. EpiTools. <http://epitools.ausvet.com.au/content.php?page=cohortSS&P1=0.19&RR=1.7&Conf=0.95&Power=0.8>. Accessed October, 2015.

Received on 29.03.2016.

Accepted for publication on 20.05.2016.

**ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐՈՎ ՊԱՅՄԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԱՌՈՂՋԱԿԱՆ
ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԵՎ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԵՏ ԿԱՊՎԱԾ ՀԵՆԱՇԱՐԺԱԿԱՆ ԱՊԱՐԱՏԻ
ԽԱՆԳԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ**

Պ.Ա. Հարությունյան, Ա. Մուրավեանու, Ֆ. Մուրավեանու

Համակարգչային տեխնոլոգիաների զարգացումը մի կողմից՝ թեթևացնում է մարդու աշխատանքը, դարձնում ավելի հեշտ կառավարելի, բայց մյուս կողմից՝ առաջացնում է նոր, լուրջ առողջական խնդիրներ: Ողջ աշխարհում գնալով աճում է տեղեկատվական տեխնոլոգիաներով պայմանավորված շարունակական հիվանդությունների թիվը: Նստակյաց կենսակերպն այն հիմնական գործոններից մեկն է, որը պատճառ է դառնում առողջության վատթարացմանը: Մարդու առողջությունը մեծապես պայմանավորված է նստակյաց կենսակերպի նկատմամբ անփոյթ վերաբերմունքով: Ավելի քան 300 աշխատակիցների շրջանում մեր կողմից կատարված հետազոտության ընթացքում պարզվել է, որ նրանց մեծ մասն ունի անհարմարավետության զգացողություն՝ կապված իրենց աշխատանքի հետ, և նրանցից ոչ մեկը չի ձեռնարկել որևէ միջոց՝ այդ խնդրի բարելավման ուղղությամբ:

Առանցքային բաներ. գործունեության մշտադիտարկում (մոնիթորինգ), նստակյաց կենսակերպ, նստելու դիրք, նստակյաց աշխատանք, կեցվածքի փոփոխությունների հայտնաբերում, էրգոնոմիկա, իրավիճակի մասին իրազեկություն:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫМИ
ТЕХНОЛОГИЯМИ И СВЯЗАННЫХ СО ЗДОРОВЬЕМ И РАБОТОЙ
ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Պ.Ա. Арутюнян, А. Молдовеану, Ф. Молдовеану

Развитие компьютерных технологий, с одной стороны, облегчает работу, с другой - вызывает серьезные проблемы, связанные со здоровьем. Во всем мире все больше и больше растет количество хронических заболеваний, связанных с развитием новейших технологий. Сидячий образ жизни - это одна из основных причин, которая приводит к ухудшению здоровья. Вот почему мы должны принять этот вызов и попробовать найти решения возникаемых задач. Человеческое здоровье во многом зависит от небрежного отношения к сидячему образу жизни. В результате проведенного нами исследования среди более чем 300 рабочих было выявлено, что у большинства из них было чувство дискомфорта, связанное с работой, которую они осуществляли, и почти никто из опрошенных не предпринял никаких мер по улучшению данной проблемы.

Ключевые слова: мониторинг деятельности, сидячий образ жизни, сидячая поза, сидячая работа, выявление изменений осанки, эргономика, осведомленность о ситуации.

УДК 621.382

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ ДЕШИФРАТОРОВ

О.А. Петросян¹, Н.Б. Авдалян², А.С. Оганесян²

¹Национальный политехнический университет Армении

²ЗАО "Синописис Армения"

Исследованы способы построения дешифраторов адреса, являющихся одним из основных узлов запоминающих устройств. Приведены система уравнений описания их выходного сигнала и выражения для определения числа двухвходовых логических элементов И-НЕ или ИЛИ-НЕ при одновременном использовании этих элементов для их построения. Рассмотрены 8- и 16 - разрядные дешифраторы с тремя схемотехническими решениями: линейные, на логических элементах И-НЕ и ИЛИ-НЕ и по предложенному методу, реализованные по КМОП технологии. Для проектирования дешифраторов адреса с целью обеспечения минимальной динамической рассеиваемой мощности анализированы предложенные два способа их создания, которые необходимо применять для правильного сочетания логических элементов. Проведены моделирование схем дешифраторов адреса со структурами 3×8 и 4×16 с тремя вариантами их построения с помощью программного средства Hspice, а также топологическое проектирование с помощью программного пакета Custome Designer. Полученные результаты моделирования и топологического проектирования рассмотренных дешифраторов адреса для разных режимов работы сведены в таблицу, построены графики зависимостей разбросов временных задержек и фронтов выходных сигналов. Дан сравнительный анализ временных характеристик, мощности и занимаемой площади рассмотренных дешифраторов адреса. Результаты сравнительного анализа показали, что предложенный метод обеспечивает малый разброс времен задержек и фронтов выходных сигналов, которые уменьшаются с увеличением разрядности дешифратора, что является важным показателем запоминающих устройств, и, кроме того, позволяет создать дешифраторы, в которых отсутствует возможность возникновения ложных сигналов, что в итоге приводит к уменьшению динамической рассеиваемой мощности.

Ключевые слова: запоминающее устройство, рассеиваемая мощность, дешифратор, моделирование, ложный сигнал, время задержки, фронт сигнала, топология.

Введение. При проектировании запоминающих устройств одним из основных блоков является дешифратор адреса (ДА), т.к. на него рассеивается примерно 40...45% мощности, а также около 50% временных задержек [1-5]. При этом важной задачей является выбор структуры ДА. Целью работы является

исследование способов построения ДА, обеспечивающих малый разброс времен задержек и фронтов сигнала и минимальную рассеиваемую мощность.

Объект исследования. ДА имеет линейную или пирамидальную структуру с 2^n выходами, на одном из которых формируется высокий (логическая единица) или низкий (логический ноль) потенциал, а на остальных - низкий или высокий потенциал. Состояние выходного сигнала y_i описывается системой условий

$$y_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i = k; \\ 1, & \text{если } i \neq k; \\ k = 2^{n-1} \cdot x_{n-1} + \dots + 2^1 \cdot x_1 + 2^0 \cdot x_0. \end{cases}$$

ДА выполняются линейной и многоступенчатой структурами. Линейные ДА характеризуются минимальной задержкой. При росте разрядности ДА выполняются по многоступенчатой - пирамидальной схеме, первая ступень которой является линейным ДА. Каждая последующая ступень управляется дополнительной входной переменной. Задержка распространения сигнала в таких ДА в l (число ступеней) раз больше, чем в линейном. Число необходимых двухвходовых логических элементов (ЛЭ) (И-НЕ или ИЛИ-НЕ) для таких ДА имеет вид

$$K_{\text{И (ИЛИ)}} = 1 + l + \sum_{i=1}^l 2^{i+2}.$$

При одновременном использовании ЛЭ И-НЕ и ИЛИ-НЕ требуемое число двухвходовых ЛЭ уменьшается вдвое:

$$K_{\text{И + ИЛИ}} = 1 + l + \sum_{i=1}^l 2^{i+1}.$$

Правильным выбором структуры ДА можно уменьшить временные задержки и рассеиваемую мощность. В ДА на основе ЛЭ И используются двухвходовые ЛЭ И, так как увеличение числа входов приводит к увеличению временных задержек. По КМОП технологии, ЛЭ И реализуется с помощью ЛЭ И-НЕ и НЕ, следовательно, такое построение ДА приводит к увеличению рассеиваемой мощности и временных задержек. Из табл.1 видно, что в ЛЭ И-НЕ только при комбинации 11 на выходе формируется логический 0.

Для ЛЭ ИЛИ-НЕ только при комбинации 00 на выходе формируется логическая 1, а для других комбинаций - логический 0.

Динамическая рассеиваемая мощность обусловлена переключением схемы от одного логического состояния в другое. При правильном сочетании ЛЭ И-НЕ

и ИЛИ-НЕ можно уменьшить количество переключений и динамическую мощность. Для правильного сочетания необходимо применять два принципа.

1. Если требуется на выходе высокий логический уровень (1), то необходимо в этом каскаде применять ЛЭ ИЛИ-НЕ (табл.1).

2. Если требуется на выходе низкий логический уровень (0), то необходимо в этом каскаде применять ЛЭ И-НЕ (табл.1).

Таблица 1

Таблицы истинности ЛЭ И, ИЛИ, И-НЕ и ИЛИ-НЕ

Входная комбинация		Выходные значения			
a	b	И	ИЛИ	И-НЕ	ИЛИ-НЕ
0	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0

Из этих принципов очевидно, что если знаем выходной сигнал хотя бы одного каскада, т.е. тип ЛЭ (ИЛИ-НЕ, И-НЕ), то будут известны и типы ЛЭ предыдущих и последующих каскадов [4,5]; если n-й выход ДА должен иметь высокий уровень, то в этом каскаде необходимо использовать ЛЭ ИЛИ-НЕ, а в каскадах n-1 и n+1 - ЛЭ И-НЕ. В таких ДА младший бит проходит по всем каскадам, а старший бит - только по последнему каскаду, т.е. входы распространяются разными путями, приводящими к формированию на выходе ложных сигналов [4,5] и к дополнительной рассеиваемой мощности.

Постановка задачи и обоснование методики. Целью работы является разработка ДА на основе созданного метода и проведение сравнительной оценки разбросов их временных параметров с аналогичными параметрами типовых ДА с учетом увеличения разрядности. Сущность созданного метода минимизации рассеиваемой мощности в виде алгоритма синтеза сводится к следующему [6]:

1. Задается функция, для которой необходимо рассчитать активность переключения в конъюнктивной нормальной (КНФ) или дизъюнктивной нормальной (ДНФ) форме.

2. Составлен вероятностный вектор входных сигналов $P = |p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_n|$.

3. Из заданного вероятностного вектора $P = |p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_n|$ выбирается пара, активность переключения которой наименьшая на основании рассмотренных выше формул $\lim(\text{пара } p_2, \dots, p_3) = \min$. Тогда вероятность данной пары из заданного вероятностного вектора заменяется вероятностью сигнала нового ЛЭ $P = |p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_n|$.

4. Действие согласно пункту 3 осуществляется до тех пор, пока содержимое вероятностных векторов не станет равным 1.

5. Выбираются два разных пути от входа к выходу, активности переключения которых соответственно равны: $W(1) = m$, $W(2) = n$, причем $m > n$.

6. Вычисляется разница $W(1) - W(2) = m - n$ активностей переключения.

7. Задается пороговое значение $t = x$, которое может изменяться в зависимости от технологии в пределах 0,3...2.

8. Добавляется инверторная реплика, если $W(1) - W(2) > t$ или $m - n > x$.

9. Вычисляется активность переключения инверторной реплики $r = W(\text{rep})$.

10. Вычисляется число пар инверторной реплики d :

$$d = \frac{w(1)-w(2)}{w(\text{rep})}.$$

11. На коротком пути добавляется реплика количеством d и проверяется следующее условие: $|(n + d * r) - m| \leq x$, удовлетворяется конец алгоритма.

В противном случае, на короткий путь добавляются реплики количеством $d-1$ и $d+1$. Из этих трех вариантов выбирается вариант с наименьшей разницей.

Программным пакетом Custome Designer проведено топологическое проектирование типовых ДА и ДА с использованием преддешифратора и инверторных реплик. В результате полученных описаний проведено моделирование программным инструментом Hspice (рис. 1-6).

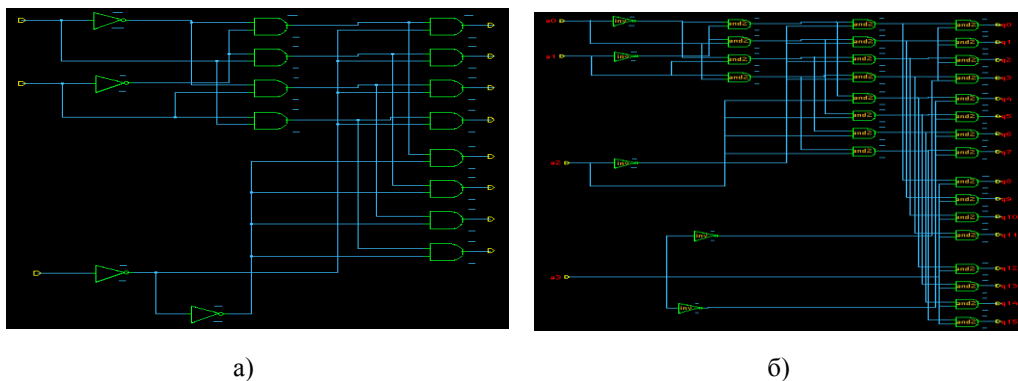
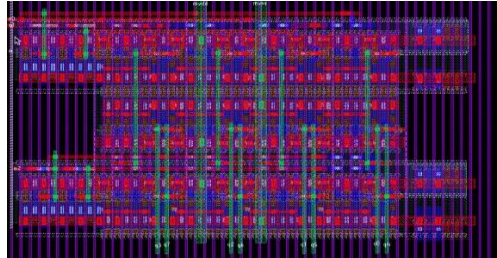
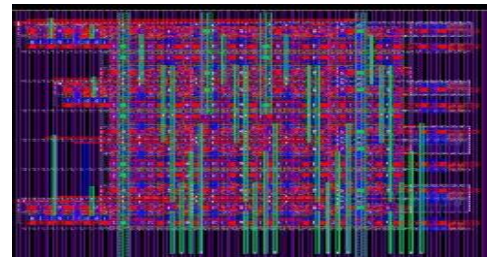


Рис. 1. Схемы линейных ДА: а - 3×8, б - 4×16

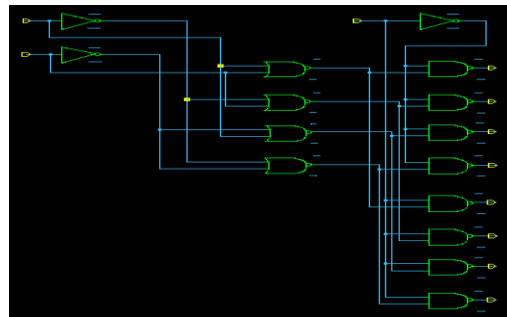


а)

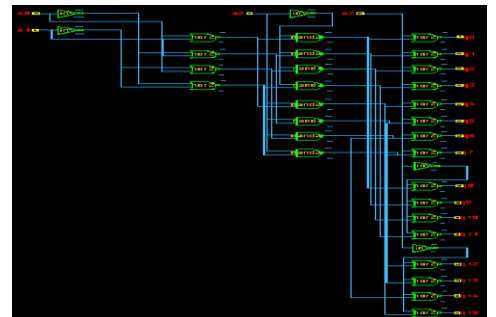


б)

Рис. 2. Топологии линейных ДА: а - 3×8 , б - 4×16

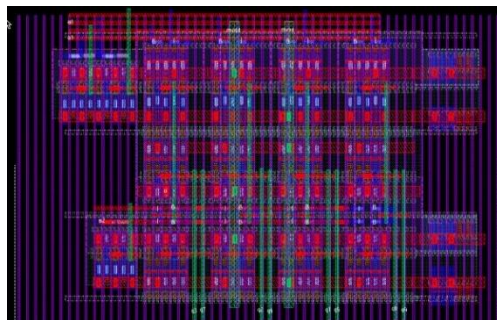


а)

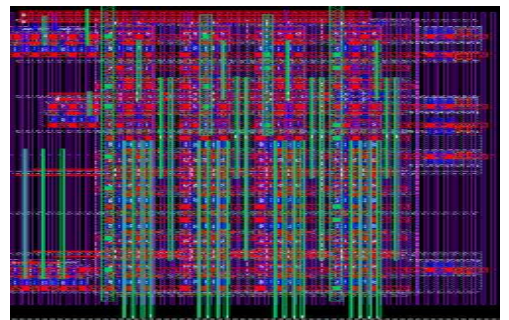


б)

Рис. 3. Схемы ДА на ЛЭ И-НЕ и ИЛИ-НЕ: а - 3×8 , б - 4×16



а)



б)

Рис. 4. Топологии ДА на ЛЭ И-НЕ и ИЛИ-НЕ: а - 3×8 , б - 4×16

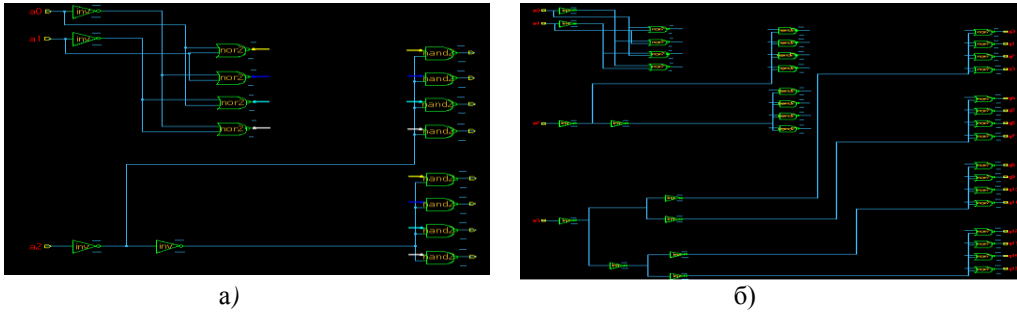


Рис. 5. Схемы ДА, разработанных предложенным методом: а - 3×8 , б - 4×16

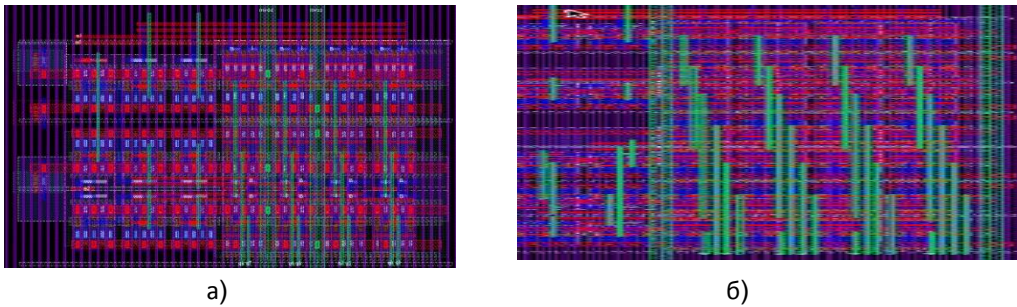


Рис. 6. Топологии ДА, разработанных предложенным методом: а - 3×8 , б - 4×16

В табл. 2 и 3 приведены результаты исследований по предложенному методу, обеспечивающие построение ДА при отсутствии ложных сигналов [4-6].

Таблица 2

Потребляемая мощность и площади ДА 3×8

Схема	Процесс – напряжение - температура	Ток потребления (мкА)	Площадь (мкм ²)
Рис. 1	типовой, 0,8В, 25 ⁰ С	85,7	13,3
Рис. 3	типовой, 0,8В, 25 ⁰ С	77,2	12,1
Рис. 5	типовой, 0,8В, 25 ⁰ С	82,9	12,5

Таблица 3

Задержки по выходам $q0$ и $q15$ и потребляемые мощности ДА

Схема	Процесс – напряжение - температура	Задержка переднего фронта ($q0$), $нс$	Задержка заднего фронта ($q0$), $нс$	Задержка переднего фронта ($q15$), $нс$	Задержка заднего фронта ($q15$), $нс$	Потребляемая мощность, $мкВт$	Площадь, $мм^2$
Рис.1, б	типовой, $0,8В, 25^{\circ}С$	69,54	70,21	59,81	28,93	39,90	125,9
	медленный, $0,8В, -40^{\circ}С$	96,99	98,63	82,58	38,36	33,92	
	медленный, $0,72В, 125^{\circ}С$	91,01	93,54	78,75	35,47	31,73	
	быстрый, $0,88В, -40^{\circ}С$	54,42	54,54	46,43	24,20	50,82	
Рис.2, б	типовой, $0,8В, 25^{\circ}С$	49,50	46,88	53,24	30,81	27,48	124,1
	медленный, $0,8В, -40^{\circ}С$	69,13	63,18	75,30	41,54	23,28	
	медленный, $0,72В, 125^{\circ}С$	63,59	61,64	70,09	38,53	21,87	
	быстрый, $0,88В, -40^{\circ}С$	39,66	37,16	41,35	25,26	35,20	
Рис.3, б	типовой, $0,8В, 25^{\circ}С$	54,11	52,47	59,78	47,32	31,8	134,1
	медленный, $0,8В, -40^{\circ}С$	76,17	69,99	83,20	65,42	26,64	
	медленный, $0,72В, 125^{\circ}С$	69,61	68,92	78,49	61,13	25,38	
	быстрый, $0,88В, -40^{\circ}С$	43,11	41,68	46,57	37,67	40,51	

На основе результатов моделирования построены разбросы временных параметров для ДА 3×8 и 4×16 , разработанных по предложенному методу, которые приведены на рис. 7 и 8. Показано, что с увеличением разрядности ДА временные разбросы уменьшаются.

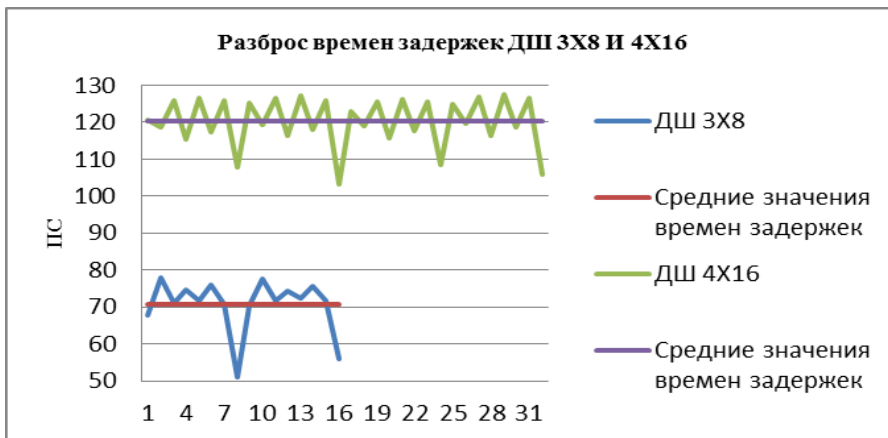


Рис. 7. Зависимость разброса временных задержек по выходам для ДА 3×8 и 4×16, разработанных по предложенному методу, типовой процесс 0,8В, 25 °С

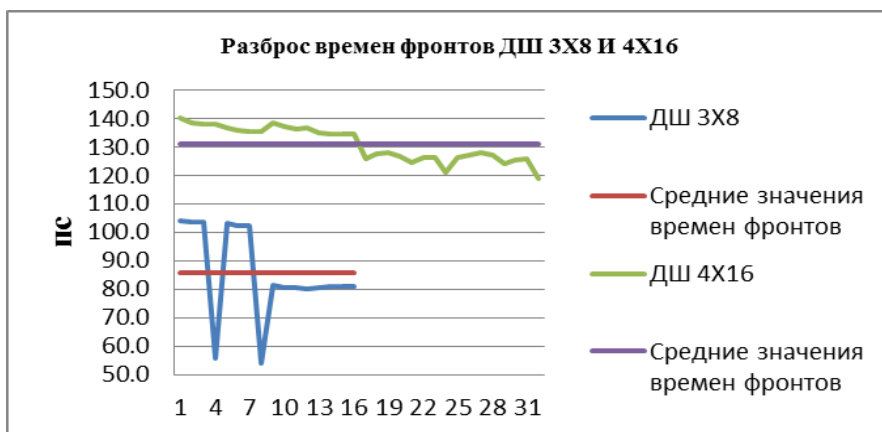


Рис. 8. Зависимость разброса фронтов сигналов по выходам для ДА 3×8 и 4×16, разработанных по предложенному методу, типовой процесс 0,8В, 25 °С

Выводы

1. Показано, что выбором правильного сочетания логических элементов для построения дешифраторов адреса можно уменьшить количество переключений и динамическую мощность. Проанализированы принципы правильного сочетания.

2. Результаты моделирования 8- и 16- разрядных ДА показали, что разбросы фронтов нарастания и спада выходных сигналов и времен задержек ДА, разработанных предложенным методом, имеют наименьшее значение.

3. Показано, что разброс уменьшается с увеличением разрядности, что подтверждает достоверность предложенного метода.

Литература

1. **Мурашко И.А.** Методы оценки рассеиваемой мощности в цифровых КМОП схемах // Доклады БГУИР. - 2007. - № 1 (17). - С. 100-108.
2. **Мурашко И.А., Яролик В.Н.** Методы минимизации энергопотребления при самотестировании цифровых устройств. - Минск: Бестпринт, 2004. - 188 с.
3. **Петросян О.А., Авдалян Н.Б., Меликян Г.Ш.** Сравнительная оценка рассеиваемой мощности накопителей КМОП статических оперативных запоминающих устройств // Вестник ГИУА. Серия "Информационные технологии, электроника, радиотехника". – 2014. - Вып.17, №1. - С. 60-68.
4. **Petrosyan O.H., Avdalyan N.B., Julhakyan H.K.** The new method development for the construction of low power consumption decoders // Semiconductor micro- & nanoelectronics 10th International conference, September 11-13, 2015. - Yerevan, Armenia, 2015. - P. 157-163.
5. **Авдалян Н.Б.** Методика выбора способа построения дешифраторов адреса с минимальной рассеиваемой мощностью // Сборник научных трудов по материалам Межд. науч.-практ. конф. "Наука и образование в жизни современного общества", 30 апреля 2015.-Тамбов, Россия, 2015. -Том 7. - С. 8-14.
6. **Петросян О.А., Авдалян Н.Б.** Разработка обобщенного метода минимизации рассеиваемой мощности логических КМОП схем // Известия НАН РА и НПУА. Сер. Техн. наук. - 2015. - Т. 68, № 4. - С. 454-464.

*Поступила в редакцию 29.03.2016.
Принята к опубликованию 20.05.2016.*

ՎԵՐՄԱՆԻՉՆԵՐԻ ՎԱՌՈՒՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄՏԱՍԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Օ.Հ. Պետրոսյան, Ն.Բ. Ավդալյան, Ա.Ս. Հովհաննիսյան

Հետազոտվել են հասցեների վերծանիչի՝ որպես հիշող սարքերի հիմնական հանգուցներից մեկի կառուցման եղանակները, ներկայացվել են նրա ելքային ազդանշանի նկարագրման հավասարումների համակարգը և դրանց կառուցման համար երկմուտքանի ԵՎ-ՈՉ կամ ԿԱՄ-ՈՉ տրամաբանական տարրերի և այդ տարրերի միաժամանակ օգտագործման քանակների արտահայտությունները: Դիտարկված են ուլթ և տասնվեց-կարգանի վերծանիչներ երեք սխեմատեխնիկական լուծումներով՝ գծային, ԵՎ-ՈՉ, ԿԱՄ-ՈՉ տրամաբանական տարրերի հիման վրա և առաջարկված մեթոդով իրականացված ԿՄՕԿ տեխնոլոգիայով: Դինամիկ ցրման նվազագույն հզորություն ապահովելու նպատակով հասցեների վերծանիչների նախագծման համար վերլուծված են դրանց ստեղծման երկու եղանակները, որոնք անհրաժեշտ է կիրառել տրամաբանական տարրերի ճիշտ համակցման համար: Վստարված է 3×8 և 4×16 կառուցվածքներով հասցեների վերծանիչների մոդելավորում դրանց կառուցման երեք տարբերակներով՝ Hspice ծրագրային միջոցի, ինչպես

նան տոպոլոգիական նախագծում Custome Designer ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ: Կատարվել է ժամանակային բնութագրերի, հզորության և զբաղեցրած մակերեսի համեմատական վերլուծություն, որոնք ցույց են տվել, որ առաջարկված մեթոդն ապահովում է ելքային ազդանշանների հապաղումների և ճակատների փոքր ցրվածություն, որոնք փոքրանում են վերձանիչի կարգայնության մեծացմանը զուգընթաց, ինչը հիշող սարքերի համար շատ կարևոր ցուցանիշ է: Ցույց է տրված, որ հասցեների վերձանիչների կառուցման առաջարկված մեթոդը հնարավորություն է տալիս՝ ստեղծելու վերձանիչներ, որոնցում բացակայում է կեղծ ազդանշանների առաջացման հնարավորությունը, ինչը հանգեցնում է դինամիկ ցրման հզորության փոքրացմանը:

Առանցքային բառեր. հիշող սարք, ցրման հզորություն, վերձանիչ, մոդելավորում, կեղծ ազդանշան, հապաղման ժամանակ, ազդանշանի ճակատ, տոպոլոգիա:

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR CONSTRUCTING DECODERS

O.H. Petrosyan, N.B. Avdalyan, A.S. Hovhannisyan

Ways of constructing address decoders - one of the main components of memory devices are investigated. The description system of equations and terms for determining the number of two-input AND gates or NAND and NOR the simultaneous use of these elements for their construction are introduced. Eight and sixteen bit decoders with three engineering solutions: linear, on the logical elements NAND and NOR, and by the proposed methods implemented by the CMOS technology are considered. For the design of address decoders, in order to ensure a minimum of dynamic power dissipation, two ways of creating them to be used for the right combination of logic elements are analyzed. The simulation of the address decoder with structures 3×8 and 4×16 with three options for constructing them, by using Hspice software tools and physical design, by using software Custome Designer package are carried out. A comparative analysis of timing, power and footprint is performed. Its shows that the proposed method provides a small spread delay times and the fronts of output signals, which decreases with increasing the bit decoder, which is a very important indicator of memory. It is also shown that this method of construction allows the address decoders to create decoders which lack the possibility of false signals resulting in a decrease in dynamic power dissipation.

Keywords: storage device, power dissipation, decoder, modeling, a false signal, the delay time, the signal edge, topology.

UDC 621.315:621.382

**MODELING THE I-V CHARACTERISTICS OF THE THIN FILM
Pt/Ba_xSr_{1-x}TiO₃/Pt STRUCTURE UNDER THE ELECTRON BEAM
IRRADIATION**

V.V. Buniatyan, G.Sh. Melikyan, V.M. Tsakanov, H.R. Dashtoyan

National Polytechnic University of Armenia

A new model of the I-V characteristics based on the Schottky field-assisted and the Pool-Frenkel emission effects under the simultaneous influence of electron beam radiation on ferroelectric films is proposed. Numerical calculations and the results of mathematical modeling of the I-V characteristics carried out for different values of Pt/Ba_xSt_{1-x}TiO₃/Pt (Pt/BST/Pt) thin film structure parameters are presented when the film is irradiated by an electron beam of different flux. The theoretical estimations of the emission process indicate that the Pool-Frenkel emission is compatible with the Schottky field emission mechanism. Due to the presence of electron irradiation, the Pool-Frenkel emission takes place in the range of lower voltages. The analysis of the I-V characteristics indicates that the trapping centers can be activated at very low (in spite of classical theory, exceeding 10^6 V/cm) electric fields ($10^3 \dots 10^4$ V/cm) due to the existence of the electron beam irradiation.

From the practical point of view, the further understanding of the mechanism of the trapping/detrapping process can allow to characterize the I-V behavior, hysteresis effects, the noise, capacitance and other effects in the Pt/BSTO/Pt structures. The proposed theory may be useful for the analysis and modeling of the parameters and physical processes taking place in other similar perovskite oxide - based structures.

Keywords: leakage current, ferroelectric, trapping center, Schottky barrier, Pool-Frenkel emission, oxygen vacancy.

Introduction. As it was indicated in the previous study [1], the leakage current in thin ferroelectric film devices (memory cell, varactor etc.) has been a subject for extensive studies [2-6]. The main task of these investigations is to understand and propose methods for the reduction of the negative impact of the leakage currents on the device performance, and sometimes the leakage currents themselves are used as a sensitive diagnostic tool for monitoring the material parameters, such as concentration and distribution of defects and the quality of interfaces. The magnitude of the leakage current and the shape of the I-V curve depend on the conduction mechanism on the dielectric process in the ferroelectric and on the difference in the work function between the electrode and ferroelectric, nature and density of the interface states. The Schottky emission [5,7,8], the Poole-Frenkel emission [8, 9], the tunneling (field) emission, the space-charge limited regime [2-5, 10], the ionic conductance, the hopping conductance, etc have been considered. The main experimental results reported for BST and PZT

indicated a strong correlation of the leakage current with the crystalline structure of the film. Most of the metal-ferroelectric junctions lie between the Schottky and Bardeen limits. In the Pt – SrTiO₃ contact, the effect of oxygen vacancies on the barrier height becomes important for the density of vacancies $10^{18} \dots 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ [2-9, 11]. The electrochemical interaction of the electrodes with the carriers in a ferroelectric may induce “dead layers” [11-13]. Ferroelectric thin films widely used in memory devices, tunable capacitors, infrared detectors, surface acoustic wave (SAW) devices, microactuators and bio(chemical) sensors which can find application in the radiation environments such as space, nuclear reactors and nuclear waste containers, will be exposed to constant ionizing radiation and will suffer changes in their performance. Some of these applications require BST (PZT)-based devices to operate in radiation fields where they will be exposed to a high flux of energetic, heavy and light, charged and uncharged particles.

In this context, the aim of the present article is to study the effect of high energy electron beam irradiation on the electric, dielectric and ferroelectric properties of these thin films.

1. Mathematical modeling results. Based on the theoretical analysis and results obtained by us in [1] for the thin film $Pt/Ba_xSr_{1-x}TiO_3/Pt$ structure, the results of mathematical modeling are presented. As it is noted in [1], for the I-V characteristics of the above mentioned structure, we have obtained:

$$J\left[\frac{A}{\text{cm}^2}\right] = q\mu E_0 \left\{ N_{v_0} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{g} \exp\left(\frac{E_t - E_F}{kT}\right)} \right] - \frac{N_{v_0} E_t}{(1 + \gamma_3) kT} - \frac{\epsilon_r E_0}{ql(1 + AE_0^2)} \right\}, \quad (1)$$

where $\gamma_3 = \frac{v \exp(\beta_{pF} E^{1/2}) \exp(K_n \Phi) q \mu E}{\sigma v_{th} J_s \exp(\beta_s E_{(0)}^{1/2})}$, $K_n = S \frac{\Delta n_c \Delta E_{eb}}{kT n_t}$, is the rate of escape

of electrons from the trap center to the conduction band due to the interaction with the electron beam (due to the absorption of corresponding energy from the electron beam), Δn_c is the fraction of the trapped electrons released to the conduction band under the influence of the electron beam, l is the length of the film, and the sense of the other symbols are presented in [1].

As it follows from (1), with the increase of electric field (E), the electron beam intensity Φ , the concentration of the trapped electrons, n_t decreases. It means that the concentration of free electrons increases which, in turn leads to an increase in the free electron concentration and, consequently, to an increase of J for the other equal conditions.

Numerical calculations have been carried out for the following values of the parameters, taking into account the results obtained by different authors for a similar structures: the cross section area $S \cong (6 \dots 8) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$, $\mu \approx \frac{(0.1 \div 6) \text{ cm}^2}{V_s V_s}$, $\epsilon(0) \approx 300$

[2,4,6,11,12], $T=300\text{ K}$, $E_{tn} \approx 0.06 \div 0.36\text{ eV}$ [2,4,5,10-12], the capture cross section, $\sigma = (10^{-13} \div 10^{-14})\text{ cm}^2$ [2-4,9,10-13], $N_{V_0} \approx (10^{16} \div 10^{13})\text{ cm}^{-3}$ [2-4,9,10-12], the thermal velocity of the carriers, $v_{th} \approx 10^7\text{ cm/s}$, the attempt to escape frequencies $\vartheta \approx 10^{12}\text{ s}^{-1}$, the electron beam flux, $\Phi=(10^{12} \div 10^{14})\text{ electr./cm}^2$ [13-16], the concentrations of free electrons, $n_{c_0} \approx (10^6 \div 10^{10})\text{ cm}^{-3}$, the Poole-Frenkel coefficient, $\beta_{PF}=1.5 \cdot 10^{-4}$ [8-12], $K_n = (10^{-11} \div 10^{-13})\text{ cm}^2$. The results of numerical simulations are shown in Fig.1-7.

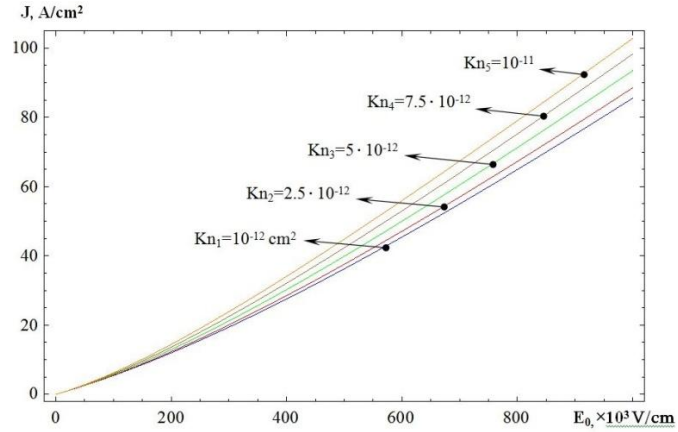


Fig. 1. Dependence of $J(\text{A}/\text{cm}^2)$ on electric field E_0 of the Pt /BSTO/Pt structure for different values of parameter K_n (cm^2)(The other parameters are: $N_{v_0}=10^{18}\text{ cm}^{-3}$; $E_t=0.026\text{ eV}$; $\mu=0.5\text{ cm}^2/\text{Vs}$; $J_s=10^2\text{ A}/\text{cm}^2$; $\epsilon_f=10$; $\Phi=10^{11}\text{ el.}/\text{cm}^2$; $\sigma=10^{-13}\text{ cm}^2$; $l=0.2\text{ cm}$; $n_{c_0}=10^9\text{ cm}^{-3}$; $\tau=10^{12}\text{ s}^{-1}$; $N_t=10^{17}\text{ cm}^{-3}$)

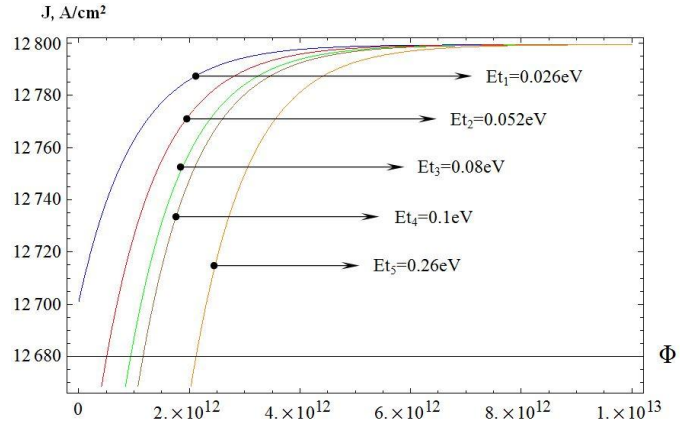


Fig. 2. Dependence of $J(\text{A}/\text{cm}^2)$ on electron beam flux Φ ($\text{el.}/\text{cm}^2$) of Pt/BSTO/Pt structure for different values of parameter E_t . ($K_n=10^{-12}\text{ cm}^2$, and the other parameters as in Fig. 1)

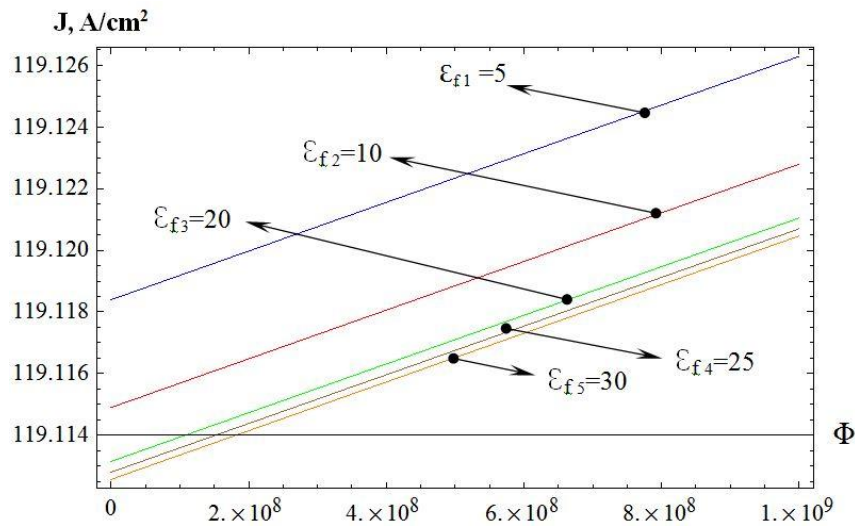


Fig. 3. Dependence of J (A/cm²) on electron beam flux Φ (el./cm²) of the Pt/BSTO/Pt structure for different values of dielectric permittivity of the ferroelectric film, ϵ_f . (The other parameters are as in Fig. 2)

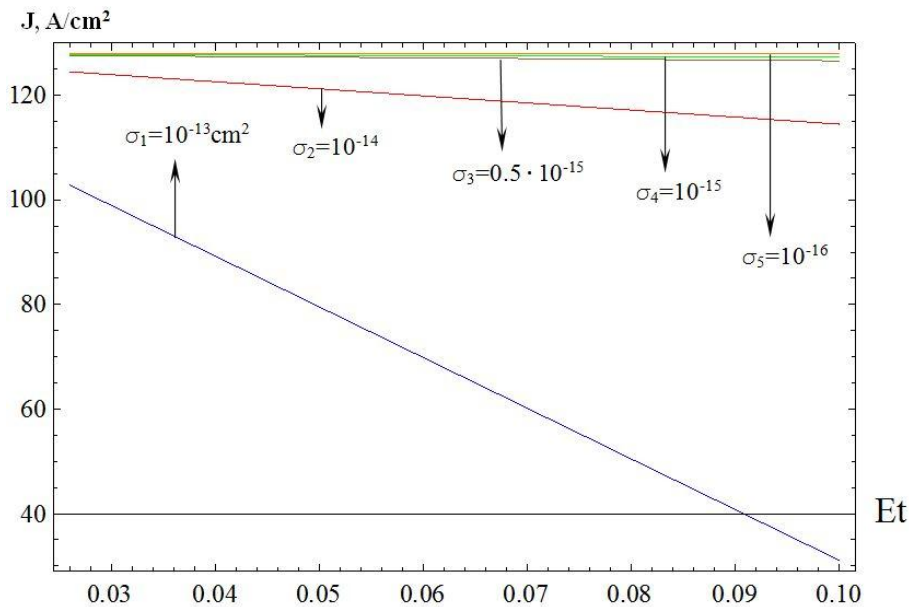


Fig. 4. Dependence of J (A/cm²) on parameter E_t of the Pt/BSTO/Pt structure for different values of capture cross section σ (cm²), ($\Phi=10^{12}$ el./cm², $\epsilon_f=10$ and the other parameters are as in Fig. 3)

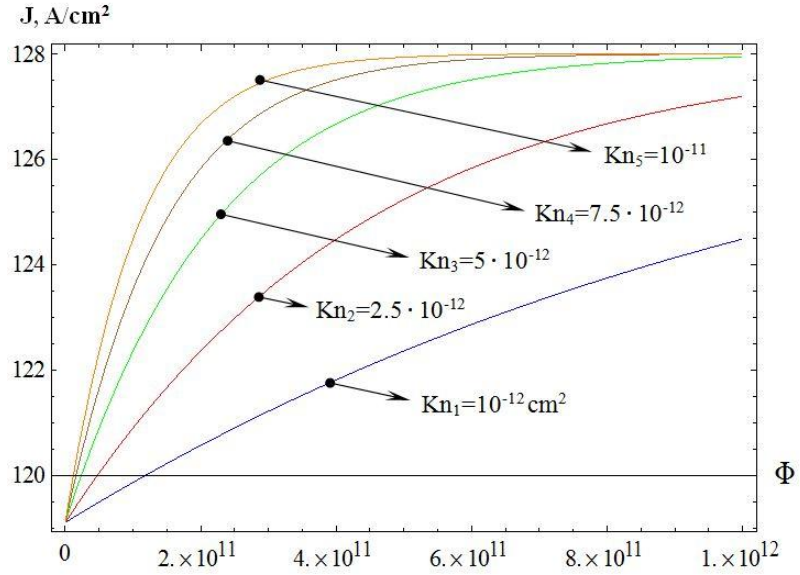


Fig. 5. Dependence of J (A/cm^2) on electron beam flux Φ (el./cm^2) of the Pt/BSTO/Pt structure for different values of parameter K_n ($\epsilon_f=10$, and the other parameters are as in Fig. 4)

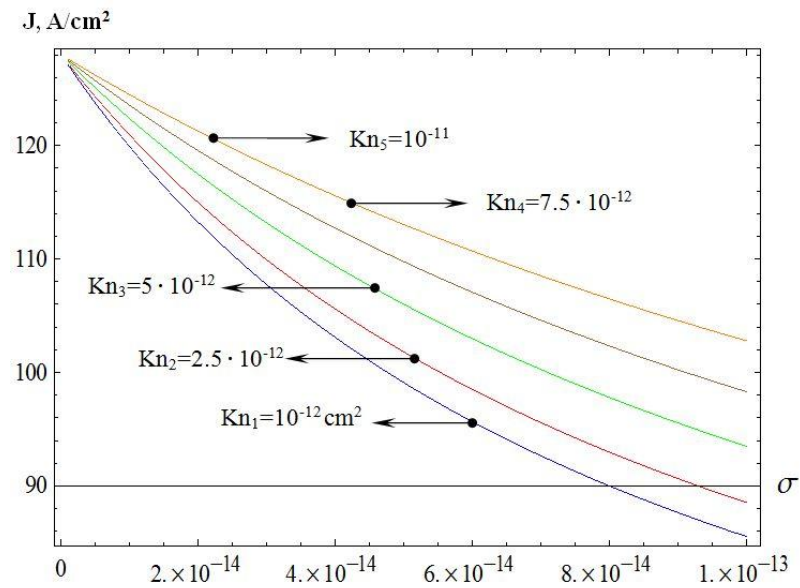


Fig. 6. Dependence of J (A/cm^2) on electron capture cross section, σ (cm^2) of the Pt/BSTO/Pt structure for different values of parameter K_n ($\epsilon_f=10$, $\Phi=10^{11}$ el./cm^2 , and the other parameters are as in Fig. 5)

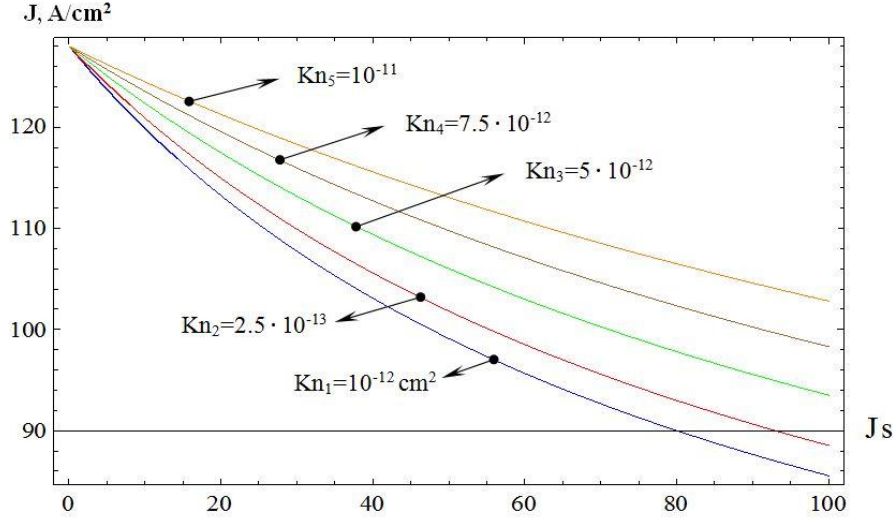


Fig. 7. Dependence of J (A/cm^2) on J_s (A/cm^2) of the Pt/BSTO/Pt structure for different values of parameter K_n . ($\Phi=10^{11}$ eL/cm^2 , $E_t=0.01eV$, $\epsilon_f=5$, $E_0=10^5$ V/cm , $\sigma=10^{-14}$ cm^2 , and the other parameters are as in Fig. 6)

2. Results and conclusions. As it is obvious from the figures, with the increase of electric field, E , and the increase of the electron beam flux Φ , the current increases and tends to saturate (Fig. 1, 2, 4, 5). With the increase of the dielectric constant of the ferroelectric film ϵ_f , the current decreases for all other equal conditions (Fig. 5) due to the decrease in the free electron concentration (see Eq.13b [1]). The increase in the trap energy depth E_t , leads to an decrease in current (Fig. 6) due to decreases of the escape rate of electrons. The increase in the electron capture cross section σ caused the decrease in the current because the capture is dominated of the escape processes. With the increase in the Schottky assistance current J_s , due to the increase of the captured electrons in traps and the decrease of the free electron concentration, current J must be decreased too.

In conclusion, a new model of the I - V characteristics based on the Schottky field-assisted and the Pool-Frenkel emission effects under the simultaneous influence of electron beam radiation on ferroelectric films is proposed. The space charge is assumed to be related to deep trapping centers and oxygen vacancies. In the discussed applied voltage polarity case (see Fig. 2 [1]), the injected carrier are mainly electrons (from contacts 1, Fig. 2[1]) and the electrons released by traps due to Pool-Frenkel emission. The theoretical estimations of the emission process unambiguously indicate that the Pool-Frenkel emission is compatible with the Schottky field emission mechanism. Due to the presence of electron irradiation, the Pool-Frenkel emission takes place in the range of lower voltages.

From the practical point of view, the further understanding of the mechanism of the trapping/detrapping process may allow to characterize the I - V behavior, hysteresis effects, the noise, capacitance and other effects in devices based on the Pt/BSTO/Pt structures. And finally, the proposed theory may be useful for the analysis of similar structures based on other perovskite ferroelectrics.

This work was supported by State Committee of Science MES RA, in the frames of the research project № SCS 14AR-2f12.

References

1. **Buniatyan V.V., Tsakanov V.M., Karoyan G.S., Dashtoyan H.R.** I - V characteristics of thin film Pt/Ba_xSr_{1-x}TiO₃/Pt structure under the electron beam irradiation // Proceed. of National Polytechnic University of Armenia (NPUA), Information technologies, electronics, radioengineering.- 2015.- N2.- P. 60-70.
2. **Dawber M., Raba J.F., Scott J.F.** Physics of thin-film ferroelectric oxides // Rev. of Modern Phys.- 2005.- V.77.- P. 1083-1130.
3. Leakage currents in Ba_{0.75} Sr_{0.25} TiO₃ thin films for ultrahigh-density dynamic random access memories / **G.W. Dietz, M. Schumacker, R. Waser, et al** // J.Appl.Phys.- 1997.- V.82, №5.- P. 2359-2364.
4. **Saha S., Kaufman D.X., Streiffer S.K., Auciello O.** Anomalous leakage current characteristics of Pt/(Ba_{0.75},Sr_{0.25})Ti_{1+y}O_{3+z}/Pt thin films grown by metal-organic chemical vapor deposition // J. Appl. Phys.- 2003.-V. 28, №24.- P. 3866-3868.
5. Morphology and oxygen vacancy investigation of strontium titanate-based photo electrochemical cells / **D. Hertkorn, U. Gleißner, C. Megnin, et al** // Journal of Materials Science.- 2015.-V.50, N1.- P. 40-48.
6. **Stolichnov I., Tagantsev A.** Space –Charge influenced-injection model for conduction in Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ thin films // J. Appl. Phys.- 1998.-V.84, 6.- P. 3216-3225.
7. Metal-ferroelectric-metal structures with Schottky contacts. Analysis of the experimental current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Pb(Zn,Ti)O₃ thin films/ **L. Pintilie, I. Boerasu, M.J.M. Gomes, et al** // J. Appl. Phys.-2005.-V.98.- P.124104-124104.
8. **Mitrofanov O., Manfa M.** Poole-Frenkel electron emission from the traps in AlGaN/GaN transistors // J. Appl. Phys.- 2004.- V.95.- P. 6414-6419.
9. **Antula J.** Hot-electron concept for Poole-Frenkel conduction in amorphous dielectric solids // J. Appl. Phys.- 1972.-V.94, №11.- P.4663-4668.
10. **Simmons J.G.** Potential barriers and Emission-limited Current Flow Between Closely Spaced Parallel Metal Electrodes // J. Appl. Phys.- 1964.- V.35.- P. 2472-2481.
11. Ferroelectric Materials for Microwave Tunable applications / **A.K. Tagantsev, V.O. Sherman, K.F. Astafiev, et al** // J. of Electroceramics.- 2003.- P.11-66.
12. Oxygen vacancy affect on ferroelectric characteristics. Part 1/ **V.V. Buniatyan, N.W. Martirosyan, V.K. Begoyan, et al** // Proceed. of Engineering Academy of Armenia (PEAA).- 2011.- V.8, N2.- P. 375-382.

13. Oxygen vacancy affect on ferroelectric characteristics. Part 2 / **V.V. Buniatyan, N.W. Martirosyan, V.K. Begoyan, et al** // Proceed. of Engineering Academy of Armenia (PEAA).- 2011.- V.8, N3.- P. 442-450.
14. Dielectric properties of electron irradiated PbZrO₃ thin films / **S. Aparna, V.M. Jali, G. Sanjeev, et al** // Bull. Mater. Sci.- 2010.- V. 33, No. 3.- P. 191–196.
15. The influence if electron beam on dielectric properties of ferroelectric BSTO films / **V.A. Balakin, A.I. Dedik, S.F. Karmanenko, et al** // Pisma JTF.- 2003.- V.29.- P.77-83.

Received on 07.04.2016.

Accepted for publication on 20.05.2016.

**Pt/Ba_xSr_{1-x}TiO₃/Pt ՆՈՒՐԲԹԱՂԱՆԹԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ
I-V ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՓՆՁՈՎ
ՃԱՌԱԳԱՅԹԵԼԻՍ**

Վ.Վ. Բունիաթյան, Գ.Շ. Մելիքյան, Վ.Ս. Ցականով, Հ.Ռ. Դաշտոյան

Առաջարկվում է ֆերոէլեկտրիկ թաղանթների I-V բնութագրերի նոր մոդել՝ հիմնված Շոտկիի դաշտային և Պուլ-Ֆրենկելյան առաքման մեխանիզմների վրա, երբ թաղանթը միաժամանակ ենթարկվում է էլեկտրոնային փնջի ճառագայթման: Ներկայացված են թվային հաշվարկները և մոդելավորման արդյունքները, որոնք իրականացվել են ֆերոէլեկտրական Pt/Ba_xSt_{1-x}TiO₃/Pt (Pt/BSTO/Pt) բարակ թաղանթային կառուցվածքների պարամետրերի տարբեր արժեքների և էլեկտրոնային փնջի ճառագայթման տարբեր հոսքերի ռեժիմներում: Տեսական գնահատականները, մոդելավորման արդյունքների վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ Պուլ-Ֆրենկելյան առաքումը ըստ նշանակության համեմատելի է Շոտկիի դաշտային առաքմանը: Շնորհիվ էլեկտրոնային փնջի ճառագայթման առկայության և ազդեցության, Պուլ-Ֆրենկելյան էմիսիան տեղի է ունենում ավելի ցածր լարման դեպքում: I-V բնութագրերի վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ էլեկտրոնային փնջի ճառագայթման հետևանքով թակարդային կենտրոնները կարող են ակտիվանալ շատ փոքր՝ (10³...10⁴ Վ/սմ) դաշտերի դեպքում, ի հակադրություն դասական տեսության, ըստ որի դաշտի լարվածությունները պետք է 10⁶ Վ/սմ-ից ավելի լինեն:

Գործնական տեսանկյունից գրավման/առաքման գործընթացների խոր իմացությունը հնարավորություն կտա ավելի ճշգրիտ մոդելավորել I-V բնութագրերի վարքը, հիստերեզիսային, աղմկային, ունակային և այլ երևույթները Pt/BSTO/Pt կառուցվածքներում: Առաջարկվող տեսությունը կարող է օգտակար լինել այլ պերովսկիտ ֆերոէլեկտրիկների վրա հիմնված համանման կառուցվածքների բնութագրերի և դրանցում ընթացող էլեկտրաֆիզիկական երևույթների մոդելավորման և վերլուծության համար:

Առանցքային բառեր. կորստյան հոսանք, ֆերոէլեկտրիկ, գրավման կենտրոն, Շոտկիի արգելք, Պուլ-Ֆրենկելյան առաքում, թթվածնի վականսիա:

МОДЕЛИРОВАНИЕ I-V ХАРАКТЕРИСТИК Pt/Ba_xSr_{1-x}TiO₃/Pt ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА

В.В. Буниатян, Г.Ш. Меликян, В.М. Цаканов, О.Р. Даштоян

Предлагается новая модель I-V характеристик на основе эмиссии Шоттки и Пуля-Френкеля при одновременном воздействии излучения электронного пучка на сегнетоэлектрические пленки. Представлены численные расчеты, проведенные для различных значений параметров, и результаты математического моделирования I-V характеристик сегнетоэлектрика на основе Pt/Ba_xSt_{1-x}TiO₃/Pt (Pt/BST/Pt) тонкопленочных структур, когда пленка облучается электронным пучком различной интенсивности. Оценки процесса эмиссии показывают, что пуль-френкельная эмиссия совместима с механизмом автоэлектронной эмиссии Шоттки. В связи с наличием электронного облучения пуль-френкельная эмиссия происходит в диапазоне низких напряжений. Анализ I-V характеристик показывает, что вследствие излучения электронного луча ловушечные уровни могут активироваться при малых ($10^3...10^4$ В/см) полях вопреки классической теории, согласно которой напряжение поля должно быть больше 10^6 В/см.

С практической точки зрения, дальнейшее понимание механизма процесса захвата/эмиссии может позволить охарактеризовать I-V характеристики, гистерезисные эффекты, шум, емкости и другие эффекты в устройствах, основываясь на Pt/BSTO/Pt структурах. Предложенная теория может быть полезна для анализа аналогичных структур на основе других перовскитоподобных сегнетоэлектриков.

Ключевые слова: ток утечки, сегнетоэлектрик, центр захвата, барьер Шоттки, пуль-френкельная эмиссия, кислородная вакансия.

УДК 621.391

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ БЛОЧНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ

О.А. Гомцян

Национальный политехнический университет Армении

Рассмотрены вопросы построения систематических и несистематических циклических кодов, применяемых во многих современных системах обработки информации, таких как передача аудио- и видеоинформации; запись и считывание на CD, DVD; компьютерные сети и др. Блочные циклические коды – это избыточные коды, при построении которых к информационным символам добавляются корректирующие символы, что дает возможность обнаруживать и исправлять ошибки. Корректирующая способность таких кодов зависит от системы правил, применяемых для их построения, а также от длины кода, числа избыточных символов и др. В циклических кодах каждая новая комбинация формируется путем сдвига предыдущей, разрешенной вправо или влево на один разряд. При этом полученная комбинация является также разрешенной. При исследовании циклических кодов удобным алгебраическим средством их описания являются полиномы, так как имеется возможность применения известных преобразований над полиномами. Основой формирования этих кодов служат генераторные многочлены, которые выбираются из соответствующих неприводимых полиномов. Неприводимым является полином, который не разложим на многочлены более низкой степени. Это означает, что такой полином делится только на единицу и на самого себя. Техническая реализация таких кодов достаточно простая, так как основана на регистрах сдвига. Однако, несмотря на простоту реализации, математический аппарат для описания этих кодов довольно сложный. Известно, что процедура декодирования является более сложной, чем процесс кодирования. Достаточно простым для циклических кодов является декодирование, которое основано на вычислении синдрома. В работе, используя правила операций над полиномами, на разных примерах показаны методика и особенности построения циклических кодов.

Ключевые слова: корректирующий код, циклический код, кодовое слово, генераторный многочлен, систематический и несистематический коды.

Введение. В настоящее время существует большое количество избыточных кодов, применяемых для контроля (т.е. обнаружения и исправления) ошибок, среди которых выделим блочные [1-3].

Основная идея блочных кодов проиллюстрирована на рисунке.

Здесь из закодированной входной импульсной последовательности “вырезаются” блоки, каждый длительностью k информационных символов. Далее в кодере к ним добавляются так называемые контролируемые

(проверочные, корректирующие, избыточные, исправляющие) символы r так, что общая длина кода равна $n = k + r$. Многочисленное количество различных контролирующих кодов отличается друг от друга, в основном, способами получения избыточных символов, которые позволяют корректировать ошибки.

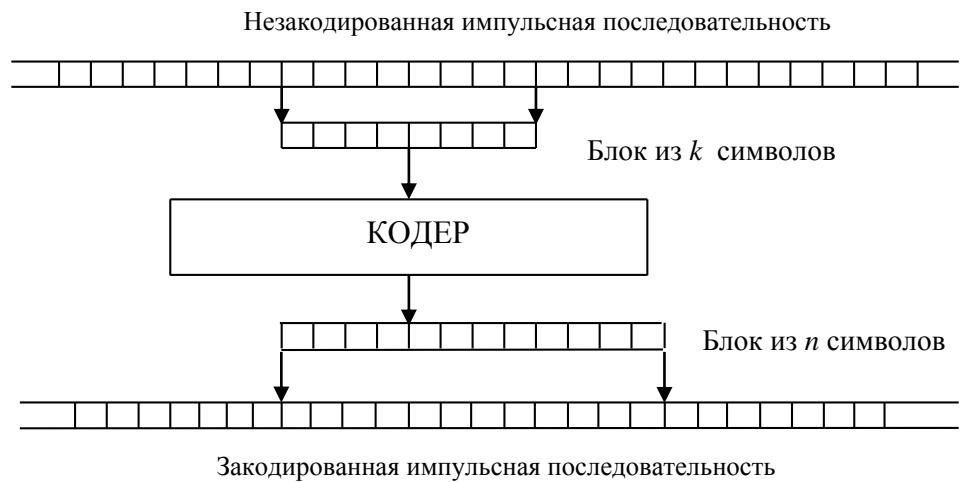


Рис. Процесс избыточного кодирования

В работе рассматриваются основные способы формирования проверочных символов для систематических и несистематических циклических кодов (ЦК).

Математический аппарат. Наиболее распространенными кодами с обнаружением и исправлением ошибок являются циклические коды, обладающие рядом достоинств, которые выделяют их среди остальных кодов. Они имеют более компактное описание, чем другие линейные коды, позволяют обнаруживать и исправлять кратные ошибки и очень эффективны для контроля серийных (пакетов) ошибок. Схемы кодеров и декодеров достаточно просты и могут быть реализованы с помощью обычных регистров сдвига.

Главная идея этих кодов заключается в том, что циклический сдвиг любого кодового слова (КС) приводит к новому КС. Например, если $(c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n)$ - это КС, то кодовыми словами также являются $(c_2, c_3, \dots, c_n, c_1)$; $(c_3, c_4, \dots, c_1, c_2)$ и т.д., которые сформированы циклическим сдвигом разрядов влево (можно сдвигать и вправо). В общем случае циклический сдвиг разрядов, например, влево на r позиций может быть записан как $(c_{r+1}, c_{r+2}, \dots, c_n, c_1, c_2, \dots, c_r)$.

Аналитическое описание и преобразования над циклическими кодами удобно осуществлять, представив их в следующей полиномиальной форме [2,4]:

$$c(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_{n-1}x^{n-1}, \quad (1)$$

где x - основание КС (фиктивная переменная); c_i - координаты КС (для двоичных кодов – это 0 и 1), причем n - его длина.

Циклический сдвиг этого полинома вправо можно получить, умножив его на x . Действительно,

$$xc(x) = c_0x + c_1x^2 + c_2x^3 + \dots + c_{n-2}x^{n-1} + c_{n-1}x^n = c^{(1)}(x). \quad (2)$$

Чтобы степень полинома не превышала $n-1$, необходимо в этом выражении положить $x^n = 1$. Тогда получим циклический сдвиг, например, на один разряд вправо:

$$c^{(1)}(x) = xc(x) = c_{n-1} + c_0x + c_1x^2 + c_2x^3 + \dots + c_{n-2}x^{n-1}. \quad (3)$$

Сдвиг на два разряда дает

$$c^{(2)}(x) = x^2 \cdot c(x) = c_{n-2} + c_{n-1}x + c_0x^2 + c_1x^3 + \dots + c_{n-3}x^{n-1}. \quad (4)$$

В общем случае при сдвиге на $n-1$ разряд получим

$$c^{(n-1)}(x) = c_1 + c_2x + c_3x^2 + \dots + c_0x^{n-1}. \quad (5)$$

Кодирование и декодирование циклических кодов можно производить с помощью матриц, а также методом, основанным на понятии генераторного (порождающего, образующего, производящего) полинома.

Представление циклических кодов с помощью генераторного полинома.

Сущность этого метода заключается в том, что кодовый полином $c(x)$ (а следовательно, и КС) формируется умножением информационного кодового слова длиной k , выраженного в виде полинома $m(x)$ степени $k-1$, на генераторный полином $g(x)$ степени $r = n - k$. Естественно, что при делении КС (т.е. разрешенной комбинации) на генераторный полином мы получим нулевой остаток. Если же кодовое слово исказилось под влиянием ошибок, т.е. образовалась запрещенная комбинация, то результат аналогичного деления даст некоторый остаток, по которому и можно судить о наличии ошибок. Отметим, что в систематических ЦК, в отличие от несистематических, позиции проверочных и информационных символов строго определены. Вначале в КС могут располагаться проверочные, а затем информационные символы, или наоборот.

Итак, напомним некоторые положения из теории ЦК. Опишем информационный, генераторный и кодовый полиномы в виде

$$m(x) = m_0 + m_1x + m_2x^2 + \dots + m_{k-1}x^{k-1}, \quad (6)$$

$$g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_r x^r, \quad (7)$$

$$c(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_{n-1}x^{n-1}. \quad (8)$$

Перепишем полином $m(x)$ следующим образом:

$$m(x) = c_{n-k}x^{n-k} + c_{n-k+1}x^{n-k+1} + \dots + c_{n-1}x^{n-1}, \quad (9)$$

т.е. информационные символы здесь расположены в конце КС. Тогда проверочный полином будет иметь вид

$$p(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_{n-k-1}x^{n-k-1}, \quad (10)$$

т.е. проверочные символы здесь занимают первые позиции КС. В результате получим систематический ЦК в общем виде:

$$c(x) = p(x) + m(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-k-1}x^{n-k-1} + c_{n-k}x^{n-k} + c_{n-k+1}x^{n-k+1} + \dots + c_{n-1}x^{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} c_i x^i. \quad (11)$$

Для формирования *несистематических* ЦК обычно используется следующее простое выражение:

$$c(x) = m(x) \cdot g(x). \quad (12)$$

Рассмотрим способ построения *систематических* циклических кодов. Как уже отмечалось ранее, последовательные сдвиги $x^r \cdot c(x)$ кодового слова $c(x)$ образуют также новое кодовое слово. Умножив $m(x)$ на $g(x)$ и разделив результат на x^r , получим

$$\frac{x^r \cdot m(x)}{g(x)} = \varepsilon(x) + \frac{\rho(x)}{g(x)}, \quad (13)$$

где $\varepsilon(x)$ - частное от деления; $\rho(x)$ - остаток.

При делении степень частного $\varepsilon(x)$ равна степени $m(x)$, т.е. $k-1$, т.к. степени x^r и $g(x)$ одинаковы. Степень же остатка не может превысить степень $g(x)$ и равна $(r-1)$. Из выражения (13) нетрудно получить

$$\varepsilon(x) \cdot g(x) = x^r \cdot m(x) - \rho(x) = c(x). \quad (14)$$

Так как сложение и вычитание по модулю равнозначны, то в дальнейшем будем использовать в этой формуле знак “плюс”.

Как отмечалось выше, степень полинома $\rho(x)$ равна степени полинома $m(x)$. Поэтому произведение $\varepsilon(x) \cdot g(x)$ также дает кодовое слово, что и произведение $m(x) \cdot g(x)$. Следовательно, выражение (14) может быть записано в виде

$$c(x) = m(x) \cdot g(x) = x^r \cdot m(x) + \rho(x), \quad (15)$$

где $\rho(x)$ - остаточный полином, который является проверочным со степенью, меньшей или равной $r-1$. Далее, объединив (11) и (15), получим выражение для систематического кода:

$$\begin{aligned}
c(x) &= \rho(x) + x^{n-k}m(x) = \\
&= \rho_0 + \rho_1x + \dots + \rho_{n-k-1}x^{n-k-1} + m_0x^{n-k} + m_1x^{n-k+1} + \dots + m_{k-1}x^{n-1},
\end{aligned} \tag{16}$$

которому соответствует кодовое слово

$$C = (\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-k-1}, m_0, m_1, \dots, m_{k-1}),$$

или в общем виде $C = (c_0, c_1, c_2, \dots, c_{n-2}, c_{n-1})$.

Результаты исследования. Используем приведенные соотношения с целью построения циклического кода ЦК(7,4) для следующих информационных кодовых слов: $m_1(x) = 1 + x + x^2$; $m_2(x) = x + x^3$; $m_3(x) = 1 + x + x^2 + x^3$ и $m_4(x) = x^3$. Здесь имеем $n = 7$, $k = 4$ и $r = 7 - 4 = 3$. Определим генераторный полином, разложив двучлен $x^n \pm 1 = x^{2^m-1} \pm 1$ на неприводимые полиномы [1]. Для нашего случая найдем, что $m = 3$. Это значит, что сомножителями двучлена $x^7 + 1$ должны быть неприводимые полиномы, степени которых являются делителями числа 3, т.е. это полиномы первой и третьей степеней. Тогда, используя таблицы неприводимых полиномов, получим следующее разложение [1]:

$$x^7 + 1 = (x+1)(x^3 + x + 1)(x^3 + x^2 + 1).$$

Для кода ЦК(7,4) генераторный полином должен иметь степень $r = 3$. Остановим выбор на полиноме $g(x) = 1 + x^2 + x^3$, т.е. кодовый вектор (КВ) равен $G = 1011$. Теперь определим кодовые комбинации для всех заданных информационных кодовых слов, используя формулу (12).

Для $m_1(x) = 1 + x + x^2$ (КВ $M_1 = 1110$) имеем

$$c_1(x) = (1 + x + x^2)(x^3 + x^2 + 1) = 1 + x + x^5, \text{ т.е. } C_1 = 1100010.$$

Далее $m_2(x) = x + x^3$ (КВ $M_2 = 0101$). Аналогично:

$$c_2(x) = (x + x^3)(x^3 + x^2 + 1) = x + x^4 + x^5 + x^6, \text{ т.е. } C_2 = 0100111.$$

Следующий код для $m_3(x) = 1 + x + x^2 + x^3$ (КВ $M_3 = 1111$) имеет вид

$$c_3(x) = (1 + x + x^2 + x^3)(x^3 + x^2 + 1) = 1 + x + x^3 + x^6, \text{ т.е. } C_3 = 1101001.$$

И, наконец, для $m_4(x) = x^3$ (КВ $M_4 = 0001$) имеем

$$c_4(x) = x^3(x^3 + x^2 + 1) = x^3 + x^5 + x^6, \text{ т.е. } C_4 = 0001011.$$

Обратив внимание на структуру полученных кодовых слов, заметим, что здесь ни первые k позиций, ни последние не занимают информационные кодовые слова, а это значит, что полученный код *несистематический*.

Заметим, что если мы будем записывать все полиномы в виде $f(x) = f_1x^{n-1} + f_2x^{n-2} + \dots + f_n$, т.е. по убывающим степеням переменной x , то в результате получим кодовые слова, инверсные тем, что получены нами. Например, для $m_2'(x) = x^3 + x$, т.е. $M_2' = 1010$, имеем кодовое слово $c_2'(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x$ и вектор $C_2' = 1110010$ инверсный с кодовым словом C_2 .

Теперь построим одно кодовое слово для *систематического* кода ЦК(7,4), используя предыдущий генераторный полином. Пусть $m_1(x) = 1 + x + x^2$ или $M_1 = 1110$. Тогда $x^3 \cdot m_1(x) = x^3 \cdot (1 + x + x^2) = x^3 + x^4 + x^5$.

Разделив этот результат на $g(x)$ в соответствии с формулой (13):

$$\begin{array}{r} x^3 + x^4 + x^5 \quad | \quad \underline{1 + x^2 + x^3} \\ x^2 + x^4 + x^5 \quad | \quad x^2 + 1 \longrightarrow \varepsilon_1(x) \\ \hline x^2 + x^3 \\ \underline{1 + x^2 + x^3} \\ 1 \longrightarrow \rho_1(x), \end{array}$$

получим кодовое слово по формуле (15):

$$c_1(x) = \rho_1(x) + x^3 \cdot m_1(x) = 1 + x^3 + x^4 + x^5, \text{ т.е. } C_1 = 1001110.$$

Как уже отмечалось, существует различное представление полиномов, а именно, по возрастающим или по убывающим степеням переменной x . Рассмотрим теперь предыдущий пример для случая убывания степеней x . Для этого построим одно КС для систематического кода ЦК(7,4), используя для генераторного и информационного полиномов соответственно записи $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ и $m_1(x) = x^2 + x + 1$ (т.е. $M_1 = 0111$).

Тогда $x^3 \cdot m_1(x) = x^3 \cdot (x^2 + x + 1) = x^5 + x^4 + x^3$. Произведем деление

$$\begin{array}{r} x^5 + x^4 + x^3 \quad | \quad \underline{x^3 + x^2 + 1} \\ x^5 + x^4 + x^2 \quad | \quad x^2 + 1 \longrightarrow \varepsilon_1(x) \\ \hline x^3 + x^2 \\ \underline{x^3 + x^2 + 1} \\ 1 \longrightarrow \rho_1(x). \end{array}$$

Окончательно имеем $c_1(x) = x^5 + x^4 + x^3 + 1 = 0111001$, т.е. первые $k = 4$ позиции занимает информационный вектор, а следующие $r = 3$ – проверочный вектор (остаток), причем, что очень важно, кодовые слова инверсны друг другу!

Покажем еще, что $c_1(x)$ можно получить также и простым перемножением $\varepsilon_1(x)$ на $g(x)$. Действительно,

$$\varepsilon_1(x) \cdot g(x) = (1 + x^2)(1 + x^2 + x^3) = 1 + x^2 + x^3 + x^2 + x^4 + x^5 = 1 + x^3 + x^4 + x^5.$$

В заключение, используя описанную методику, построим полный систематический циклический код ЦК(7,4) с генераторным полиномом $g(x) = 1 + x + x^3$. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Так как количество проверочных символов $r = 3$, то возможно иметь всего 8 проверочных кодовых комбинаций, каждая из которых используется дважды при формировании кода ЦК(7,4).

Из этой таблицы также видно, что кодовое расстояние между любой парой кодовых слов равно $d_{min} = 3$. Кроме того, векторы 1111111 и 0000000 при циклическом сдвиге не изменяются. Остальные кодовые слова формируются циклическим сдвигом влево или вправо любых кодовых слов. Например, начиная с кодового слова C_8 , которое соответствует $M_8 = 1000$, последовательным сдвигом влево получим следующую цепочку кодовых векторов (стрелки указывают направление сдвига):

1101000 (N8) ← 1010001 (N1) ← 0100011 (N3) ← 1000110 (N6) ← 0001101 (N13) ←
 ← 0011010 (N10) ← 0110100 (N4) ← 1101000 (N8).

Сдвиг вправо дает реверсивную цепочку:

1101000 (N8) → 0110100 (N4) → 0011010 (N10) → 0001101 (N13) → 1000110 (N6) →
 → 0100011 (N3) → 1010001 (N1) → 1101000 (N8).

Или другой пример: начав с кодового слова C_{14} , которое соответствует $M_{14} = 1110$, получим

0101110 ← 1011100 ← 0111001 ← 1110010 ← 1100101 ← 1001011 ← 0010111 ← 0101110.

Анализ этих результатов показывает, что кодовые векторы в цепочке располагаются случайным образом и зависят от порядка следования информационных КС.

Таким образом, построили полный систематический код ЦК(7,4).

Таблица.

Систематический код ЦК(7,4)

Но- ме- ра КС	Векторы информа- ционных КС $M =$ $= m_0 m_1 m_2 m_3$	Полиномы информа- ционных КС $m(x) =$ $= 1 + x + x^2 + x^3$	Векторы кода $C =$ $= c_0 c_1 c_2 c_3 c_4 c_5 c_6$	Полиномы кода $c(x) =$ $= 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6$
0	0 0 0 0	0	0 0 0 0 0 0	0
1	0 0 0 1	x^3	1 0 1 0 0 0 1	$1 + x^2 + x^6$
2	0 0 1 0	x^2	1 1 1 0 0 1 0	$1 + x + x^2 + x^5$
3	0 0 1 1	$x^2 + x^3$	0 1 0 0 0 1 1	$x + x^5 + x^6$
4	0 1 0 0	x	0 1 1 0 1 0 0	$x + x^2 + x^3$
5	0 1 0 1	$x + x^3$	1 1 0 0 1 0 1	$1 + x + x^4 + x^6$
6	0 1 1 0	$x + x^2$	1 0 0 0 1 1 0	$1 + x^4 + x^5$
7	0 1 1 1	$x + x^2 + x^3$	0 0 1 0 1 1 1	$x^2 + x^4 + x^5 + x^6$
8	1 0 0 0	1	1 1 0 1 0 0 0	$1 + x + x^3$
9	1 0 0 1	$1 + x^3$	0 1 1 1 0 0 1	$x + x^2 + x^3 + x^6$
10	1 0 1 0	$1 + x^2$	0 0 1 1 0 1 0	$x^2 + x^3 + x^5$
11	1 0 1 1	$1 + x^2 + x^3$	1 0 0 1 0 1 1	$1 + x^3 + x^5 + x^6$
12	1 1 0 0	$1 + x$	1 0 1 1 1 0 0	$1 + x^2 + x^3 + x^4$
13	1 1 0 1	$1 + x + x^3$	0 0 0 1 1 0 1	$x^3 + x^4 + x^6$
14	1 1 1 0	$1 + x + x^2$	0 1 0 1 1 1 0	$x + x^3 + x^4 + x^5$
15	1 1 1 1	$1 + x + x^2 + x^3$	1 1 1 1 1 1 1	$1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6$

Заключение. Приведена методика конструирования систематических и несистематических циклических кодов, основанная на использовании генераторного полинома. Показано, что если полиномы представлены по убывающим степеням переменной x , то первые k позиций кодового слова

(считая слева направо) занимают информационные символы, остальные r позиций – проверочные символы. В случае же описания полиномов по возрастающим степеням x на первых r позициях располагаются проверочные символы, а на последних k позициях – информационные символы. Окончательный выбор - за исследователем.

Литература

1. **Питерсон У., Уэлдон Э.** Коды, исправляющие ошибки / Пер. с англ.; Под ред. Р.Л. Добрушина и С.И. Самойленко. – М.: Мир, 1976.- 594 с.
2. **Wicker S.B.** Error Control Systems for Digital Communication and Storage.- Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1994.- 503 p.
3. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд. / Пер. с англ.- М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003.- 1104 с.
4. **Гомцян О.А.** Способы построения циклических кодов // Сборник материалов годичной научной конференции ГИУА. - Ереван, 2002. – Т.2. - С. 399-401.

*Поступила в редакцию 25.02.2016.
Принята к опубликованию 20.05.2016.*

ԲԼՈԿԱՅԻՆ ՑԻԿԼԻԿ ԿՈՂԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Հ.Ա. Գոմցյան

Դիտարկվել են պարբերական և ոչ պարբերական ցիկլիկ կոդերի կառուցման հարցերը, որոնք կիրառվում են ինֆորմացիայի մշակման ժամանակակից բազմաթիվ համակարգերում, ինչպիսիք են անտիոն և վիդեո ինֆորմացիայի հաղորդումը, գրանցումը և վերարտադրումը CD և DVD-ներում, համակարգչային ցանցերը և այլն: Բլոկային ցիկլիկ կոդերը հավելյալ կոդեր են, որոնց կառուցման ժամանակ ինֆորմացիոն սիմվոլներին գումարվում են շտկող սիմվոլները, ինչը թույլ է տալիս հայտնաբերել և շտկել սխալները: Այդպիսի կոդերի շտկող հատկությունը կախված է այն կանոնների համակարգից, որոնք օգտագործվում են դրանց կառուցման համար, ինչպես նաև կոդի երկարությունից, հավելյալ նիշերի թվից և այլն: Ցիկլիկ կոդերում ամեն մի նոր կոնբինացիա ձևավորվում է նախորդ թույլատրված կոնբինացիայի՝ մեկ կարգով աջ կամ ձախ շեղմամբ: Ընդ որում, ստացված կոնբինացիան նույնպես համարվում է թույլատրված: Ցիկլիկ կոդերը հետազոտելիս դրանց նկարագրման հանրահաշվական հարմար միջոց են բազմանդամները, քանի որ հնարավոր է օգտագործել բազմանդամների հայտնի ձևափոխությունները: Այդ կոդերի հիմք են ծառայում գեներատորային բազմանդամները, որոնք ընտրվում են համապատասխան չբերվող պոլինոմներից: Չբերվող է այն բազմանդամը, որը չի բաղադրվում ավելի ցածր աստիճանի բազմանդամների: Դա նշանակում է, որ այդպիսի բազմանդամները բաժանվում են միայն մեկի և իրենց վրա: Այդպիսի կոդերի տեխնիկական իրականացումը բավական պարզ է, քանի որ հիմնված է տեղաշարժող ռեգիստրների վրա: Չնայած իրականացման պարզությանը, այդ կոդերի նկարագրման համար մաթեմատիկական ապարատը բավական բարդ է:

Հայտնի է, որ ապակոդավորման գործողությունը ավելի բարդ է, քան կոդավորման գործընթացը: Բավական պարզ է ցիկլիկ կոդերի ապակոդավորումը, որը հիմնված է սինդրոմի հաշվարկման վրա: Օգտագործելով բազմանդամների նկատմամբ գործողությունների կանոնները, տարբեր օրինակներով ցուցադրված են ցիկլիկ կոդերի կառուցման մեթոդաբանությունը և առանձնահատկությունները:

Առանցքային բաներ. շտկող կոդ, ցիկլիկ կոդ, կոդային բառ, գեներատորային բազմանդամ, պարբերական և ոչ պարբերական կոդեր:

METHODS FOR FORMING BLOCK CYCLIC CODES

H.A. Gomtsyan

Issues on constructing systematic and non-systematic cyclic codes used in many modern data processing systems, such as the transmission of audio and video information, reading and writing on CD, DVD, computer networks, etc are considered. Block cyclic codes are redundant codes, at whose construction, correcting symbols are added to the information symbols, allowing to detect and correct the errors. The correction ability of such codes depends on the system of the rules used for their construction, as well as the code length, the number of redundant symbols, etc. In cyclic codes, every new combination is generated by shifting the previous permissible one right or left by one digit. In this case, the resulting combination is also permissible. At studying the cyclic codes, polynomials are convenient means of algebraic descriptions, as it is possible to apply the known transformations of polynomials. The basis for the formation of these codes are the generator polynomials, which are selected from the corresponding irreducible polynomials. An irreducible polynomial is the one that does not expand on polynomials over a lower degree. This means that a polynomial is divisible only by one and by itself. The technical realization of such codes is quite simple, because it is based on shift registers. However, despite the ease of implementation, the mathematical instrument to describe these codes is rather complicated. It is known that the decoding procedure is more complicated than the encoding process. Simple enough for cyclic codes is decoding, which is based on the calculation of the syndrome. Using the rules of operations on polynomials, the methodology and features of constructing cyclic codes on different examples are shown.

Keywords: error correction code, cyclic code, code word, generator polynomial, systematic and non-systematic codes.

УДК 621.396.962.2

ВОЛНОВОДЫ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

А.А. Аветисян, М.Ц. Айвазян

Национальный политехнический университет Армении

Рассмотрены наиболее употребляемые типы волноводов, которые нашли применение в терагерцовом диапазоне. Приводятся основные электрические характеристики металлических, диэлектрических и металлодиэлектрических волноводов. Рассмотрены их конструктивные особенности. Показаны области применения каждого волновода. Проведено сравнение электрических и механических характеристик каждого волновода, предложены оптимальные решения. Известно, что важнейшими характеристиками волноводов являются: равномерная частотная и линейная фазовая характеристики, погонные потери и максимальный уровень передаваемой мощности. В терагерцовом диапазоне широкому применению металлических волноводов препятствуют два существенных фактора: во-первых, изготовление одномодовых металлических волноводов невозможно в связи с микроскопическими размерами самих волноводов; расчетные значения погонных потерь в таких волноводах из-за скин-эффекта превышают все допустимые нормы; во-вторых, применение сверхразмерного металлического волновода ограничено многоволновостью. Основным средством борьбы с многоволновостью является наличие самофильтрации. Металлические волноводы указанным свойством не обладают. Диэлектрические волноводы относятся к классу волноводов открытого типа. Основным недостатком волноводов открытого типа является наличие радиационных потерь. Это свойство играет решающую роль и не позволяет создавать функциональные элементы для реализации схем различного назначения терагерцового диапазона. В настоящей статье теоретически и экспериментально показано, что наилучшими электрическими характеристиками обладают металлодиэлектрические волноводы. Этот волновод относится к классу сверхразмерных волноводов. Наличие диэлектрического покрытия на стенках волновода, с одной стороны, приводит к существенному уменьшению продольных токов на металлических стенках волновода, с другой - обеспечивает самофильтрацию высших типов волн, которые могут возникнуть на неоднородностях. Эти свойства металлодиэлектрического волновода позволяют создавать практически все волноводные элементы, на основе которых возможна реализация высокочастотных схем различного назначения.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон, волновод класса "полый диэлектрический канал", погонные потери, самофильтрация, рабочая мода, высшие типы волн.

Введение. Терагерцовый (ТГц) диапазон находится между микроволновой и оптической областями электромагнитного спектра [1,2]. Изучение миллиметровых и субмиллиметровых (часто именно так и принято называть терагерцовую область) волн требует создания в этой области эффективных направляющих систем. Требования, предъявляемые к ним, следующие:

равномерные частотные и линейные фазовые характеристики, минимальные затухания на единицу длины и максимальное значение передаваемой мощности. Активное изучение терагерцового спектра на основе лабораторных испытаний началось лишь в середине 1980-х годов. При этом главная сложность была связана с техническими препятствиями, обусловленными в основном отсутствием приемлемых приемников [3]. Поскольку этот спектр находится между технологически развитыми микроволновым и инфракрасным (ИК) спектрами, то в терагерцовом диапазоне успешно применяются уже имеющийся в двух указанных областях опыт и технологии. Терагерцовые импульсы охватывают большую частотную область: $0,1 \dots 10 \text{ ТГц}$ (или в длинах волн – $0,003 \dots 3 \text{ мм}$).

Металлические волноводы. Металлические волноводы (рис. 1) были первыми, которые исследовались экспериментально: использовалось распространение терагерцовых импульсов оптическими методами. В 1999 г. Макгоуэн и другие показали, что круглые волноводы дают очень низкие потери ($\alpha = 0,7 \text{ см}^{-1}$ на частоте 1 ТГц) [3], обладают только омическими потерями, обусловленными металлическим корпусом круглого волновода.

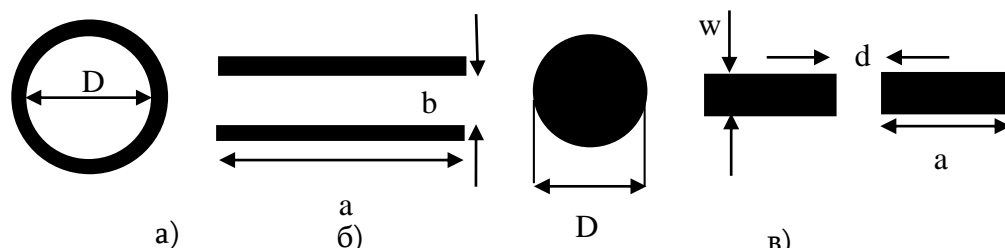


Рис. 1. Металлические волноводы: а – круглый волновод диаметром D ; б – плоский волновод: a – длина, b – ширина; в – металлический слот диаметром D : d – длина между трещинами, w – ширина и a – длина

Механизм распространения волн в металлических волноводах с круглым поперечным сечением (ТЕ) или (ТМ) связан с наличием металлической стенки, что дает большие потери, обусловленные проводимостью металла в терагерцовой области (скин-эффект). Распространяющаяся мода в металлических волноводах имеет дисперсию высокого уровня. В плоском волноводе распространяющаяся мода (ТЕМ) также находится между стенками, но в одном направлении имеет меньшее постоянное затухание. Кроме указанного преимущества, имеет место также недисперсионное распространение. В микрополосковой линии потери

экспоненциально падают, поскольку маршрутом управления служит (TM_{01}) режим. В данном случае волна направляется волноводом и рассеивается в среде (воздух); в результате распространение терагерцовых импульсов происходит с достаточно низкими потерями и отсутствием дисперсии. В плоском металлическом волноводе терагерцовые импульсы также распространяются в воздухе, однако более ограниченно, и по сравнению с металлическими линиями, в этих волноводах почти отсутствует дисперсия [1]. Результат ведет к относительно большим для плоского волновода потерям, т.е. в металлических волноводах существует компенсация между ограничением распространения импульсов и затуханием. Как будет отмечено далее, такой компенсацией являются диэлектрические волноводы.

Диэлектрические волноводы. Для терагерцовой области еще одним классом неплоских волноводов являются диэлектрические волноводы (рис. 2). Эти волноводы можно назвать волокном, если они гибкие и имеют круглое поперечное сечение. Они, в основном, используются в области высоких частот, таких как ИК или оптическая область, где металлические волноводы становятся диссипативными. Диэлектрические волноводы имеют также радиационные потери и потери на поглощение [4]. Несмотря на то, что кремний с некоторой проводимостью имеет крайне малые затухания ($\alpha < 0,7 \text{ см}^{-1}$ при частотах менее $2,5 \text{ ТГц}$), это условие не дает возможности для создания волноводных функциональных элементов разного назначения. Выбор материала и структуры волновода имеет очень важное значение с точки зрения не только затухания, но и дисперсии.

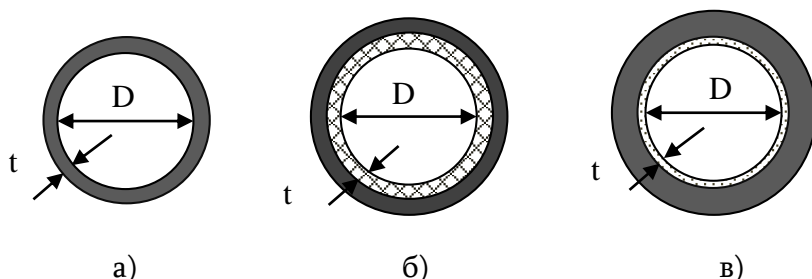


Рис 2. Диэлектрические волноводы: а – полый одиночный волновод, где D – диаметр и t – толщина стенки волновода, б – металлический волновод с диэлектрическим внутренним покрытием с диаметром D и диэлектрическим слоем с толщиной t ; в – металлический волновод с тонким слоем диэлектрика

Для волноводов этого класса волна в основном распространяется в полый части волновода, и лишь небольшая часть энергии волны распространяется по

диэлектрику, что приводит к низким потерям поглощения. Несмотря на указанное выше преимущество, как правило, диэлектрические волноводы имеют так называемое резонансное окно или запретную зону. Таким образом, они лишь обеспечивают малые потери и дисперсию в довольно узкой области [4]. Еще один общий недостаток диэлектрических волноводов – это размеры порядка миллиметров, а увеличение диаметра волновода приводит к появлению и росту потерь и поглощения.

Металлодиэлектрические волноводы. (МДВ). В настоящей работе обоснован выбор сверхразмерного прямоугольного металлодиэлектрического волновода в качестве направляющей системы для создания функциональных элементов и линий передачи больших мощностей в терагерцовом диапазоне [5]. Поперечные размеры этого волновода $2a$ и $2b$ (см. рис. 3) намного больше длины распространяющейся в ней волны.

Собственные волны МДВ прямоугольного (квадратного) сечения представляются в виде так называемых продольных электрических LE_{mn} ($E_x=0$) либо продольных магнитных LM_{mn} ($H_x=0$) волн. Компоненты поля волны LM_{mn} во внутреннем канале волновода записываются в виде [5]

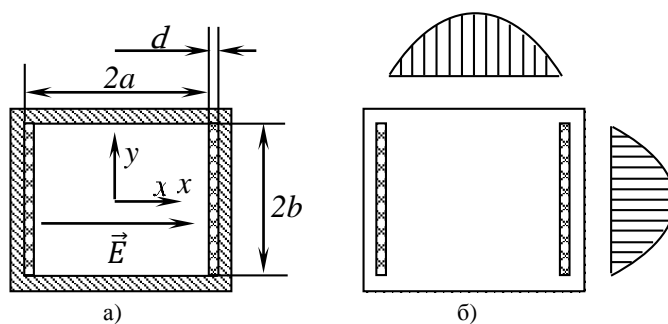


Рис. 3. Металлодиэлектрический волновод: а – размеры волновода; б – распределение поля в поперечном сечении волновода

$$H_x = 0,$$

$$H_y = A \frac{(ka)^2}{a^2} \left[\sin \frac{\pi m}{2} \left(\frac{x}{a} + 1 \right) + \frac{\pi m \epsilon \text{ctg} (kd \sqrt{\epsilon - 1}) x}{2ka \sqrt{\epsilon - 1}} \cos \frac{\pi m}{2} \left(\frac{x}{a} + 1 \right) \right] \sin \frac{\pi n}{2} \left(\frac{y}{b} + 1 \right) e^{-jhz},$$

$$H_z = -jA \frac{(\pi n)(ka)}{2ab} \sin \frac{\pi m}{2} \left(\frac{x}{a} + 1 \right) \cos \frac{\pi n}{2} \left(\frac{y}{b} + 1 \right) e^{-jhz},$$

$$E_x = H_y,$$

$$E_y = 0,$$

$$E_z = -jA \frac{(\pi n)(ka)}{2a^2} \cos \frac{\pi m}{2} \left(\frac{x}{a} + 1 \right) \sin \frac{\pi n}{2} \left(\frac{y}{b} + 1 \right) e^{-jhz}; \quad (1)$$

в диэлектрике :

$$H_x = 0,$$

$$H_y = (-1)^m A \frac{ka}{2a^2} \frac{\pi m \epsilon \cos(k[x - (a+d)]\sqrt{\epsilon-1})}{\sqrt{\epsilon-1} \sin(kd\sqrt{\epsilon-1})} \sin \frac{\pi n}{2} \left(\frac{y}{b} + 1 \right) e^{-jhz},$$

$$H_z = 0,$$

$$E_x = H_y / \epsilon,$$

$$E_y = 0,$$

$$E_z = j(-1)^m A \frac{(\pi n)(ka)}{2a^2} \frac{\sin(k[x - (a+d)]\sqrt{\epsilon-1})}{\sin(kd\sqrt{\epsilon-1})} \sin \frac{\pi n}{2} \left(\frac{y}{b} + 1 \right) e^{-jhz}, \quad (2)$$

где A – амплитудный коэффициент; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; h , α_x и α_y – продольные и поперечные волновые числа соответственно [5].

Компонента E_y моды LM_{mn} весьма мала (порядка $1/(ka)^2$), и ее практически можно считать равной нулю. Индексы m и n определяют число вариаций поля этой компоненты во внутреннем канале вдоль осей x и y , а также позволяют классифицировать волны как LM_{mn} [3].

Затухание мод в МДВ со слоями диэлектрика на двух противоположных стенках вычисляется как мнимая часть постоянной распространения $h = h' - jh''$:

$$h'' = -\frac{(\alpha_x^0)^2}{(ka)k} \chi + \frac{(\alpha_y^0)^2}{2(kb)k} \sqrt{\frac{f}{\sigma}}, \quad (3)$$

где комплексная величина χ записывается в виде $\chi = \chi_1 + j\chi_1'$, причем

$$\chi_1 = - \frac{2h''_e d \frac{\sqrt{\varepsilon'}}{\sqrt{\varepsilon-1}} \left(1 - \frac{\sin 2kd\sqrt{\varepsilon'-1}}{2kd\sqrt{\varepsilon'-1}} \right) + \sqrt{\varepsilon'-1} \sqrt{\frac{f}{\sigma}}}{\sqrt{\varepsilon'-1} (1 + \cos 2kd\sqrt{\varepsilon'-1})}, \quad (4)$$

$$\chi'_1 = \frac{tgkd\sqrt{\varepsilon'-1}}{\sqrt{\varepsilon'-1}}.$$

Здесь ε' – действительная часть относительной диэлектрической проницаемости нанесенного на стенки волновода материала; h''_e – затухание плоской волны в диэлектрике $h''_e = k\sqrt{\varepsilon}tg\delta/2$; $tg\delta$ – тангенс угла потерь в диэлектрике; f – частота; σ – удельная проводимость металла.

Из формулы (3) видно, что с укорочением длины волны затухание LM – мод уменьшается. Так, если одновременно уменьшать длину волны и толщину диэлектрического слоя так, чтобы величина $kd\sqrt{\varepsilon-1}$ оставалась постоянной, то затухание из-за потерь в диэлектрике падает как λ^2 , а из-за потерь в металле – как $\lambda^{3/2}$.

Из (1) и (2) следует что мощность P_2 , переносимая в области, занятой диэлектриком, мала по сравнению с мощностью P_1 , передаваемой по внутреннему каналу. Выражение для отношения мощностей, переносимой по диэлектрику и внутреннему каналу волновода, получим подстановкой значений компонент поля из (1) и (2). Опуская промежуточные вычисления для LM_{mn} – мод, окончательно получим

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{(\pi m)^2 d}{(2ka) a} \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \frac{1 + \frac{\sin(2kd\sqrt{\varepsilon-1})}{2kd\sqrt{\varepsilon-1}}}{(\varepsilon-1)(1 - \cos(2kd\sqrt{\varepsilon-1}))}. \quad (5)$$

Если толщина диэлектрического слоя МДВ выбрана равной $d = \lambda/4\sqrt{\varepsilon-1}$, что соответствует ее антирезонансной толщине, то легко показать, что для МДВ с размерами поперечного сечения 10 x 10 мм, на стенки которого нанесен фторопласт-4 ($\varepsilon=2,07$), мощность, передаваемая по диэлектрику, не превышает 1% от мощности, передаваемой по пустому каналу волновода. Уровень передаваемой мощности по пустому каналу МДВ соизмерим с мощностью, передаваемой по металлическому волноводу, если размеры поперечных сечений обоих волноводов совпадают.

Экспериментальные результаты. Расчетные зависимости затухания моды LM_{11} от длины волны в медном волноводу квадратного сечения со слоями диэлектрика антирезонансной толщины на двух противоположных стенках, а

также мод LM_{31} и LM_{51} приведены на рис. 4. Как видно из рисунка, существуют узкие резонансные области, в которых потери рабочей моды МДВ резко возрастают. Пунктирная линия соответствует одновременному уменьшению длины волны и толщины диэлектрического слоя с тем, чтобы величина $kd\sqrt{\varepsilon-1}$ оставалась постоянной, при этом $d = \lambda / 4\sqrt{\varepsilon-1}$. На рис. 4 черными квадратиками показаны результаты измеренных значений затухания в МДВ с размерами поперечного сечения 10×10 мм на частотах 150 и 180 ГГц. Ошибка измерения составляет 20%.

Приведенные экспериментальные результаты хорошо совпадают с расчетными, что указывает на перспективность применения МДВ в терагерцовом диапазоне. Увеличенный размер поперечного сечения позволяет передавать по волноводу значительные мощности [6,7].

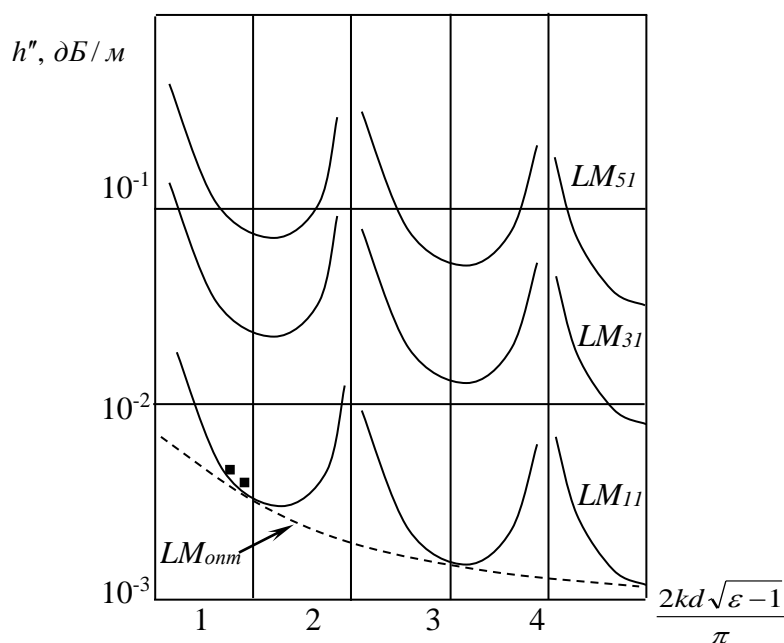


Рис. 4. Расчетные зависимости затухания мод LM_{11} , LM_{31} и LM_{51} от λ в волноводов квадратного сечения со слоями диэлектрика на двух стенках: $a = b = 5$ мм, материал диэлектрика фторопласт-4, $\varepsilon = 2,07$, $\text{tg}\delta = 5 \cdot 10^{-4}$, $d = 480$ мкм

Заклучение. Таким образом, металлодиэлектрические волноводы благодаря своим замечательным свойствам, таким как линейно поляризованная рабочая мода, ее малый уровень потерь, наличие самофилтрации и возможность передачи по МДВ больших мощностей, весьма перспективны для освоения терагерцового диапазона.

Լիտերատուրա

1. **Шаров Г.А.** Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 639 с.
2. Квазиоптические антенно-фидерные системы / Под ред. **Г.И. Хлопова.** – Харьков: ИПП “Контраст”, 2013. – 408 с.
3. Terahertz dielectric waveguides / **S. Afshar, T. Monro, D. Abbott, et al** // Advances in Optics and Photonics. – 2013. - № 5. – P. 169–215.
4. **Каценеленбаум Б.З.** Высокочастотная электродинамика. – М.: Наука, 1966. – 240 с.
5. **Казанцев Ю.Н., Харлашкин О.А.** Прямоугольные волноводы класса “полюй диэлектрический канал” // Радиотехника и электроника. - 1978.- Т.23, № 10. – С. 2060 - 2068.
6. Complete set of waveguide elements for 120-180 GHz band / **M.Ts. Ayvazyan, Yu.N. Kazantsev, R.M. Martirosian, et al** // Proceedings of the 16-th International Conference on Infrared and Millimeter Waves. - Lausanne, 1991. – P. 642 -643.
7. **Ayvazyan M.Ts., Kazantsev Yu.N.** Hollow dielectric channel in terahertz range // Proceedings of the International conference “The Technique of Microwave and THz Waves and its Application in Biomedical and Radar Technologies and in Remote Sensing”. – Ashtarak – Aghveran, Armenia, 2010. – P. 22 – 25.

*Поступила в редакцию 30.03.2016.
Принята к опубликованию 20.05.2016.*

ՏԵՐԱՎԵՐՑԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԱԼԻՔԱՏԱՐՆԵՐ

Հ.Ա. Ավետիսյան, Մ.Ց. Այվազյան

Դիտակված են տերահերցային տիրույթում առավել հաճախ օգտագործվող ալիքատարների տեսակները: Ներկայացված են մետաղական, դիէլեկտրիկ և մետաղադիէլեկտրիկ ալիքատարների հիմնական էլեկտրական բնութագրերը: Ցույց է տրված յուրաքանչյուր ալիքատարի կիրառման բնագավառը: Կատարվել է յուրաքանչյուր ալիքատարի էլեկտրական և մեխանիկական բնութագրերի համեմատական վերլուծություն, և առաջարկվել օպտիմալ լուծում: Ինչպես հայտնի է, ալիքատարների կարևորագույն բնութագրերն են հավասարաչափ հաճախային և զծային փուլային բնութագրերը, զծամետրային կորուստներն ու փոխանցվող հզորության առավելագույն մակարդակը: Տերահերցային տիրույթում մետաղական ալիքատարների լայնորեն կիրառմանը խոչընդոտում է երկու զգալի գործոն: Նախ՝ մետաղական միամող ալիքատարի պատրաստումն անհնար է նրա միկրոսկոպիկ չափերի պատճառով: Գծամետրային կորուստների հաշվարկային արժեքներն այդպիսի ալիքատարներում գերազանցում են թույլատրելի նորմերը՝ սկին-էֆեկտի պատճառով: Երկրորդ, մետաղական մեծ չափսերի ալիքատարի կիրառումը սահմանափակվում է բազմալիքությամբ: Բազմալիքության դեմ պայքարի հիմնական միջոցը ինքնազտման առկայությունն է: Սակայն մետաղական ալիքատարներն այդ հատկությամբ օժտված չեն: Դիէլեկտրիկ ալիքատարները բաց տիպի են: Բաց տիպի ալիքատարների հիմնական թերությունը ռադիացիոն կորուստների առկայությունն է: Այս հատկությունը որոշիչ դեր է խաղում և թույլ չի տալիս ստեղծել ֆունկցիոնալ տարրեր՝ տերահերցային տիրույթում տարբեր նշանակության սխեմաների

իրականացման համար: Աշխատանքում տեսականորեն և փորձնականորեն ցույց է տրված, որ տերահերցային տիրույթում լավագույն էլեկտրական բնութագրերն ապահովում են մետաղադիէլեկտրիկ ալիքատարները: Վերջիններս պատկանում են գերմեծ ալիքա-տարների դասին: Ալիքատարի պատերին դիէլեկտրիկ ծածկույթի առկայությունը, մի կողմից՝ հանգեցնում է ալիքատարի մետաղական պատերին երկայնական հոսանքների զգալի փոքրացմանը, իսկ մյուս կողմից՝ ապահովում է բարձր կարգի ալիքների ինքնազտումը, որոնք կարող են առաջանալ անհամասեռություններում: Մետաղա-դիէլեկտրիկ ալիքատարների այս հատկությունները թույլ են տալիս, ըստ էության, ստեղծել ալիքատարային բոլոր տարրերը, որոնց հիման վրա հնարավոր է իրագործել տարբեր նշանակության բարձրահաճախային սխեմաներ:

Առանցքային բաներ. տերահերցային տիրույթ, ալիքատար, "սնամեջ դիէլեկտրիկական ուղի" ալիքատարի դաս, գծամետրային կորուստներ, ինքնազտում, աշխատանքային մոդ, բարձր կարգի ալիքներ:

WAVEGUIDES USED IN THE TERAHERTZ RANGE

H.A. Avetisyan, M.Ts. Ayvazyan

Waveguide types mostly used in the terahertz range are considered. The main electrical characteristics of dielectrical, metal and metal-dielectric waveguides are studied. The sphere of usage of each waveguide is shown. The comparative analysis of electrical and mechanical characteristics of each waveguide is carried out. The optimal solution is considered. As it is known, the most important characteristics of waveguides are uniform frequency and linear phase characteristics, the pursuit of loss and the maximum transmit power level. Two main factors obstruct to the wide application of the metallic waveguides in the terahertz range. Firstly, the production of a metallic single-mode waveguide is impossible because of its microscopic size. The values of loss in this type of waveguides exceed the acceptable norms because of the skin-effect. Secondly, the use of the oversized metallic waveguide is limited to multiwavelength. The main means of overcoming the multiwavelength is self-filtering. But metallic waveguides do not have the mentioned property. Dielectric waveguides belong to the open-type class. The main drawback of the open-type waveguide is the presence of radiation losses. This property is crucial and can not create the functional elements for the implementation of schemes for different purposes in the terahertz range. In this paper, it is theoretically and experimentally shown that metal-dielectric waveguides have the best electrical characteristics. This waveguide belongs to the oversized waveguides. The dielectric cover on the walls of the waveguide, on the one hand, leads to a considerable reduction of longitudinal currents on the metal walls of the waveguide, on the other hand, provides self-filtering of higher types of waves that can occur on the non-uniformities. These properties of the metal-dielectric waveguide allow to create virtually all the waveguide elements on which it is possible to implement high-frequency circuits for various applications.

Keywords: terahertz range, the waveguide of "hollow dielectric channel" class, losses, self-filtering, working mode, higher types of waves.

Информационные материалы

ГЕОРГИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ ПУХОВ

(к 100-летию со дня рождения)



Пухов Георгий Евгеньевич - основатель Института проблем моделирования в энергетике (ИМПЭ) НАН Украины, известный ученый в области теоретической электротехники, энергетике, математического моделирования, вычислительной техники, операционного исчисления и др.

Родился 23 августа 1916 г. в г. Сарапуле (Удмуртия). В 1940 г. с дипломом отличия окончил Томский политехнический институт (ТПИ, ныне - Томский политехнический университет (ТПУ)). В том же году поступил в аспирантуру ТПИ, обучение в котором было прервано службой в армии в годы Великой Отечественной войны. Участвовал в обороне Москвы, был тяжело ранен и демобилизован из рядов армии. После выздоровления Георгий Евгеньевич в 1942–1944 гг. продолжил обучение в аспирантуре, после окончания которой, в связи с защитой диссертации, ему была присуждена ученая степень кандидата технических наук.

В 1944–1948 гг. Г.Е. Пухов работал во Львовском политехническом институте заведующим кафедрами электрических машин и теоретических основ электротехники, в 1948-1953 гг. - в Томском политехническом институте заведующим кафедрой теоретических основ электротехники, деканом электротехнического факультета.

В 1952 г. ему была присуждена ученая степень доктора технических наук, а в 1954 г. он был утвержден в ученном звании профессора.

С 1953 по 1957 гг. Г.Е. Пухов занимал должности заведующего кафедрой теоретических основ электротехники и электрических счетно-решающих приборов и устройств, проректора по научной работе Таганрогского радиотехнического института, в 1957-1978 гг. был заведующим кафедрой теоретической и общей электротехники Киевского института инженеров гражданской авиации, в 1959-1966 гг. – заведующим отделом математического моделирования Вычислительного центра АН УССР (с 1962 г. – Институт кибернетики АН УССР), в 1966-1971 гг. – заместителем директора Института кибернетики АН УССР по научной работе.

В 1961г. Георгий Евгеньевич был избран членом-корреспондентом АН УССР, а в 1967 гг. – академиком АН УССР.

В 1966-1978 гг. являлся членом бюро Отделения математики, механики и кибернетики АН УССР.

В 1971-1981 гг. работал заведующим отделом математического моделирования Института электродинамики АН УССР, руководителем сектора электроники и моделирования, заместителем директора Института.

С 1971 г. Г.Е. Пухов был председателем Научного совета АН УССР по проблеме “Теоретическая электротехника и электроника”, в 1977 г. был избран почетным членом научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им А.С. Попова, а в 1978 г. – академиком-секретарем Отделения физико-технических проблем энергетики АН УССР, членом Президиума АН УССР.

В 1981-1988 гг. Г.Е. Пухов работал директором Института проблем моделирования в энергетике АН УССР (ныне ИПМЭ НАН Украины).

В 1981 г. ему была присуждена премия им. С.А. Лебедева, в 1982 г. – Государственная премия УССР в области науки и техники, а также присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники УССР.

Г.Е. Пухов разработал теоретические основы диакоптических методов в электротехнике и моделировании, развил теорию операционных методов анализа и синтеза нелинейных систем (разработал основы теории дифференциальных преобразований), сформулировал принцип квазианалогий и разработал теорию квазианалогового моделирования.

Георгий Евгеньевич - один из творцов современной электротехники и признанный глава научной школы электронного моделирования. Он автор свыше 600 научных работ, 29 монографий, 150 авторских свидетельств на изобретения. Подготовил 30 докторов и 160 кандидатов наук.

За большие заслуги перед отечеством Г.Е. Пухов был награжден орденами “Трудового Красного знамени” (1967 г.), “Октябрьской Революции” (1976 г.), “Отечественной Войны I степени” (1985г.) и многочисленными медалями.

В связи с большими достижениями научной школы, созданной Г.Е. Пуховым, охватывающими целый ряд таких актуальных научных областей, как анализ электрических цепей и электромагнитных полей, специализированные цифровые устройства и системы, применение математических методов и вычислительных средств в электронике, электротехнике, энергетике и многих других отраслях, 7-го января 1981 г. во главе с Г.Е. Пуховым был образован Институт проблем моделирования в энергетике (г. Киев) АН УССР.

За незаурядные человеческие качества, безграничную преданность к своему делу, неоценимый вклад в современную науку и технику, подготовку многочисленных высококвалифицированных специалистов-исследователей в различных областях народного хозяйства и в связи с его кончиной в 1998 г., а также увековечиванием памяти большого ученого 8-го ноября 2000 г. Постановлением Кабинета министров Украины ИПМЭ НАН Украины заслуженно было присвоено имя акад. НАН Украины Г.Е. Пухова.

Целью деятельности ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины в настоящее время является достижение высокого уровня проведения фундаментальных и прикладных исследований в области методов и средств математического компьютерного моделирования для решения актуальных проблем создания современных информационных и промышленных технологий.

СВЕТЛАЯ ВАМ ПАМЯТЬ, ГЕОРГИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ.

Проф. С.О. Симонян

**ՄԵՐ ՀՈՐԵԼՅԱՐՆԵՐԸ
НАШИ ЮБИЛЯРЫ
OUR CELEBRATORS**



**ЮРИЙ ЛЕВОНОВИЧ САРКИСЯН
ՅՈՒՐԻ ԼԵՎՈՆԻ ՍԱՐԳՍՅԱՆ
YURI LEVON SARGSYAN**



**ВОСТАНИК ЗАВЕНОВИЧ МАРУХЯН
ՈՍՏԱՆԻԿ ԶԱՎԵՆԻ ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ
VOSTANIK ZAVEN MARUKHYAN**

Իմբազրական խորհուրդը շնորհավորում է ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ. Յուրի Լևոնի Սարգսյանին 75-ամյակի և ՀԱՊՀ ռեկտոր, պրոֆ. Ոստանիկ Զավենի Մարուխյանին 70-ամյակի կապակցությամբ՝ մաղթելով նրանց քաջ առողջություն, երկար տարիների կյանք և նորանոր ձեռքբերումներ:

Редакционная коллегия поздравляет академика НАН РА, д.т.н., проф. Юрия Левоновича Саркисяна в связи с 75-летием со дня рождения и ректора НПУА, проф. Востаника Завеновича Марухяна в связи с 70-летием со дня рождения и желает им крепкого здоровья, долголетия и новых творческих успехов.

The Editorial Board congratulates the 75th jubilee of Acad. of the RA NAS, Dr. Sci. Professor Yuri L. Sargsyan and the 70th jubilee of the NPUA Rector, Prof. Vostanik Z. Marukhyan, wishing them sound health, longevity and new successes in all their activities and undertakings.

САРГИС ОГАНЕСОВИЧ СИМОНЯН

(к 70-летию со дня рождения)



Исполнилось 70 лет со дня рождения и 45 лет научно-педагогической деятельности известного учёного в области управления и автоматизации, заслуженного деятеля науки РА, заведующего кафедрой “Информационные технологии и автоматизация” Национального политехнического университета Армении (НПУА), действительного члена Инженерной академии Армении (ИАА), д.т.н., профессора Саргиса Оганесовича Симоняна.

С.О. Симонян родился в г. Иджеване в 1946 году. Окончив в 1964 году с золотой медалью местную школу №1 (кстати, созданную ещё в 1858 году его прадедами), в том же году поступил в Ереванский политехнический институт (ЕрПИ) на факультет Автоматики и вычислительной техники, который окончил в 1969 году с дипломом отличия, получив квалификацию инженера-электрика по специальности “Автоматика и телемеханика”.

В течение 1969-1974 гг. С.О. Симонян работал старшим инженером, а затем младшим научным сотрудником Научно-исследовательского института энергетики Армении (НИИЭА) Министерства энергетики СССР.

В 1974 г. С.О. Симонян поступил в аспирантуру НИИЭА, а затем был переведён в аспирантуру Института электродинамики АН Украины, после окончания которой он в 1977 г. защитил кандидатскую диссертацию под научным руководством акад. НАН Украины Г.Е. Пухова и проф. Г.И. Грездова. Возвратившись в Ереван в 1977-1978 гг., С.О. Симонян сначала работал начальником сектора моделирования рабочих режимов атомных станций НПО “Энергия” Главатомэнерго СССР, а затем старшим научным сотрудником лаборатории “Автоматизированные системы управления” Ереванского комплексного отделения НИИ Экономики Газпрома СССР. По приглашению ЕрПИ С.О. Симонян с 1978 г. работал доцентом кафедры “Автоматика и телемеханика” факультета Технической кибернетики. В дальнейшем был доцентом кафедр “Информатика и управление” и “Измерительная техника и информационные системы” (“ИТ и ИС”). С 1995 г. работал профессором кафедры “ИТ и ИС”.

В 1998 году С.О. Симонян создал кафедру “Информационное обеспечение технических систем” департамента Кибернетики Государственного инженерного университета Армении (ГИУА), которой руководил до 2010. С 2010 г. в результате объединения кафедр “Информационное обеспечение технических систем” и “Автоматизированные системы управления” факультета Компьютерных систем и информатики кафедра стала функционировать под названием “Информационные технологии и автоматизация” (“ИТ и А”), которой с 2010 г. по настоящее время руководит С.О. Симонян. Он одновременно является научным руководителем базовой научно-исследовательской лаборатории “Системный анализ” при кафедре “ИТ и А”. Ещё на 3-ем курсе во время учёбы в ЕрПИ его очевидные научные склонности были замечены акад. АН Армении, заведующим кафедрой “Автоматика и телемеханика” и проректором по научной работе ГИУА Г.Л. Арешяном, плодотворное сотрудничество С.О. Симоняна с

которым продолжалось вплоть до кончины его незабываемого учителя (2003 г.). Научные исследования С.О. Симоняна охватывают широкий спектр: теория и практика управления, методы оптимизации и системы оптимального управления, управление различными технологическими процессами в ускоренном и реальном масштабах времени, вычислительная математика, дифференциальные преобразования, гибридная вычислительная техника и др. Среди перечисленного круга научных интересов С.О. Симоняна можно выделить следующие четыре основные области, в которых наиболее ярко были проявлены его качества как учёного:

– практически решил достаточно известную в теории оптимального управления проблему А.А. Фельдбаума в обобщённой постановке (эти результаты были получены в его кандидатской диссертации “Некоторые вопросы гибридного моделирования динамических задач оптимизации” (1977 г.);

– разработал новые эффективные методы и алгоритмы для решения различных задач широкого круга, охватываемых классом динамических задач нелинейного программирования, а также основы синтеза специализированных гибридных вычислителей (эти результаты нашли место в его докторской диссертации “Основы синтеза специализированных вычислителей динамических задач нелинейного программирования” (1993 г.);

– обосновал и осуществил принципиально новый подход распространения математического аппарата новейшего операционного исчисления - так называемых дифференциальных преобразований, предложенных Г.Е. Пуховым в 70-80 годах прошлого века, на нединамические системы, а также значительно развил теорию этих преобразований в области динамических систем (1986-2006 гг.);

– разработал новые эффективные последовательные и параллельные методы, алгоритмы и работающие на их основе пакеты прикладных программ с использованием современных информационных технологий для определения однопараметрических обобщённых обратных матриц, достаточно часто встречающихся в многочисленных областях науки и техники, однако недостаточно исследованных в настоящее время, для решения однопараметрических линейных систем конечных уравнений и достаточно широкого класса однопараметрических линейных и нелинейных матричных уравнений, почти не исследованных ныне с применением дифференциальных преобразований (2006-2016 гг.).

Таким образом, С.О. Симоняном фактически сформулировано и достаточно развито новое научное направление в области фундаментальных исследований и создана новая научная школа (1986-2016 гг.). Часть научных результатов, полученных С.О. Симоняном, по представлению акад. АН Украины Г.Е. Пухова была опубликована в авторитетном международном журнале “Электронное моделирование”, а также в переводном варианте - в журнале “Engineering Simulation”, выходящем в США.

Профессор С.О. Симонян регулярно выступал как на различных международных, так и на всесоюзных и республиканских научных конференциях (более 40 докладов). Саргис Оганесович является также умелым организатором науки. Ещё в 1998 году в ЕрПИИ он основал сборник научных трудов “Моделирование, оптимизация, управление”, который в 2003 г. ВАК-ом РА был включён в список периодических научных изданий, приемлемых для публикаций результатов докторских и кандидатских диссертаций. С 2004 г. сборник был переименован в Вестник ГИУА – Серия “Моделирование, оптимизация, управление”.

Вестник сыграл значительную роль в пропаганде современных научных результатов различных специалистов из областей моделирования, оптимизации и управления.

С 2012 года журнал публикуется под названием Вестник ГИУА (НПУА) – серия “Информационные технологии, электроника, радиотехника”, главным редактором которого является проф. С.О. Симонян. В настоящее время опубликовано 8 томов этой серии. С 2012 г. Вестник расширился и ныне публикуется 6-ю сериями. Он сыграл важнейшую роль в защите многочисленных кандидатских и докторских диссертаций и в деле становления их авторов.

Под научным руководством проф. С.О. Симоняна были защищены 23 кандидатские и 35 магистерских диссертаций. Он являлся также научным консультантом 3-х уже защищённых и утверждённых ВАК-ом РА докторских диссертаций.

С.О. Симонян - автор (соавтор) более 250 научных и учебно-методических работ, в том числе – 180 научных работ, 5-и монографий и 5-и изобретений. Руководил 8-ю хозяйственными работами, результаты которых были внедрены в различных областях военной промышленности бывшего СССР. При выполнении 10-и госбюджетных тем им были получены важнейшие научные результаты в области фундаментальных исследований, которые периодически публиковались в Известиях Томского политехнического университета (РФ), журнале “Электронное моделирование” (Украина), Докладах НАН РА, Известиях НАН РА и ГИУА - серия Техн. наук, Вестнике ГИУА (НПУА), серии “Моделирование, оптимизация, управление” и “Информационные технологии, электроника, радиотехника”, Вестнике Инженерной академии Армении (ИАА) и др.

Внушительен и список учебно-методических работ С.О. Симоняна: он является автором (соавтором) 42 работ, в числе которых – 3 учебника, 4 сборника тестовых вопросов и задач, 18 учебных пособий, 1 трёхязычный толковый словарь, 4 конспекта лекций и др. С.О. Симонян является также активным общественным деятелем: он член редколлегии журналов Известия НАН РА и НПУА, серия Техн. наук, Вестник ИАА, “В мире науки” НАН РА (ответственный секции технических наук), член экспертной комиссии по техническим наукам МОН РА, заместитель председателя Специализированного совета 032 по защите кандидатских и докторских диссертаций при НПУА, заместитель председателя научно-технического совета НПУА и др.

В связи с многолетней эффективной научно-педагогической деятельностью С.О. Симонян награжден почетными грамотами ГИУА и МОН РА, “знаком почёта” ИАА (2), Золотой памятной медалью ГИУА, благодарственным письмом премьер-министра РА, Золотой памятной медалью МОН РА. Он 13 раз был признан победителем различных конкурсов ГИУА (первой премии за лучшие монографии, первой и второй премий за лучшие научные работы, первой и второй премий за лучшие учебники и учебные пособия и др.).

В 2011 г. в связи с 65-летием Саргис Оганесович по указу президента РА был удостоен почётного звания “Заслуженный деятель науки РА”. В 2014 – 2015 гг. С.О. Симонян был включён в список 100 наиболее эффективно работающих учёных РА.

Проф. С.О. Симонян продолжает активно заниматься плодотворной научно-педагогической деятельностью. Он имеет множество планов как в области научных исследований, так и в деле подготовки молодых перспективных высококвалифицированных специалистов.

Редакционная коллегия Вестника поздравляет юбиляра с днем рождения и желает ему крепкого здоровья и новых творческих успехов.

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1.	Աբրոյան Նարեկ Հովհաննեսի	– մագիստրոս, ՏԱԾԱ ամբիոն, ՀԱՊՀ
2.	Այվազյան Մարտին Յոլակի	– տ.գ.թ., դոցենտ, «Ռադիոտեխնիկա և կապի համակարգեր» ֆակուլտետի դեկան, ՀԱՊՀ
3.	Ավդալյան Նարեկ Բենիամինի	– հայցորդ, ճարտարագետ-նախագծող, ՀԱՊՀ, «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ
4.	Ավետիսյան Հայկ Աշոտի	– ասպիրանտ, ՀԱՊՀ
5.	Բալասանյան Սեյրան Շամիրի	– տ.գ.դ., դոցենտ, Կապանի մասնաճյուղի փոխտնօրեն գիտական աշխատանքների գծով, ՀԱՊՀ
6.	Բունիայան Վահե Վազգենի	– տ.գ.դ., պրոֆ., «Միկրոէլեկտրոնիկա և կենսաբժշկական սարքեր» ամբիոն, ՀԱՊՀ
7.	Գոմցյան Հովհաննես Ավագի	– տ.գ.թ., դոցենտ, «Ռադիոսարքավորումներ» ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ
8.	Գևորգյան Հերմինե Միշայի	– հայցորդ, Կապանի մասնաճյուղի ՏՏԻ և ԱՀ ամբիոնի դասախոս, ՀԱՊՀ
9.	Դաշտոյան Հովհաննես Ռոբերտի	– ասպիրանտ, «Միկրոէլեկտրոնիկա և կենսաբժշկական սարքեր» ամբիոն, ՀԱՊՀ
10.	Հակոբյան Համլետ Յոլակի	– ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ, «Դիսկրետ մաթեմատիկա և տեսական ինֆորմատիկա» ամբիոն, ԵՊՀ
11.	Հակոբյան Ռոբերտ Գրիգորի	– տ.գ.թ., դոցենտ, ՏԱԾԱ ամբիոն, ՀԱՊՀ
12.	Հարությունյան Պարույր Արայի	– «UCom» ՓԲԸ
13.	Հովհաննիսյան Արփի Սոսիկի	– 2-րդ կարգի կառավարիչ, «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ
14.	Մելիքյան Գոհար Շավարշի	– տ.գ.թ., դոցենտ, «Միկրոէլեկտրոնիկա և կենսաբժշկական սարքեր» ամբիոն, ՀԱՊՀ
15.	Մոլղովեանու Ալին	– պրոֆեսոր, Բուխարեստի պոլիտեխնիկական համալսարան, Ռումինիա

- | | | |
|-----|----------------------------|--|
| 16. | Մոլդովեանու Ֆլորիկա | – պրոֆեսոր, Բուխարեստի պոլիտեխնիկական համալսարան, Ռումինիա |
| 17. | Պետրոսյան Օլեգ Հարությունի | – տ.գ.դ., պրոֆ., «Միկրոէլեկտրոնիկա և կենսաբժշկական սարքեր» ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ |
| 18. | Սիմոնյան Սարգիս Հովհաննեսի | – տ.գ.դ., պրոֆ., «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և ավտոմատացում» ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ |
| 19. | Ցականով Վասիլի Մկրտչի | – ֆ.-մ.գ.դ., «Քենդլ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտ հիմնադրամ կազմակերպության ղեկավար |

СПИСОК АВТОРОВ

1. Аброян Нарек Оганнесович - магистр, кафедра Информационной безопасности и программного обеспечения, НПУА
2. Авдалян Нарек Бениаминович - соискатель, инженер-проектировщик, НПУА, ЗАО “Синописис Ар- мения”
3. Аветисян Айк Ашотович - аспирант, НПУА
4. Айвазян Мартин Цолакович - к.т.н., доцент, декан факультета Радиотехники и систем связи, НПУА
5. Акопян Гамлет Цолакович - к.ф.-м.н., доцент, кафедра Дискретной математики и теоретической информатики, ЕГУ
6. Акобян Роберт Григорьевич - к.т.н., доцент, кафедра Информационной безопасности и программного обеспечения, НПУА
7. Арутюнян Паруйр Ашотович - ЗАО “УCom”
8. Баласанян Сейран Шамирович - д.т.н., доцент, зам. директора по научным работам Капанского филиала НПУА
9. Буниатян Ваге Вазгенович - д.т.н., проф., кафедра Микро- электроники и биомедицинских устройств, НПУА
10. Геворгян Эрмине Михайловна - соискатель, преподаватель, кафедра ИТИ и АС, Капанский филиал, НПУА
11. Гомцян Оганес Авакович - к.т.н., доцент, зав. каф. Радио- устройств, НПУА
12. Даштоян Оганес Робертович - аспирант, кафедра Микро- электроники и биомедицинских устройств, НПУА

13. Меликян Гоар Шаваршевна - к.т.н., доцент, кафедра Микроэлектроники и биомедицинских устройств, НПУА
14. Молдовеану Алин - профессор, Политехнический университет Бухареста., Румыния
15. Молдовеану Флорика - профессор, Политехнический университет Бухареста, Румыния
16. Оганесян Арпи Сосиковна - менеджер 2-го класса, ЗАО “Синописис Армения”
17. Петросян Олег Арутюнович - д.т.н., проф., зав. каф. Микроэлектроники и биомедицинских устройств, НПУА
18. Симонян Саргис Оганнесович - д.т.н., проф., зав. каф. Информационных технологий и автоматизации, НПУА
19. Цаканов Василий Мкртичевич - д.ф.-м.н., руководитель организации фонда Института синхротронных исследований “Кендл” РА

LIST OF AUTHORS

1. Abroyan Narek Hovhannes - Graduate student of the Chair “Information Security and Software”, NPUA
2. Avdalyan Narek Benyamin - Post-graduate student, engineer-designer, NPUA, “Synopsys Armenia” CJSC
3. Avetisyan Hayk Ashot - Post-graduate student, NPUA
4. Ayvazyan Martin Tsolak - Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Dean of the Faculty “Radio Engineering and Communication Systems”, NPUA
5. Balasanyan Seyran Shamir - Dr. of tech.sci., Assoc. Prof., Deputy Director on Research Works of the Kapan branch, NPUA
6. Buniatyan Vahe Vazgen - Dr. of tech.sci., Prof. of the Chair “Microelectronics and Biomedical Devices”, NPUA
7. Dashtoyan Hovhannes Robert - Post-graduate student of the Chair “Microelectronics and Biomedical Devices”, NPUA
8. Gevorgyan Hermine Misha - Post-graduate student, lecturer of the Chair “Information Technologies, Informatics and Automation Systems”, Kapan branch, NPUA
9. Gomtsyan Hovhannes Avag - Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Head of the Chair “Radio Devices”, NPUA
10. Hakobyan Hamlet Tsolak - Cand. of Phys.-math. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science”, YSU
11. Hakobyan Robert Grigor - Cand. of tech. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Information Security and Software”, NPUA

- | | | | |
|-----|---------------------------|---|---|
| 12. | Harutyunyan Paruyr Ashot | - | “UCom” CJSC |
| 13. | Hovhannisyan Arpi Sosik | - | 2 nd -class manager, “Synopsys Armenia” CJSC |
| 14. | Melikyan Gohar Shavarsh | - | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Microelectronics and Biomedical Devices”, NPUA |
| 15. | Moldoveanu Alin | - | Professor, POLITEHNICA University of Bucharest, Romania |
| 16. | Moldoveanu Florica | - | Professor, POLITEHNICA University of Bucharest, Romania |
| 17. | Petrosyan Oleg Harutyun | - | Dr. of tech.sci., Prof., Head of the Chair “Microelectronics and Biomedical Devices”, NPUA |
| 18. | Simonyan Sargis Hovhannes | - | Dr. of tech. sci., Prof., Head of the Chair “Information Technologies and Automatization”, NPUA |
| 19. | Tsakanov Vasiliy Mkrtych | - | Dr. of Phys.-math. sci., Head of the Fund of Organization “Candle” Synchrotron Research RA |

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Բանբերը գրախոսվող հանդես է, որը հրատարակվում է գիտատեխնիկական, նաև պատվիրված ակնարկային-վերլուծական բնույթի հոդվածներ, հաղորդումներ, ինչպես և տվյալ բնագավառի անվանի գիտնականների հոբբեյաններին, նոր գրքերին, համալսարանի մասնակցությամբ կայացած գիտաժողովներին նվիրված նյութեր, խմբագրությանն ուղղված նամակներ:

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով (bamber_iter@seua.am), համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Footer-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է GHEA Grapalat տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերենի կամ անգլերենի դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիչը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԸԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում վերնագիրը՝ գլխատառերով, հաջորդ տողում հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 11 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, մեկ տող ներքև՝ հեղինակ(ներ)ի աշխատավայրը՝ italic, 9 տառաչափով՝ հայերեն և 10 տառաչափով՝ ռուսերեն և անգլերեն:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անտառցիա) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի 200-250 բառ, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներածի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Ինտրոդյուկցիոն» և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան վերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծում:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ.» և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականություն» բառը՝ տողի կենտրոնում, փոքրատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի զետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և քջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Вестник Национального политехнического университета Армении - рецензируемый журнал, в котором публикуются статьи научно-технического характера, сообщения, заказные обзорно-аналитические статьи, а также материалы, посвященные юбилеям известных в данной области ученых, новым книгам, научным конференциям при участии университета, и письма в адрес редакции.

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл (banber_itter@seua.am) статьи в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт GHEA Grapalat (размер шрифта - 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏԴ, УДК, UDC); строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм.яз., 11 – на рус. и англ. яз., строкой ниже – инициалы (И.О.) и фамилия - строчными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм.яз., 11 – на рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже – место работы - шрифт italic, размер 9.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен включать 200-250 слов. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание **«Ключевые слова»** - Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова *«Рис.»*, *«Таблица»*, а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Слово **«Литература»** располагается в центре строки строчными буквами, Bold. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

RULES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS

Proceedings of National Polytechnic University of Armenia is a peer-reviewed journal which publishes scientific-technical and also analytic –review papers, short communications, as well as materials about the jubilees of prominent scientists, new books, scientific conferences coorganized by the University, letters addressed to the editorial board.

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version (banber_ite@seua.am) of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the GHEA Grapalat, font size 10, and the texts in Russian or English by Times New Roman, in font size 11.

2. On the top left corner of the first page, the Universal Decimal Classifier is placed (ՀՏԴ, УДК, UDC). The title of the article in capital letters, bold, font size 10 for texts in Armenian, and 11 – for Russian and English should be placed in the centre of the next line. The initials and the surname(s) in small letters and bold, in font size 10, for texts in Armenian, and in font size 11 for the ones in English and Russian should be lined up in the centre of the next line. In the following line, the workplace of the author (s) should be mentioned, italic, font size 9.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. The abstract should include 200-250 words. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The number of keywords or word combinations - 4-8.

4. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

5. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They are printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

6. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9, for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

7. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author’s initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the centre of the line in small letters bold. In the list of references each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals the references should be introduced in the following style: the author’s surname, initials, bold, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the author’s name, initials, full title, publication place, publisher, year, total number of pages.

8. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

9. The manuscript should be signed by the author(s) with indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of employment place, educational institution; the position occupied scientific degree, telephone numbers (office, home, mobile).

Բ Ա Ն Բ Ե Ր
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

**ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐ,
ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՌԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱ**

В Е С Т Н И К
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА**

PROCEEDINGS
OF NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF ARMENIA

**INFORMATION TECHNOLOGIES,
ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING**

2016

1

Հրատ. խմբագիր՝ Ժաննա Սեյրանյան
Խմբագիրներ՝ Հասմիկ Պետրոսյան
Հասմիկ Ղազարյան

Շապիկի ձևավորումը՝ Էդուարդ Կուրդինյան

Ստորագրված է տպագրության՝ 2016թ.:

Թուղթը՝ «օֆսեթ»: Տպագրությունը՝ ռիզո: Ֆորմատ՝ (70×100) 1/16:

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Times New Roman, GHEA Grapalat: 7.5 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 569: Տպարանակ՝ ...

Հայաստանի ազգային
պոլիտեխնիկական
համալսարանի տպարան
Երևան, Տերյան 105,
Հեռ.՝ 520 356

Типография Национального
политехнического
университета
Армении
Ереван, ул. Теряна, 105,
Тел.: 520 356

Printing house of National
Polytechnic University
of Armenia
105 Teryan str. Yerevan,
Tel. 520 356