

ISSN 0002-306 X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ՀԱՏՈՐ LXXIII ԾՈՄ

2

ԵՐԵՎԱՆ

2020

ЕРЕВАН

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 73

N 2

ԱՊՐԻԼ – ՀՈՒՆԻՍ

ԵՐԵՎԱՆ 2020

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 73

N 2

АПРЕЛЬ – ИЮНЬ

ЕРЕВАН 2020

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES AND NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF
ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 73

N 2

APRIL - JUNE

YEREVAN 2020

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Գլխավոր խմբագիր՝ Մելիքյան Վ.Շ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Գլխ. խմբագրի տեղակալ՝ Գրիգորյան Ա.Խ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Պատասխանատու քարտուղար՝ Մեյրանյան Ժ.Ս., ՀՀ

Խմբագրական կոլեգիա՝

Աղբալյան Ս.Գ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Ասլանյան Լ.Հ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Բաղդասարյան Ն.Պ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Բաղդասարյան Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Գոնեւմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս

Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի

Դավթյան Ս.Պ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ք.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա

Զորյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ

Իյուշենկո Ա.Ֆ., Բելառուսի ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս

Լան Չ., տ.գ.թ., Չինաստան

Կրասնիկով Գ.Յ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Կուրտուա Բ., տ.գ.թ., Ֆրանսիա

Հախումյան Ա.Ա., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Հակոբյան Վ.Ն., ֆ.-մ.գ.դ., ՀՀ

Հանանով Վ.Ի., Կիրառական ռադիոէլեկտրոնիկայի Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Ուկրաինա

Ղուլյան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Մանդալիկա Մ., տ.գ.թ., Հնդկաստան

Մարուխյան Ո.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ

Միխայլիչ Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս

Շիխտման Ու., տ.գ.թ., Գերմանիա

Չանգ Ֆ., Թայվանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., Թայվան

Չապլիզին Յու.Ա., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Պետրոսյան Օ.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Պետրոսյանց Կ.Օ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Սապատնեկար Ս., տ.գ.թ., ԱՄՆ

Սարգսյան Յու.Լ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Սքիտնն Ս.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Ստեմպկովսկի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Վորոբյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., ՌԴ

Ցանովա Ս., տ.գ.թ., Բուլղարիա

Ուբար Ռ., Էստոնիայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Էստոնիա

Ուսանով Վ.Ի., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Քուչուկյան Ա.Թ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Меликян В.Ш., член-корр. НАН РА., д.т.н., проф., Армения

Заместитель главного редактора Григорян А.Х., д.т.н., проф., Армения

Ответственный секретарь Сейранян Ж.С., Армения

Редколлегия:

Агбальян С.Г., д.т.н., проф., Армения

Акопян В.Н., д.ф.-м.н., Армения

Асланиян Л.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Ахумян А.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Багдасарян М.К., д.т.н., проф., Армения

Багдасарян О.В., д.т.н., проф., Армения

Бадалян Н.П., д.т.н., проф., Россия

Воробьев А.Е., д.т.н., проф., Россия

Гагаринский А.Ю., д.ф.-м.н., проф., Россия

Гонейма М., к.т.н., Египет

Гримблат В., к.т.н., Чили

Гулян А.Г., академик НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Давтян С.П., член-корр. НАН РА, д.х.н., проф., Армения

Докич Б., д.т.н., Босния и Герцеговина

Зорян Е., к.т.н., США

Ильющенко А.Ф., член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф., Беларусь

Красников Г.Я., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Куртуа Б., к.т.н., Франция

Кучукян А.Т., академик НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

Михайлович А.А., д.т.н., проф., Беларусь

Петросян О.А., д.т.н., проф., Армения

Петросянц К.О., д.т.н., проф., Россия

Сапатнекар С., к.т.н., США

Саркисян Ю.Л., академик НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Сбитнев С.А., д.т.н., проф., Россия

Симонян С.О., д.т.н., проф., Армения

Стемпковский А.Л., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Тихомиров Г.В., д.ф.-м.н., Россия

Убар Р., академик НАН Эстонии, д.т.н., проф., Эстония

Усанов В.И., д.т.н., проф., Россия

Хаханов В.И., академик Академии наук Украины по прикладной радиоэлектронике, д.т.н., проф., Украина

Цанова С., к.т.н., Болгария

Чанг Ф., академик Национальной академии Тайваня, д.т.н., Тайвань

Чаплыгин Ю.А., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Шлихтманн У., к.т.н., Германия

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: Melikyan V.Sh., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Deputy Editor-in-Chief: Grigoryan A.Kh., Sci.Dr., Prof., Armenia
Executive Secretary: Seyranyan Zh.S., Armenia
Editorial Board:
Aghbalyan S.G., Sci.Dr., Prof., Armenia
Aslanyan L.H., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Badalyan N.P., Sci.Dr., Prof., Russia
Baghdasaryan H.V., Sci.Dr., Prof., Armenia
Baghdasaryan M.Q., Sci.Dr., Prof., Armenia
Chang F., Member of National Academy of Taiwan, Sci.Dr., Taiwan
Chaplygin Yu.A., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Courtois B., Ph.D., France
Davtyan S.P., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Dokic B., Sci.Dr., Bosnia and Herzegovina
Gagarinski A.Yu., Sci.Dr., Prof., Russia
Ghoneima M., Ph.Dr., Egypt
Ghulyan A.G., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Grimblatt V., Ph.Dr., Chile
Hahanov V.I., Academician of Academy of Sciences of Ukraine in Applied Radioelectronics, Sci.Dr., Prof., Ukraine
Hakhumyan A.A., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Hakobyan V.N., Sci.Dr., Armenia
Ilyushenko A.F., Corr.member of NAS of Belarus, Sci.Dr., Prof., Belarus
Krasnikov G.Y., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Kuchukyan A.T., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Lan Ch., Ph.Dr., China
Mandalika S., Ph.Dr., India
Marukhyan V.Z., Ph.Dr., Prof., Armenia
Mikhaylevich A.A., Sci.Dr., Prof., Belarus
Petrosyan O.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Petrotyants K.O., Sci.Dr., Prof., Russia
Sapatnekar S., Ph.Dr., USA
Sargsyan Yu.L., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Sbitnev S.A., Sci.Dr., Prof., Russia
Schlichtmann U., Ph.Dr., Germany
Simonyan S.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Stempkovski A.L., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Tikhomirov G.V., Sci.Dr., Russia
Tsanova S., Sci.Dr., Bulgaria
Ubar R., Academician of Academy of Sciences of Estonia, Sci.Dr., Prof., Estonia
Usanov V.I., Sci.Dr., Prof., Russia
Vorobyov A.Y., Sci.Dr., Prof., Russia
Zorian Y., Ph.Dr., USA

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. Техн. наук), 2020

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И НАЦИОНАЛЬНОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES AND
NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

2020

2

ՀԱՏՈՐ
TOM 73
VOLUME

ԱՊՐԵԼ – ՀՈՒՆԻՍ
АПРЕЛЬ – ИЮНЬ
APRIL - JUNE

Հրատ. Խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 22.06.2020

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

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 7.4 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 155: Տպաքանակ՝ 200

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

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Ս. ՊԱՊՈՅԱՆ

**XTC ՄԱԿՆԻՇԻ ՊՈՂՊԱՏՅԱ ԳՆԴԵՐԻ ՄԽՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՆԱԽԻՏԱՅԻՆ ԼԱՏԵՔՍԻ ԶՐԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ**

Հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծությամբ ցույց է տրված, որ պոլիմերների ջրային լուծույթներում միմյան գործընթացը ուսումնասիրված է ոչ բավարար, հատկապես չկան տեղեկություններ պոլիմերային համակարգերի կայունության մասին, ինչպես նաև չկան տվյալներ տեխնոլոգիական պարամետրերի, սառեցման ունակության և միմյան գործընթացի վրա մակերևութաակտիվ ավելացումների ազդեցության վերաբերյալ:

LabViem փաթեթի միջոցով կազմվել է ծրագիր՝ վիրտուալ գործիք, որը հնարավորություն է տվել E2U-ով ավտոմատ կերպով չափել XTC մակնիշի պողպատից ձուլված գնդերի ջերմաստիճանը և կառուցել ժամանակից կախված ջերմաստիճանային կախվածության գրաֆիկ՝ սառեցման կորեր: Այն հնարավորություն է տվել՝ հետազոտելու միմյան գործընթացը տարբեր միջավայերում, որի արդյունքում երաշխավորվել է նույն նպատակի համար նախկինում օգտագործվող հանքային յուղերը փոխարինել տեղական արտադրության նախիրիտային լատեքսի ջրային լուծույթով:

Առանցքային բառեր. պողպատ, գունդ, միում, նախիրիտային լատեքս, սառեցման կորեր, աուտոենիտ, մարտենիտ, լիամիավելիություն, կարծրություն:

Ներածություն. Հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ չկան բավարար հետազոտություններ գունավոր մետաղների հանքաքարերի մանրացման համար օգտագործվող բարձր լիամիավելիությամբ ոչ ջերմակայուն պողպատներից պատրաստված գնդերի միմյան վերաբերյալ, մասնավորապես, պոլիմերների ջրային լուծույթում, այդ թվում՝ նախիրիտային լատեքսի: Բացակայում են միմյան գործընթացում պոլիմերային համակարգերի կայունության մասին տեղեկությունները, ինչպես նաև չկան տվյալներ տեխնոլոգիական պարամետրերի, սառեցման ունակության և միմյան գործընթացի վրա մակերևութաակտիվ ավելացումների ազդեցության վերաբերյալ:

Մետաղների կորզման նպատակով մետաղական հանքաքարերն աղացներում՝ պողպատյա գնդերի ազդեցությամբ, ենթարկում են մեխանիկական ջարդման և մանրացման: Գնդերն աշխատանքի ընթացքում ենթարկվում են դինամիկ հարվածների և ինտենսիվ մաշման: Հետևապես՝ գնդերի կարծրության, ամրության և մաշակայունության բարձրացումը՝ բավարար մածուցիկության ապահով-

մամբ, կնպաստի դրանց աշխատունակության և երկարակեցության բարձրացմանը, ինչը հանդիսանում է կարևոր գիտատեխնիկական խնդիր:

Խնդրի լուծման եղանակներից մեկը, որը վերաբերում է մանրացնող պողպատյա գնդերի որակի և նրանց կոնստրուկցիոն հատկությունների բարձրացմանը, ջերմային մշակման ժամանակ սառեցնող միջավայրերի ճիշտ ընտրությունն է, որին ներկայացվող հիմնական պահանջներն են՝ ամրային հատկությունների ապահովումը, միսման միջավայրի խնայողությունը, անվտանգությունը, նվազագույն վնասակար ազդեցությունը շրջապատող միջավայրի վրա: Դրանք պետք է լինեն արդիական, մատչելի, ունենան հուսալի հումքային բազա և, ցանկալի է, լինեն տեղական արտադրության:

Հայտնի է, որ ավանդական միսման միջավայրերն ունեն մի շարք թերություններ [1, 2]: Ջուրը, ինչպես նաև աղերի ու ալկալիների ջրային լուծույթները տարբեր ջերմաստիճանային միջակայքերում ունեն սառեցման բարձր ունակություն, որն առաջացնում է «բծավոր միսում», մեծանում են դեֆորմացիաները, որոշ դեպքերում նաև առաջանում են ճաքեր:

Յուրում միսումը փոքրացնում է լարումները, դեֆորմացիաները դառնում են նվազագույն, և վերանում է ճաքագոյացումը [1, 3-5]: Սակայն, հաշվի առնելով յուղի բարձր ինքնարժեքը, նրա իսպառ բացակայությունը մեր հանրապետությունում որպես հանքային հումք, ինչպես նաև նրա օգտագործման ժամանակ թունավոր գոլորշիների առկայությունը, արտադրության ծանր սանիտարահիգիենիկ պայմանները և ցնցուղային սառեցման ժամանակ նրա օգտագործման անհնարինությունը, խիստ հրատապ է դառնում նոր միսման միջավայրի ստեղծումը, որը զերծ կլինի նշված թերություններից: Այս տեսակետից յուղին փոխարինող պոլիմերների ջրային այն լուծույթների օգտագործման հնարավորությունը, որոնք օժտված են կարգավորիչ սառեցնող ունակությամբ, համարվում է արդիական խնդիր: Հատկապես այն արդիական է Հայաստանի Հանրապետության համար, որտեղ առկա է ջրում լուծվող պոլիմերների արտադրություն, որը հնարավորություն կտա մշակված լուծույթները արտահանել միջազգային շուկա՝ հանրապետությանը բերելով մեծ տնտեսական շահույթ:

Հայտնի է նաև, որ մետաղների մեխանիկական հատկությունները, հատկիկի մեծության փոքրացմանը զուգընթաց, մեծանում են [6-9], ինչին կարելի է հասնել ջերմամշակման միջոցով: Մյուս կողմից՝ ջերմային մշակման բոլոր տարատեսակների դեպքում, եթե մեծանում են ամրության բնութագրերը, ապա նվազում են պլաստիկությունն ու մածուցիկությունը: Մետաղների մեխանիկական հատկությունները համալիր կերպով բարձրացնելու նպատակով հաճախ իրականացվում է ջերմային մշակման մի քանի տեսակների գուգակցում, ինչպիսիք են ջերմամեխանիկական, քիմիաջերմային մշակումները և այլն [8, 10, 11]:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Աշխատանքի նպատակն է հետազոտել գնդադացներում գունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդերի ջերմային մշակման գործընթացը նաիրիտային լատեքսի ջրային լուծույթում, ուսումնասիրել գնդերի կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման գործընթացը և ընտրել նոր միսման միջավայր:

Գնդադացներում գունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդերը հիմնականում պատրաստում են բարձր լիամիսվելիությամբ ոչ ջերմակայուն XTC մակնիշի պողպատից [12], որի քիմիական բաղադրությունը բերված է աղ. 1-ում: Այն պարունակում է 4...5% լեգիրող տարրեր և լիամիսվում է տրամագծով մինչև 80...90 մմ խորությամբ:

Աղյուսակ 1

XTC մակնիշի պողպատի քիմիական բաղադրությունը [12]

Պողպատի մակնիշը	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	W, %	V, %	Mo, %	Ni, %
XTC	0,95...1,05	0,40...0,70	0,85...1,25	1,30...1,65	-	-	-	-

Միսվելությունն աճում է լիամիսվելիության աճի հետ մեկտեղ, ուստի պողպատները յուղում կամ տաք միջավայրում (150...180°C) միսումից հետո ունենում են բարձր կարծրություն (HRC 62-ից 67...68): Այդ դեպքում նվազում են դեֆորմացիաները:

Միլիցիումով լեգիրումը փոքրացնում է աուստենիտի կայունությունը պեռլիտային տիքային և բաժրացնում պողպատի կայունությունը արձակման նկատմամբ: Mn-ի բարձր պարունակության պատճառով XTC մակնիշի պողպատը միսման ժամանակ պահպանում է ~20% մնացորդային աուստենիտ, ինչը նշանակալիորեն նվազեցնում է դեֆորմացիաները: Սակայն վերջիններս նվազեցնում են պլաստիկ դեֆորմացիայի նկատմամբ դիմադրությունը և գործիքի կայունությունը:

XTC սիլիցիումային պողպատն ունի հետևյալ առավելությունները.

1. Կարբիդային ֆազի բաշխվածությունը հավասարաչափ է, ինչը պայմանավորված է ածխածնի ցածր պարունակությամբ (0,95...1,05%), իսկ կարբիդային անհամասեռությունը չի գերազանցում 1-ից 2 բալլը.
2. Գերտաքացման նկատմամբ ունի ոչ մեծ զգայնություն. Si-ը, դժվարացնելով ինքնադիֆուզիան, օժանդակում է մանրահատիկայնությանը.
3. Արձակումից հետո աչքի է ընկնում մնացորդային աուստենիտի փոքր պարունակությամբ (6...8%): Եթե Si-ը միակ լեգիրող տարրն է, ապա չի փոփոխվում Մ₀ ջերմաստիճանը:

XTC միաված պողպատի կարծրությունը ջերմամշակումից հետո $HRC \leq 61 \dots 62$ է: Սակայն Si-ի $> 0,8 \dots 1,0\%$ պարունակության դեպքում վատանում են պողպատի տեխնոլոգիական հատկությունները:

XTC պողպատում Si-ը, գտնվելով α ֆազում, ամրացնում է ֆերիտային կառուցվածքը և բարձրացնում կարծրությունը: Թրծումից հետո կարծրությունը հասնում է մինչև HB 2170...2410 ՄՊա: Բացի դրանից, Si-ի չափից ավելի բարձր պարունակությունն ուժեղացնում է ածխածնագրկումը, ինչպես նաև, աղավաղելով α ֆազի բյուրեղային ցանցը, պողպատը դարձնում է փխրուն:

Բարձր լիամիսվելիությամբ ոչ ջերմակայուն XTC մակնիշի պողպատից պատրաստված գնդադացների գնդերի միմյան նպատակն է ստանալ մակերևութային շերտի (մինչև շառավղի 0,5 մասի խորությամբ) բարձր կարծրություն, ամրություն, հարվածային մածուցիկություն և մաշակայունություն՝ պահպանելով միջուկի բարձր պլաստիկությունը: Մակերևութային շերտի պահանջվող հատկությունները հնարավոր է ապահովել մանրահատիկ մարտենսիտային կառուցվածքի ստացմամբ:

Միմյան ժամանակ սառեցման եղանակն ընտրելիս հաշվի է առնվել երկու հիմնական նպատակ. առաջին՝ ապահովել պողպատի սառեցումը նրա միմյան կրիտիկական արագությունը գերազանցող արագությամբ, որն անհրաժեշտ է մարտենսիտային կառուցվածքի ստացման համար, երկրորդ՝ ստանալ նվազագույն միմյան ներքին լարումներ՝ արտադրանքի դեֆորմացիայից և միմյան ճաքերի առաջացումից խուսափելու համար:

Որպես միմյան նոր միջավայր ընտրվել է քլորապրենային լատեքսը, որն արտադրվում է «Նաիրիտ գործարան» ՓԲԸ-ում (ք. Երևան) և վերանվանվել է «Նաիրիտային լատեքս»: Այն՝ Մ-ММА-М- α -պոլիմերը (քլորապրենային լատեքս), ստանում են քլորապրենի էմուլսիոն պոլիմերացման միջոցով կամ նրա համապոլիմերացումով վինիլային կամ դինինային ածխաջրածինների հետ: Քլորապրենային լատեքսներն ունեն բարձր կաշտնակություն, ճկունություն և ամրություն: Պոլիմերի մեջ նշանակալից քանակությամբ Cl-ի առկայությունը պայմանավորված է բարձր օգոնակայունությամբ և լուսակայունությամբ, ագրեսիվ միջավայրերի, լուծիչների և յուղերի ազդեցության նկատմամբ կայունությամբ: Cl-ի մեծ պարունակությունը հանգեցնում է հրակայունության բարձրացման: Որպես համապոլիմեր օգտագործվել են մեթակրիլային թթու (MAK), նիտրիլակրիլային թթու (HAK), ստիրոլ, մեթակրիլային թթվի մեթիլային եթեր (MMA), երկքլոր և եռաքլոր բուտադիեն և այլ մոնոմերներ [5]: Աշխատանքում որպես սառեցնող միջավայր օգտագործվել է քլորապրենի համապոլիմերային լատեքսի նոսրացրած դիսպերսիոն մեթիլմեթակրիլատի և մեթակրիլային թթվի հետ խառնուրդը: Այսպիսի

միջավայրը բնութագրվում է բարձր ագրեգատային և կոլիդային կայունությամբ, ինչպես նաև ջերմակայունությամբ:

Յուղի համեմատ միումը նոր միսման միջավայրում ապահովում է բարձր մեխանիկական հատկություններ, ցածր դեֆորմացիա, լավացնում է սանիտարա-հիգիենիկ պայմանները և կանխում գործընթացի հրդեհավտանգավորությունը:

Հայտնի է [13], որ սառեցման մեխանիզմն ուղեկցվում է սառեցման 3 փուլերով. I-ի փուլը սառեցումն է գոլորշային թաղանթում՝ թաղանթային եռում: Պողպատյա գնդի շուրջն առաջանում է գոլորշահեղուկային թաղանթ, որը դժվարացնում է ջերմատվությունը: Սառեցումը կատարվում է ցածր արագությամբ և բնութագրվում է գնդի մակերևույթի անհավասարաչափ սառեցմամբ: I փուլի տևողությունը կարելի է կրճատել ակտիվ միախառնման միջոցով կամ ավելացնելով տարբեր հավելանյութեր:

Բշտիկային եռման II-րդ փուլում սառեցումն ուղեկցվում է գոլորշային թաղանթի քայքայումով, որի արդյունքում գնդի մակերևույթը հալվում է հեղուկին: Կատարվում է ավելի արագ սառեցում: Այս դեպքում սառեցվող գնդի մակերևույթի ջերմաստիճանը կտրուկ իջնում է մինչև սառեցվող հեղուկի եռման ջերմաստիճանը և մնում է հաստատուն մինչև բշտիկային եռման վերջը [13]:

III-րդ փուլում եռքը ընդհատվում է, սառեցումը բնութագրվում է չափավոր սառեցման արագությամբ, այսինքն՝ կոնվեկցիայի արդյունքով: Այս փուլի սառեցման արագությունը կախված է հեղուկի մածուցիկությունից և ջերմահաղորդականությունից, ինչպես նաև գնդի և հեղուկի ջերմաստիճանների տարբերությունից [13]:

Հետազոտության արդյունքները. Սառեցման գործընթացի ուսումնասիրությունը կատարվել է 0,5...2,5%-անոց նախրիտային լատեքսի ջրային լուծույթում: Փորձերը ցույց են տալիս, որ թաղանթային եռման I-ին փուլն ուղեկցվում է պոլիմերային թաղանթի առաջացումով շիկացած պողպատյա գնդի մակերևույթի վրա, երբ այն հալվում է սառը հեղուկին: Պոլիմերային լուծույթի մի մասն ակնթարթորեն վերածվում է գոլորշու, որն իսկույն կոնդենսացվում է: Քանի որ սառեցման հեղուկը արագ տաքանում է, ապա կոնդենսացիան դանդաղում է, որի ժամանակ առաջանում է գոլորշահեղուկային՝ առավել կայուն պոլիմերային թաղանթ գնդի մակերևույթին:

Սառեցման III-րդ փուլը՝ կոնվեկցիոն եռումը, բոլոր սառեցման միջավայրերի համար կատարվում է 300°C-ից ցածր ջերմաստիճանային տիրույթում, ինչը բնութագրական է նախրիտային լատեքսի ջրային լուծույթի համար: Այս փուլում շարժումն ընդհատվում է: III-րդ փուլն ընթանում է կայուն ջերմամեկուսիչ թաղանթի առաջացումով, որը շրջապատում է մխված գունդը, դանդաղեցնում է սառեցման արագությունը մինչև $\sim 35^{\circ}\text{C}/\text{լ}$ մոտենալով յուղի սառեցման արագությամբ:

յանը, դրանով առաջացնելով ավելի ամբողջական մարտենսիտային փոխակերպության հնարավորություն և ներքին լարումների ու դեֆորմացիաների փոքրացում: Բարակ թաղանթը չի խանգարում հետագա տեխնոլոգիական օպերացիաների իրականացմանը և հեշտ հեռանում է հաջորդող ջերմային մշակման գործընթացում՝ արձակման ժամանակ:

Սառեցնող հեղուկում օգտագործվել են գնդերի շարժման տարբեր եղանակներ. անընդհատ շարժում, որն իրականացվել է ամբողջ ջերմաստիճանային տիրույթում, և ընդհատվող շարժում, որի ժամանակ բարձր ջերմաստիճանային տիրույթում, այսինքն՝ առստենիտի նվազագույն կայունության տիրույթում, սառեցվող դետալները շարժվել են, իսկ մարտենսիտային տիրույթում՝ սառեցվել հանգիստ վիճակում: Շարժման ժամանակը որոշվել է $\tau = 0,5d$ բանաձևի միջոցով, որտեղ d -ն մշակվող գնդի դրամագիծն է, *մմ*-ով [13]: Փորձերի արդյունքում ընտրվել է ընդհատվող շարժամբ միտումը, որը հանգեցրել է մեխանիկական հատկությունների լավացմանը:

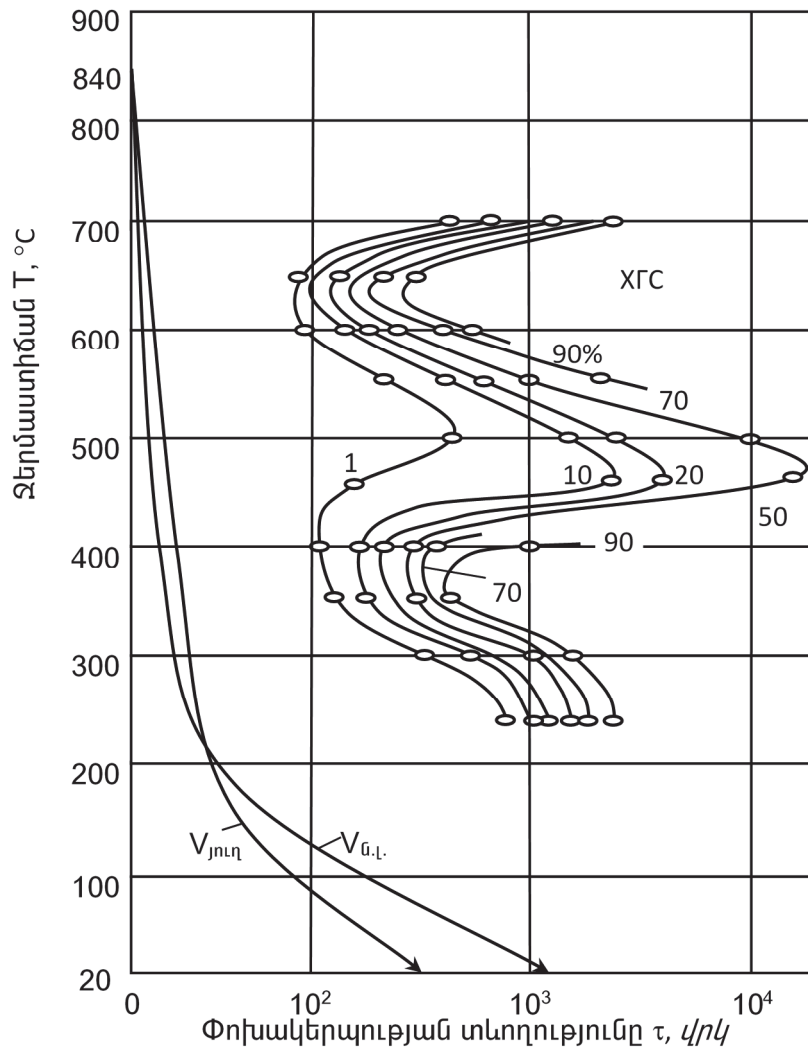
Մշակվել է LabView ծրագիր, որի միջոցով որոշվել է սառեցման արագությունը՝ ջերմաստիճանի կախվածությունը ժամանակից: Փորձերը կատարվել են այս ծրագրի միջոցով, և արդյունքները բերված են աղ. 2-ում և նկարում:

Աղյուսակ 2

Սառեցման արագությունները

N	Սառեցնող միջավայր	Սառեցման արագությունն ըստ ջերմաստիճանների, $^{\circ}C/վրկ$		Ամենամեծ սառեցման արագությունը, $^{\circ}C/վրկ$	Ամենամեծ սառեցման արագության ջերմաստիճանը, $^{\circ}C$
		600 ... 400	400 ... 200		
1	Ցուղ՝ անընդհատ շարժումով	140	90	150	460
2	Ցուղ՝ ընդհատվող շարժումով	130	50	140	450
3	Նաիրիտային լատեքս՝ անընդհատ շարժումով	455	310	465	520
4	Նաիրիտային լատեքս՝ ընդհատվող շարժումով	180	50	320	650

Ի տարբերություն յուղի, նաիրիտային լատեքսի սառեցման արագությունը առաստենիտի նվազագույն կայունության տիրույթում ($600...400^{\circ}\text{C}$) ստացվել է $180^{\circ}\text{C}/\text{վ}$, իսկ մարտենսիտային փոխակերպության տիրույթում ($400...200^{\circ}\text{C}$)՝ $\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{վ}$: 340°C -ում սառեցման արագությունը կազմել է $\sim 35^{\circ}\text{C}/\text{վ}$:



Նկ. XFC մակնիշի պողպատի առաստենիտի իզոթերմ տրոհման C-ձև դիագրամը [14] և յուղում ու 1,25%-անոց նաիրիտային լատեքսի ջրային լուծույթում LabViem ծրագրով ստացված միսման սառեցման կորերը

Հայտնի է [5, 13], որ սառեցման գործընթացը բշտիկային եռման II-րդ փուլում ուղեկցվում է ձայնային էֆեկտով: Ձայնի ընդհատումը համարվում է կոնվեկցիոն եռման՝ III-րդ փուլի գործընթացի սկիզբը, որն ուղեկցվում է սառեցման

արագության նշանակալի անկմամբ. այն մոտենում է յուղի սառեցման արագությանը: Սառեցման կորի այսպիսի բնութագիրը նախնական լատեքսի միջավայրում (III-րդ փուլում) բացատրվում է միաված դետալի պատմամբ բարակ և կայուն ջերմամեկուսիչ պոլիմերային թաղանթով, որը հանգեցնում է դանդաղ կոնվեկցիոն սառեցման: Բարակ թաղանթը՝ 100...150 մկմ հաստությամբ, նպաստում է մարտենսիտային փոխակերպության իրականացմանը $\sim 35^{\circ}\text{C}/\text{վ}$ սառեցման արագությամբ՝ ստեղծելով «փափուկ միսում» և յուղի համեմատ բարձրացնելով կարծրությունը 2...3 HRC:

Եզրակացություն. Մշակվել է LabViem ծրագիր, որի միջոցով հետազոտվել է բարձր լիամիսելիությամբ ոչ ջերմակայուն XTC պողպատից պատրաստված գնդերի միսման գործընթացը նախնական լատեքսի ջրային լուծույթում: Արդյունքում՝ երաշխավորվել է նախկինում նույն նպատակի համար օգտագործվող հանքային յուղը փոխարինել նախնական լատեքսի ջրային լուծույթով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Приходько В.С., Самойленко Г.Н.** Тенденции развития термической обработки.- М.: НИИМАШ, 1981.- 56 с.
2. **Эйсмонтт Ю.Г.** Исследование охлаждающих сред, альтернативных закалочным маслам // Металловедение и термическая обработка металлов.- 2000.- N 11.- С. 32-29.
3. **Бочвар А.А.** Металловедение.- М.: Металлургия, 1974.- 404 с.
4. **Кашенко Г.А.** Основы металловедения.- М.: Машгиз, 1959.- 395 с.
5. **Օհանյան Ա.Ռ.** Նախնական լատեքսի հիմքով միսման միջավայրի մշակումը և հետազոտումը. Թեկնածուական ատենախոսության սեղմագիր.- Երևան, 1998.- 19 էջ:
6. **Новиков И.И.** Дефекты кристаллического строения металлов: Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1983.- 232 с.
7. **Աղբալյան Ս.Գ.** Բյուրեղագիտություն և մետաղների բյուրեղային ցանցի արատներ. Ուսումնական ձեռնարկ.- Երևան: ՀՊՀՀ, 2005.- 190 էջ:
8. **Новиков И.И.** Теория термической обработки металлов: Учебник.- Изд. 3-е.-М.: Металлургия, 1978.- 392 с.
9. **Гуляев А.П.** Металловедение.- М.: Металлургия, 1986.- 541 с.
10. **Մամյան Ս.Գ.** Ջերմամեխանիկական մշակմամբ ամրացված փոշեհամասեր և բազմաշերտ արդյունաբերական պողպատների և քվադրկոմպոզիտների ստեղծումը. Դոկտորական ատենախոսության սեղմագիր.- Երևան, 2003.- 32 էջ:
11. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник/ **Г.В. Борисенко, Л.А. Сасильев, Л.Г. Ворошин и др.**- М.: Металлургия, 1981.- 424 с.
12. ГОСТ 5950-2000.- Межгосударственный стандарт. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали.- Минск, 2001.- 36 с.

13. РТМ2 Н51-2-86. Новая закалочная среда на основе наиритового латекса и методы контроля.- М.: ВНИИТМР, 1987.- 16 с.
14. Гуляев А.П., Маликина К.А., Саверина С.М. Инструментальные стали: Справочник.- Изд. 2-е.- М.: Машиностроение, 1975.- 272 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.11.2019:

С.Г. АГБАЛЯН, Р.С. ПАПОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ ШАРОВ ИЗ СТАЛИ МАРКИ ХГС В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАИРИТОВОГО ЛАТЕКСА

Изучение отечественной и зарубежной литературы показало, что процесс закали в полимерных растворах исследован недостаточно, отсутствует информация о стабильности полимерных систем, а также нет технических данных относительно воздействия, способности охлаждения и появления активных излишеств на поверхности материала во время закали.

При помощи пакета LabViem создана программа, позволяющая автоматически считывать и проектировать график температуры в зависимости от времени, а также построить С-образные кривые для литых шаров из стали марки ХГС. Это дало возможность проводить исследование процесса закали в различных средах. Исследования показали, что зарубежное минеральное масло, используемое ранее и по настоящее время, можно заменить водным раствором латекса.

Ключевые слова: сталь, шар, закали, наиритовый латекс, охлаждающие кривые, аустенит, мартенсит, прокаливаемость, твердость.

S.G. AGHBALYAN, R.S. PAPOYAN

INVESTIGATING THE QUENCHING PROCESS OF XГC STEEL BALLS IN AQUEOUS SOLUTION OF THE NAIRIT LATEX

The study of local and foreign literature has shown that the quenching process in latex solutions has not been investigated sufficiently, there is no information about the stability of polymeric systems, as well as there are no technical data regarding the impact, freezing abilities and appearance of active excess materials on the material surface at quenching.

A program has been created by the LabViem packet, which allows to automatically calculate and design the graph of temperature depending on time, and to draw C-shaped curves for the cast balls of the XГC steel. This gave an opportunity to investigate the process of quenching in different environments. The investigations have shown that the mineral oils used in the past and are still being used, can be replaced by latex aqueous solutions.

Keywords: steel, ball, quenching, nairit latex, freezing curves, austenite, martensite, hardenability, hardness.

Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ՇԵՐՏԱՎՈՐ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՈՒՄԱՆ ԳՈՐԾԵԼԹԱՅԻ ՄԵՏԱՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

Կատարվել է պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող (ինտերմետաղական ֆազեր) և դիսպերս հատիկներով ամրացվող բարձրամուր ու բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված շերտավոր (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{10}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{10}$) փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի մետաղագիտական հիմնավորում: Ցույց է տրված, որ տաք արտամղման ժամանակ անցումային շերտում կոմպոնենտների դիֆուզիայի շնորհիվ, որը կախված է արտամղման գործակցից և ջերմաստիճանից, մեծանում է անցումային շերտի կցման ամրությունը: Հետագա թրծմամբ կառուցվածքը բերվում է հավասարակշռված վիճակի, իսկ միսմամբ, սառը ճնշմամբ մշակմամբ և ծերացմամբ ապահովվում են բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ արտաքին շերտ - $\sigma_s=550...600$ ՄՊա, $HB=1550...1850$ ՄՊա, $\delta=10...20\%$, ներքին շերտ - $\sigma_s=900...950$ ՄՊա, $HB=2500...2600$ ՄՊա, $\delta=10...15\%$: Արդյունքում ապահովվում են արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Գմ) և էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$ -ը, իսկ ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև $500^\circ C$:

Առանցքային բառեր. բովախատնուրդ, մամլում, եռակալում, տաք արտամղում, փոշեկոմպոզիտային նյութ, դիֆուզիա, միում, ծերացում, դիսպերս կարծրացում և ամրացում, էլեկտրահաղորդականություն, ջերմակայունություն:

Ներածություն. Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման գերակա ուղղություններից են մետալուրգիան և մետաղական հիմքով նոր համաձուլվածքների ու կոմպոզիտային նյութերի ստեղծումը, այդ թվում՝ շերտավոր կառուցվածքով, առանց որոնց անհնար է պատկերացնել տեխնիկական առաջընթացը, հատկապես հատուկ տեխնիկայում: Այս ոլորտում ավելի մեծ տեղ է հատկացվում մետաղական հիմքով բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակությամբ կոմպոզիտային նյութերին (ԿՆ), ինչպիսիք են դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող պղնձյա փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է հատկապես էլեկտրատեխնիկական արդյունաբերությունում, այդ թվում՝ կոնսակտային եռակցման էլեկտրոդների արտադրությունում, որոնց ներկայացվող պահանջներ են բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմակայունությունը [1-4]: Նշված հատկությունների ապահովման համար օգտագործվող նախապատրաստվածքները պետք է ունենան անձակոտկեն և շերտավոր կառուցվածք, որում արտաքին շերտը կապահովի բարձր

Էլեկտրահաղորդականություն, իսկ ներքին շերտը՝ բարձր ջերմակայունություն: Այսպիսի կառուցվածք գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն փոշեմետալուրգիական եղանակներով՝ օգտագործելով տաք արտամղման գործընթացը որպես կոմպակտավորման լավագույն մեթոդ [5]: Սակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չէ պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման ժամանակ կառուցվածքագոյացման գործընթացը, չկան մետաղագիտական խոր հետազոտություններ, որոնք կհիմնավորեն անցումային շերտում կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորումը: Այս տեսակետից առաջարկվող աշխատանքն արդիական է և կարող է նոր հեռանկարներ բացել տաք արտամղման գործընթացի ներդրման, ինչպես նաև ֆունկցիոնալ հատկություններով նոր կոմպոզիտային նյութերի մշակման բնագավառում:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման ժամանակ անցումային շերտի կառուցվածքագոյացման գործընթացը և կատարել մետաղագիտական հիմնավորում:

Հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծության արդյունքում [6-10] պարզվել է, որ բարձր կարծրությամբ, ամրությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ, ջերմահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնք կարող են կիրառվել կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների համար, պետք է լինեն պղնձի հիմքով և բաղկացած մակերևութային շերտից ու միջուկից, որոնց մայրակի կարծրացումը և ամրացումը պետք է կատարվի ջերմամշակմամբ [11]՝ դիսպերս մասնիկներով (ինտերմետաղական ֆազերով) կարծրացման և դիսպերս հատիկներով ամրացման մեխանիզմներով: Մակերևութային շերտի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը պետք է ապահովեն պղնձի հիմքով ցածր լեգիրված, իսկ միջուկի բարձր մեխանիկական հատկությունները և ջերմակայունությունը՝ պղնձի հիմքով բարձր լեգիրված անձակոտկեն կառուցվածքով կոմպոզիտային նյութերը: Բարձր արդյունավետության հասնելու համար անհրաժեշտ է ապահովել ամուր կապ «արտաքին շերտ-միջուկ» անցումային շերտում:

Նշված խնդիրները կարող են լավագույն լուծում գտնել միայն փոշեմետալուրգիական մեթոդներով, հատկապես ծակոտկեն շերտավոր մամլվածքների տաք արտամղմամբ, երբ եռակալումը և կառուցվածքի ձևավորումը համատեղվում են [10]:

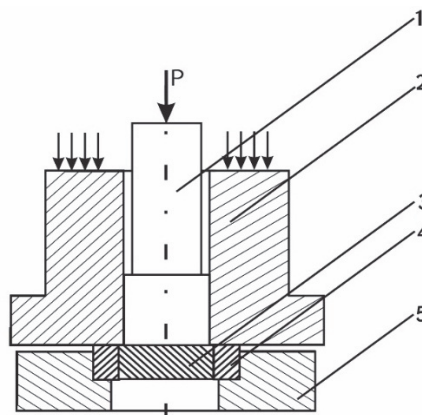
Հետազոտությունների ընթացքում կիրառվել են մետաղագրական, ռենտգենակառուցվածքային և համեմատական վերլուծությունների մեթոդները:

Կատարվել է ելանյութերի ընտրում և հիմնավորում: Արտաքին և ներքին շերտերի համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել և հիմնավորվել է ПМС-1 մակ-

նիշի պղնձափոշին, իսկ որպես լեգիրող տարրեր՝ PX1C մակնիշի քրոմի և ПЦ1 մակնիշի ցիրկոնիումի փոշիները: Ներքին շերտի համար լրացուցիչ ընտրվել են նաև ПНЭ-1 մակնիշի նիկելի և АПС-1А մակնիշի ալյումինի փոշիները:

Հետազոտության արդյունքները. Տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում որոշվել և հիմնավորվել են շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի՝ կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդի, արտաքին և ներքին շերտերի բաղադրությունները՝ արտաքին շերտ - $1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{սն}}$, ներքին շերտ - $13\%\text{Ni}+3\%\text{Al}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_{\text{սն}}$ [12]: Այնուհետև արտաքին շերտի բովախառնուրդից երկկողմանի մամլմամբ՝ $P_{\text{տ}}=300 \text{ ՄՊա}$ ճնշմամբ, պատրաստվել են սնամեջ գլանական ($D_{\text{ա}}=29,5 \text{ մմ}$, $D_{\text{ն}}=21,5 \text{ մմ}$, $H=50 \text{ մմ}$, $\theta=20\%$), իսկ միջուկի բովախառնուրդից՝ գլանական փորձանմուշներ ($D_{\text{ա}}=21 \text{ մմ}$, $H=50 \text{ մմ}$, $\theta=20\%$), որից հետո մամլվածքներն իրար մեջ հավաքելուց, $P_{\text{տ}}=320 \text{ ՄՊա}$ ճնշմամբ վերամամլումից և ջրածնի միջավայրում $900\ldots 950^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում $1\ldots 1,5$ ժ եռակալելուց հետո ենթարկվել են տաք արտամղման մայրակի $2\alpha_{\text{ս}}=110^\circ$ և $\lambda=2\ldots 6$ արտամղման գործակցով:

Ուսումնասիրվել է տաք արտամղումից հետո թրծված ($T_{\text{թ}}=675 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{թ}}=1 \text{ ժ}$) և ջերմամշակված (մխում՝ $T_{\text{մ}}=1000 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{մ}}=2 \text{ ժ}$, ծերացում՝ $T_{\text{ծեր}}=425 \pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{ծ}}=6 \text{ ժ}$) փորձանմուշների անցումային շերտի կցման ամրությունը, որի որոշման համար փորձանմուշները ենթարկվել են կտրմամբ փորձարկման: Այդ նպատակով նախագծվել և պատրաստվել է հատուկ հարմարանք (նկ. 1): Փորձարկումների համար օգտագործվել են $h=5 \text{ մմ}$ բարձրությամբ փորձանմուշներ, իսկ փորձարկումը կատարվել է «TIRATEST- 2300» մակնիշի մեխանիկական փորձարկման մեքենայի վրա:



Նկ. 1. Շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի շերտերի կցման ամրության փորձարկման հարմարանք.

1- մամլամատ, 2- ուղղորդ մայրակ, 3- ներքին շերտ, 4- արտաքին շերտ, 5- մայրակ

Կցման ամրությունը որոշվել է հետևյալ բանաձևով.

$$\tau_{կտ} = P/\pi dh,$$

որտեղ P-ն ուժն է, d-ն՝ միջուկի տրամագիծը, h-ը՝ փորձանմուշի բարձրությունը:

Փորձերի արդյունքները բերված են աղ. 1-ում և 2-ում: Համաձայն բերված տվյալների, $\lambda=3$ և ավելի արտամղման գործակիցների դեպքում անցումային շերտի կցման ամրությունը պրակտիկորեն չի փոխվում: Շերտերի կցման ամրությունը ($\tau_{կց}$) ջերմամշակված փորձանմուշի դեպքում միջինը 40-ից 45 ՄՊա բարձր է, քան թրծվածի դեպքում, ինչը բացատրվում է թրծումից հետո ներքին լարումների ռե-լաքսացիայով և τ հավասարակշռված կառուցվածքի ստացմամբ:

Աղյուսակ 1

Տաք արտամղմամբ ստացված ($T_w=900^\circ\text{C}$, $\tau_w=1,5\text{ժ}$) 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (ներքին շերտ) բաղադրությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի անցումային շերտի կցման ամրությունը թրծումից հետո ($T_p=675\pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_p=1\text{ժ}$)

Արտամղման գործակիցը՝ λ	2	3	4	5	6
Կցման ամրությունը՝ $\tau_{կց}$, ՄՊա	480 475 487	485 492 497	489 491 500	496 493 498	485 487 490

Աղյուսակ 2

Տաք արտամղմամբ ստացված ($T_w=900^\circ\text{C}$, $\tau_w=1,5\text{ժ}$) 1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (արտաքին շերտ) և 13%Ni+3%Al+1,0%Cr+0,8%Zr+Cu_{մն} (ներքին շերտ) բաղադրությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի անցումային շերտի կցման ամրությունը ջերմամշակումից հետո (մխում - $T_d=1000\pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_d=2\text{ժ}$, ծերացում - $T_{ծեր}=425\pm 25^\circ\text{C}$, $\tau_{ծ}=6\text{ժ}$)

Արտամղման գործակիցը՝ λ	4	6
Կցման ամրությունը՝ $\tau_{կց}$, ՄՊա	544 542 534	534 520 515

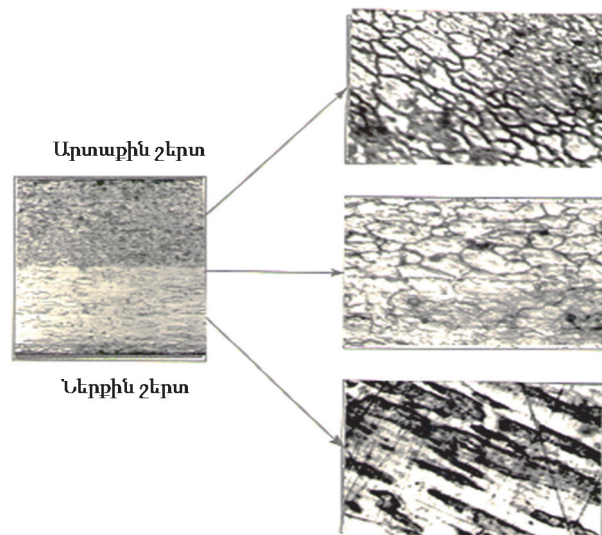
Փորձերը ցույց են տալիս, որ կտրումը կատարվում է բաժանման հարթությամբ, և հատված շերտը շատ քիչ է տարբերվում արտաքին շերտի ամրությունից, որը կազմում է $\sigma_{\delta}=550\dots 600$ ՄՊա:

Միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության արդյունքում բացահայտվել է, որ ներքին շերտից արտաքին շերտ նիկելի դիֆուզման արդյունքում առաջա-

նում է դիֆուզված շերտ, որի հաստությունն աճում է արտամղման գործակցի մեծացմամբ: Նիկելի դիֆուզիայի արդյունքում առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ, որի խորությունն աճում է 6 մկմ-ից ($\lambda=1,58$) մինչև 17 մկմ ($\lambda=3,74$): Al-ի դիֆուզիայի դեպքում նույնպես առաջանում է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթ: Cu և Ni լուծվելիությունները $\lambda=3,74$ -ի դեպքում հասնում է $\sim 3,0\%$ -ի: Համապատասխանաբար մեծանում է նաև լուծված շերտի խորությունը՝ $\lambda=1,58$ -ի դեպքում 17 մկմ-ից մինչև 22 մկմ $\lambda=3,74$ -ի դեպքում, հետևաբար՝ աճում է նաև երկմետաղի շերտերի կցման ամրությունը կտրմամբ:

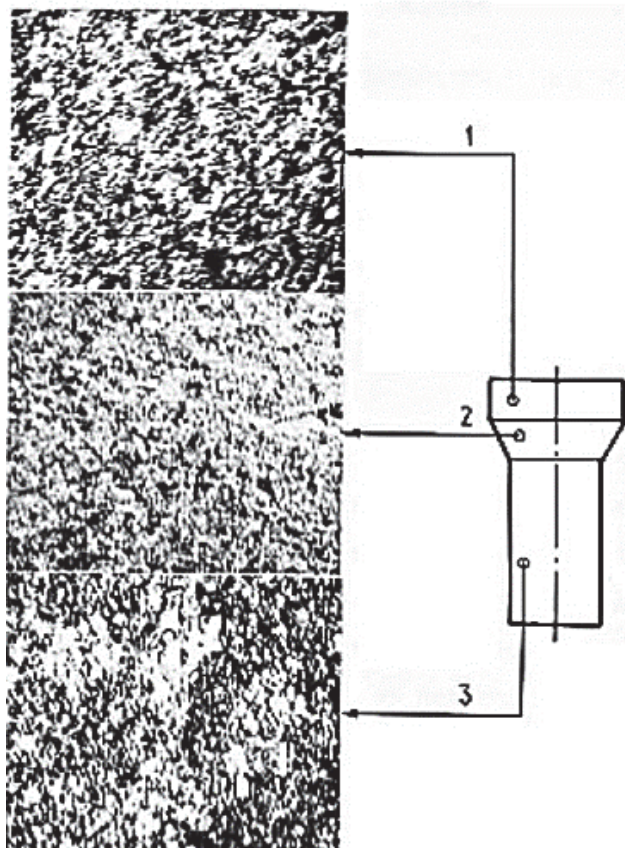
Մետաղագիտական հետազոտությունների համար ընտրված ռեժիմներով տաք արտամղված ($T_w=900\dots 950^\circ C$, $\tau_w=1\dots 1,5$ ժ, $\lambda=4$), չթրծված և թրծված ($T_p=675 \pm 25^\circ C$, $\tau_p=1$ ժ) նախապատրաստվածքից պատրաստվել են հղկուկներ, որոնք խաճատվել են 10%-անոց HNO_3 սպիրտային լուծույթով: Հղկանմուշների մետաղագիտական հետազոտությունները կատարվել են NEOPHOT-21 մակնիշի գերմանական արտադրության օպտիկական մանրադիտակով:

Նկ. 2-ում ցույց է տրված անցումային շերտի միկրոկառուցվածքը, համաձայն որի անցումային շերտում չկա ընդհանուր հատիկ, միաժամանակ ներքին շերտի կառուցվածքն ավելի մանրահատ է, քան արտաքին շերտինը: Խիստ կարևոր բնութագիր է շերտերի բաժանման սահմանի ուղղագծայնությունը, որը պահպանվում է փորձանմուշի ամբողջ երկայնքով:



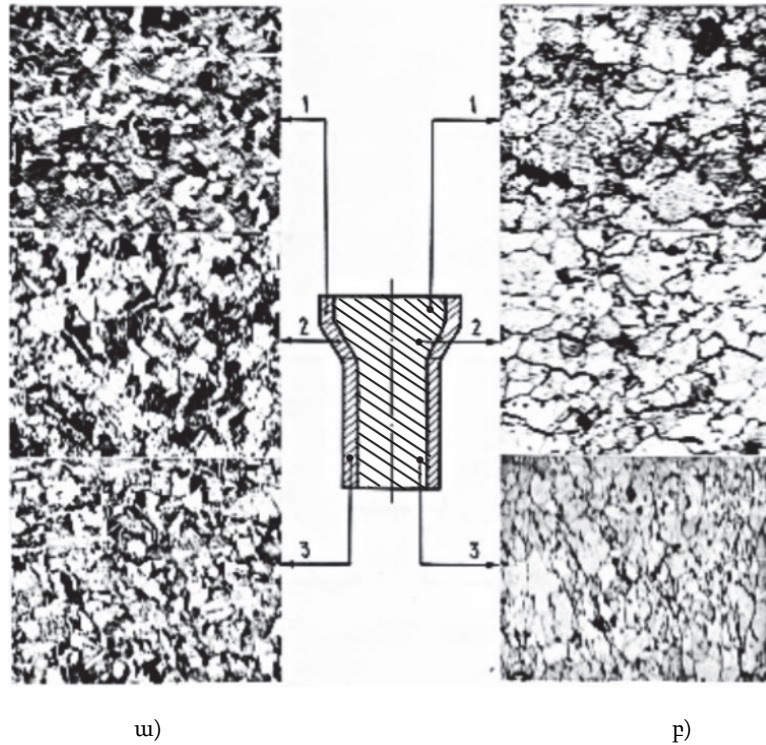
Նկ. 2. $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$ (արտաքին շերտ) և $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{մն}$ (ներքին շերտ) կառուցվածքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի անցումային շերտերի միկրոկառուցվածքները տաք արտամղումից հետո ($\lambda=4$, $T_w=900\dots 950^\circ C$, $\tau_w=1\dots 1,5$ ժ)՝ չթրծված վիճակում ($\times 250$)

Տաք արտամղման ժամանակ, կառուցվածքագոյացման գործընթացի մետաղագիտական հիմնավորման նպատակով, հետազոտությունները կատարվել են արտամղված փորձանմուշի տարբեր տեղերում, որոնք դեֆորմացվել են տարբեր աստիճաններով: Նկ. 3-ում ցույց է տրված արտաքին շերտի ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մ}}$) միկրոկառուցվածքը տաք արտամղումից հետո: Այն ունի մանրահատիկ տեքստուրացված կառուցվածք: Ինչպես երևում է նկարից, դեֆորմացման տեղամասում հատիկներն ավելի մանրահատ են, քան մամլամնացորդի տեղամասում, ինչը պայմանավորված է առաջին տեղամասի ավելի մեծ ջերմատվությամբ՝ համեմատած երկրորդ տեղամասի հետ: Տեքստուրայի ուղղությունը համընկնում է տաք արտամղման ուղղությանը: Մամլամնացորդի տեղամասում հատիկներն ավելի խոշորահատիկ են:



Նկ. 3. Տաք արտամղմամբ ($T_{\text{մ}}=900\dots950^{\circ}C$, $\tau_{\text{մ}}=1\dots1,5\text{ժ}$, $\lambda=4$) ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի արտաքին շերտի ($1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{մ}}$) միկրոկառուցվածքը դեֆորմացման տարբեր տեղամասերում չթրծված վիճակում. 1- մամլամնացորդի տեղամաս, 2- դեֆորմացման տեղամաս, 3- մամլված նախապատրաստվածքի տեղամաս ($\times 200$)

Նկ. 4-ում ցույց է տրված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$) միկրոկառուցվածքը դեֆորմացման տարբեր տեղամասերում տաք արտամղումից ($T_w=900\ldots950^\circ C$, $\tau_w=1\ldots1,5$ ժ, $\lambda=4$) և թրծումից հետո ($T_p=675\pm25^\circ C$, $\tau_p=1$ ժ):



Նկ. 4. Տաք արտամղմամբ ($T_w=900\ldots950^\circ C$, $\tau_w=1\ldots1,5$ ժ, $\lambda=4$) ստացված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի (արտաքին շերտ - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$, ներքին շերտ - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{\text{տն}}$) միկրոկառուցվածքը թրծումից հետո ($T_p=675\pm25^\circ C$, $\tau_p=1$ ժ) դեֆորմացման տարբեր տեղամասերում. 1- մամլամնացորդի տեղամաս, 2- դեֆորմացման տեղամաս, 3- մամլված նախապատրաստվածքի տեղամաս, ա) արտաքին շերտ, բ) ներքին շերտ($\times 200$)

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, թրծման արդյունքում փորձանմուշի բոլոր տեղամասերում տեղի է ունեցել վերաբյուրեղացում: Մամլամնացորդի տեղամասում առկա է որոշակի ծակոտկենություն, որի առկայությունը մամլված նախապատրաստվածքում իսպառ վերանում է, ընդ որում, որքան մեծ է արտամղման գործակիցը, անքան փոքր է ծակոտկենությունը: Արտամղման ջերմաստիճանում արտաքին և ներքին շերտերի հոսունության սահմանների տարբերության պատճառով մամլամնացորդի ներքին շերտում մնացորդային ծակոտկենությունն ավելի մեծ է, քան արտաքին շերտում:

Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ մշակված շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի արտաքին շերտի ($1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$ բաղադրությամբ) կառուցվածքը թրծումից ($T_p = 675 \pm 25^\circ C$, $\tau_p = 1$ ժ), մխումից ($T_{\text{մ}} = 1000 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{մ}} = 2$ ժ) և ծերացումից ($T_{\text{ծ}} = 425 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{ծ}} = 6$ ժ) հետո եռաֆազ է և բաղկացած է պղնձի հիմքով պինդ լուծույթից (Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից և Cu_5Zr ինտերմետաղական ֆազից, իսկ ներքին շերտի ($13\%Ni + 3\%Al + 1,0\%Cr + 0,8\%Zr + Cu_{\text{մ}}$ բաղադրությամբ) կառուցվածքը բազմաֆազային է՝ բաղկացած պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթից (Ni-ի, Al-ի, Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից, Cu_5Zr , Ni_3Al և $NiAl$ ինտերմետաղական ֆազերից, ընդ որում, պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթի մայրակն (արտաքին շերտ) ապահովում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն (պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$) և մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\text{ծ}} = 550 \dots 600$ ՄՊա, $HB = 1550 \dots 1850$ ՄՊա, $\delta = 10 \dots 20\%$), իսկ պղնձի հիմքով α պինդ լուծույթի մայրակը (ներքին շերտ)՝ բարձր մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\text{ծ}} = 900 \dots 950$ ՄՊա, $\delta = 10 \dots 15\%$, $HB = 2500 \dots 2600$ ՄՊա) և ջերմակայունություն մինչև $500^\circ C$: Ստացված փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրումը ցույց է տալիս, որ ծակոտկեն շերտավոր մամլվածքի տաք արտամղումն ապահովում է գործնականում անծակոտկեն կառուցվածք, իսկ հետագա ջերմային մշակումը՝ պահանջվող ֆիզիկամեխանիկական հատկություններ:

Եզրակացություն. Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում հիմնավորվել է պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութի ստացման տաք արտամղման մեթոդը: Տաք արտամղված ($T_{\text{ա}} = 900 \dots 950^\circ C$, $\tau_{\text{ա}} = 1 \dots 1,5$ ժ, $\lambda = 4$), թրծված ($T_p = 675 \pm 25^\circ C$, $\tau_p = 1$ ժ) և ամրացնող ջերմային մշակման ենթարկված ($T_{\text{մ}} = 1000 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{մ}} = 2$ ժ, $T_{\text{ծ}} = 425 \pm 25^\circ C$, $\tau_{\text{ծ}} = 6$ ժ) պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերն ապահովում են ինչպես անցումային շերտի բարձր կցման ամրություն $\tau_{\text{կց}} = 534 \dots 544$ ՄՊա, այնպես էլ շերտերի բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ արտաքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}} = 550 \dots 600$ ՄՊա, $HB = 1550 \dots 1850$ ՄՊա, $\delta = 10 \dots 20\%$, ներքին շերտ - $\sigma_{\text{ծ}} = 900 \dots 950$ ՄՊա, $\delta = 10 \dots 15\%$, $HB = 2500 \dots 2600$ ՄՊա: Մշակված շերտավոր կոմպոզիտային նյութն ունի արտաքին շերտի բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi = 70$ Վտ/Գ.մ), էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի էլեկտրահաղորդականության $\sim 80\%$ -ը և ներքին շերտի ջերմակայունություն մինչև $500^\circ C$:

Հետազոտությունը կատարվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բաժանի գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Николаев А.К., Розенберг В.М.** Сплавы для электродов контактной сварки.- М.: Металлургия, 1978.- 96 с.
2. **Агбальян С.Г., Василян Г.А., Бояджян С.Г., Саркисян А.Р.** Сплавы для электродов контактной сварки // Вестник ГИУА. Серия “Металлургия, материаловедение, недропользование”.- Ереван, 2014.- Вып. 17, № 2.- С.9-30.
3. Դիսպերս մասնիկներով ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերը և դրանց ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները / **Ս.Գ. Աղբալյան, Գ.Ա. Վասիլյան, Վ.Գ. Վարդանյան, Ա.Ռ. Սարգսյան, Ս.Գ. Բոյաջյան** // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2015.- Հատ. LXVIII, №1.- էջ 3-10:
4. Դիսպերս հատիկներով ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերը և դրանց ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները / **Ս.Գ. Աղբալյան, Գ.Ա. Վասիլյան, Վ.Գ. Վարդանյան, Ա.Ռ. Սարգսյան, Ս.Գ. Բոյաջյան** // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան, 2015.- էջ 541-547:
5. **Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ.** Բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2017.- Հատ. LXX, №4.- էջ 411-419:
6. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**.- М.: Мир, 1970.- 672 с.
7. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
8. **Ковальченко М.С.** Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением.- Киев: Наукова думка, 1980.- 240 с.
9. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 230 с.
10. **Агбальян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33 с.
11. **Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ.** Պղնձի հիմքով բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2019.- Հատ. LXXII, №4.- էջ 450-458:
12. **Աղբալյան Ս.Գ., Սարգսյան Ա.Ռ.** Պղնձի հիմքով շերտավոր փոշեկոմպոզիտային նյութերի տաք արտամղման գործընթացի հետազոտումը // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր.- Երևան, 2017.- Հատ. 14, №4.- էջ 586-592:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.02.2020:

А.Р. САРКИСЯН

**МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ
ЭКСТРУЗИИ СЛОИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ**

Осуществлено металлургическое обоснование процесса горячей экструзии слоистых порошковых композиционных материалов (внешний слой - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ост}$, внутренний слой - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{ост}$) на основе меди, обладающих высокой электропроводимостью и теплостойкостью, твердеющих дисперсными частицами (интерметаллическая фаза) и упрочненными дисперсными зёрнами. Показано, что при горячей экструзии в переходном слое в результате диффузии компонентов, в зависимости от коэффициента вытяжки и температуры экструзии, повышается прочность сцепления слоя. При последующем отжиге структура приводится в равновесное состояние, а после закалки, холодной обработки давлением и последующего старения обеспечиваются высокие механические свойства: внешний слой - $\sigma_B=550...600 \text{ МПа}$, $HB=1550...1850 \text{ МПа}$, $\delta=10...20\%$; внутренний слой - $\sigma_B=900...950 \text{ МПа}$, $HB=2500...2600 \text{ МПа}$, $\delta=10...15\%$. В итоге во внешнем слое обеспечиваются высокие теплопроводность ($\chi=70 \text{ Вт/К.м}$) и электропроводность: электропроводность меди составляет $\sim 80\%$, а теплостойкость внутреннего слоя - до $500^\circ C$.

Ключевые слова: шихта, прессование, спекание, горячая экструзия, порошковый композиционный материал, диффузия, закалка, старение, дисперсионное твердение и упрочнение, электропроводность, теплостойкость.

A.R. SARGSYAN

**METALLOGRAPHIC SUBSTANTIATION OF THE PROCESS OF HOT
EXTRUSION OF LAYERED POWDER COMPOSITE MATERIALS BASED ON
COPPER**

The metallographic substantiation of the process of hot extrusion of layered powder composite materials (outer layer - $1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{rem}$, inner layer - $13\%Ni+3\%Al+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu_{rem}$) is carried out based on copper, having high electrical conductivity and heat resistance, hardened with dispersed particles (intermetallic phase) and strengthened with dispersed grains. It is shown that during hot extrusion in the transition layer, due to the diffusion of components, depending on the extrusion coefficient and temperature, the adhesion strength of the layer increases. At the subsequent firing, the structure is brought into equilibrium, and after processing with cold pressure, hardening and aging, high mechanical properties are provided: the outer layer - $\sigma_{temp}=550...600 \text{ MPa}$, $HB=1550...1850 \text{ MPa}$, $\delta=10...20\%$, the inner layer - $\sigma_{temp}=900...950 \text{ MPa}$, $HB=2500...2600 \text{ MPa}$, $\delta=10...15\%$. As a result, high thermal ($\chi=70 \text{ Wt/K.m}$) conductivity and electrical conductivity are provided amounting to $\sim 80\%$ of the electrical conductivity of the copper of the outer layer and heat resistance up to $500^\circ C$ of the inner layer.

Keywords: charge, pressing, sintering, hot extrusion, powder composite material, diffusion, quenching, aging, dispersion hardening and strengthening, electrical conductivity, heat resistance.

Ս.Վ. ԱՆՏՈՆՅԱՆ, Գ.Ա. ԾԱՏՈՒՐՅԱՆ, Լ.Ռ. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

**ԲՋՋԱՅԻՆ ԿԱՊԻ 5-ՐԴ ՄԵՐՆԴԻ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒԺԵՂԱՐԱՐՆԵՐԻ
ՍՈՒՏՔԱՅԻՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ԹՎԱՅԻՆ ԱՂԱՎԱՂՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

5-րդ սերնդի բջջային կապի համակարգերում ի հայտ եկող խնդիրների լուծման համար հզորության ուժեղարարների (ՀՈԻ) պարամետրերի բարելավման նպատակով անհրաժեշտ է ուժեղարարներում առկա մի շարք խնդիրների լուծում: Ներկայացվում են LabVIEW ծրագրային միջավայրում հզորության ուժեղարարի մուտքային ազդանշանի թվային աղավաղման եղանակի մոդելավորման, ինչպես նաև վեկտորային հաղորդիչ-ընդունիչ սարքի միջոցով ուժեղարարի ելքային պարամետրերի չափման արդյունքները: Բերված են ծրագրի դիմային պանելը և գրաֆիկների տեսքով հաշվարկային արդյունքները:

Առանցքային բառեր. 5-րդ սերնդի բջջային կապի համակարգ (5G), հզորության ուժեղարար, մուտքային ազդանշանի թվային աղավաղման եղանակ, Digital PreDistortion (DPD), OFDM, PAPR:

Ներածություն. Օրթոգոնալ հաճախային տարանջատմամբ մուլտիպլեքսավորումը (OFDM) 5-րդ սերնդի կապի համակարգերի բարձր տեսակի մոդուլացման եղանակն է, որն առանձնանում է բարձր արդյունավետությամբ և փոքր հապաղումով: Այնուամենայնիվ, OFDM համակարգում ի հայտ են գալիս խնդիրներ, որոնցից մեկը ազդանշանի առավելագույն և միջին հզորությունների հարաբերակցության (PAPR) բարձր արժեքն է: PAPR-ը ներկայացվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq NT} |x(t)|^2}{P_{avg}}, \quad (1)$$

որտեղ P_{avg} -ը $x(t)$ ազդանշանի միջին հզորությունն է:

PAPR բարձր արժեք ունեցող ազդանշանների զծային ուժեղացման համար օգտագործվում են ազդանշանների մինչմուտքային աղավաղումներ (DPD) մտցնող սարքեր, ինչը թույլ է տալիս ընդլայնել ուժեղարարի բնութագրի զծային տեղամասը:

ՀՈԻ-ի անցումային բնութագրի զծային տեղամասի ընդլայնումը հանգեցնում է ՀՈԻ-ի արդյունավետության բարձրացմանը:

Ենթադրենք ՀՈԻ-ի բնութագիրն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$v_0 = a_1 v_{\omega\eta} + a_3 v_{\omega\eta}^3, \quad (2)$$

որտեղ $v_{\omega\eta}$ -ը ուժեղարարի մուտքային աղավաղված լարումն է և միաժամանակ մինչմուտքային աղավաղող շղթայի (ՄՄԱՇ) ելքային լարումը, որը ներկայացվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$v_{\omega\eta} = b_1 v_{\omega} + b_3 v_{\omega}^3: \quad (3)$$

Հետևաբար, ՀՈԻ-ի բնութագիրը կունենա հետևյալ տեսքը:

$$v_0 = a_1(b_1 v_{\omega} + b_3 v_{\omega}^3) + a_3(b_1 v_{\omega} + b_3 v_{\omega}^3)^3: \quad (4)$$

Որոշ ձևափոխություններից հետո ստացվում է՝

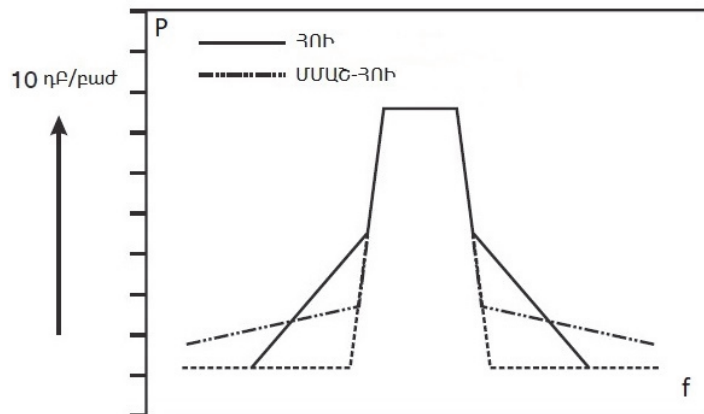
$$v_0 = a_1 b_1 v_{\omega} + (a_1 b_3 + a_3 b_1) v_{\omega}^3 + 3 a_3 b_1^2 b_3 v_{\omega}^5 + 3 a_3 b_3^2 b_1 v_{\omega}^7 + a_3 b_3^3 v_{\omega}^9: \quad (5)$$

(5)-ից հետևում է, որ ելքային ազդանշանի ոչ գծային 3-րդ բաղադրիչը կգրոյանա, եթե ՄՄԱՇ-ն աղավաղի $b_3 = -\frac{a_3 b_1}{a_1}$ օրենքով: Ինչպես տեսնում ենք, ելքում ՀՈԻ-ի 3-րդ գրոյացած բաղադրիչից բացի, առաջանում են նաև ավելի բարձր կարգի ոչ գծային բաղադրիչներ, ինչը մինչմուտքային աղավաղող շղթայի գլխավոր թերությունն է:

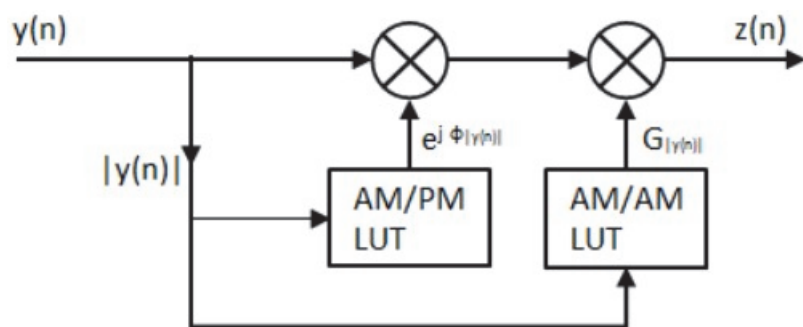
Այսպիսով, աղավաղող մուտքային շղթա-ՀՈԻ համակցությունը ստեղծում է ազդանշանի այնպիսի աղավաղումներ, որոնք, որպես կանոն, չեն առաջանում «միայն ՀՈԻ» համակարգում [1]:

Արդյունքում, չնայած մինչմուտքային աղավաղող շղթան գեներացնում է ազդանշանի ավելի բարձր կարգի աղավաղումներ, սակայն նրա ելքային ազդանշանի սպեկտրալ հզորությունը մնում է հավասար այն ազդանշանի սպեկտրալ հզորությանը, որն առաջանում էր «միայն ՀՈԻ» համակարգի ելքում (նկ. 1):

Գոյություն ունի մինչմուտքային աղավաղման 2 հիմնական եղանակ: **Առանց հիշողության եղանակի** մոդելի դեպքում ենթադրվում է, որ ՀՈԻ-ի բնութագրերը ժամանակի ընթացքում չեն փոխվում: ՀՈԻ-ի ելքային ազդանշանը կախված է միայն մուտքին կիրառված լարումից և ՀՈԻ-ի անցումային բնութագրից: Ակնթարթային ոչ գծայնությունը սովորաբար բնութագրվում է ՀՈԻ-ի ամպլիտուդ/ամպլիտուդ (AM/AM) և ամպլիտուդ/փուլ (AM/PM) բնութագրերով, որոնք ելքային ազդանշանի ամպլիտուդի և փուլային շեղման կախվածություններն են մուտքային ազդանշանի ամպլիտուդից: Առանց հիշողության մոդելի դեպքում ՀՈԻ-ի անցումային բնութագրի ոչ գծայնությունն ապահովող գործակիցներին (բանաձև (2)) համապատասխանող հակադիր արժեքները գրանցվում են հիշողության մեջ (Look-Up Table, LUT) և տրվում են ՀՈԻ-ին: Նկ 2-ում բերված է առանց հիշողության մոդելի կառուցվածքային սխեման:



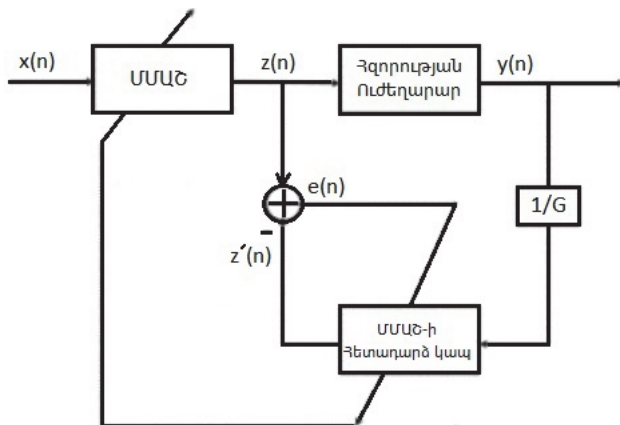
Նկ. 1. Սպեկտրալ հզորությունների բաշխվածությունը միայն-ՀՈԻ և ՄՄԱՇ-ՀՈԻ համակարգերում



Նկ. 2. Առանց հիշողության մոդելի կառուցվածքային սխեման

Մինչնուտքային աղավաղման **հիշողության մոդելը** հիմնականում օգտագործվում է բավականին լայն սպեկտրով ազդանշանների դեպքում՝ մինչև 400 ՄՀ, 5 ենթակրողների միացությունով (WCDMA, բջջային WiMAX, 3GPP LTE, 5G NR ստանդարտների համար): Մեծ թողարկման շերտի դեպքում ՀՈԻ-ն դրսևորում է հիշողության հատկություն: Սա հատկապես ճիշտ է անլար բազային կայաններում օգտագործվող մեծ հզորությամբ ՀՈԻ- երի դեպքում: Հիշողության հատկությունները պայմանավորված են ակտիվ տարրերի ջերմային գործակիցներով, որոնք փոփոխվում են հաճախությունից: Արդյունքում՝ ելքային լարումը կախված է ոչ միայն մուտքային լարման առկա, այլ նաև ելքային լարման նախորդ արժեքներից: Այլ կերպ ասած՝ ՀՈԻ-ի ոչ գծայնությունն ունի, այսպես կոչված, հիշողություն: Այդպիսի ՀՈԻ-ի դեպքում մինչնուտքային աղավաղման առանց հիշողության մոդելը կտա ՀՈԻ-ի ելքային բնութագրի ոչ բավարար գծայնացում: Հետևաբար, ՄՄԱՇ-ները պետք է ունենան հիշողության շղթաներ:

Մինչև մոտ քայլին աղավաղման հիշողության մոդելի ամենահայտնի ալգորիթմներից են Վոլտերրայի հաջորդականությունը և դրա ածանցյալները: Հիմնականում օգտագործվում է Վոլտերրայի հաջորդականությունը, սակայն գործակիցների մեծ քանակությունը պրակտիկ չէ: Գոյություն ունեն Վոլտերրայի հաջորդականության ածանցյալներ, որոնք ունեն համեմատաբար պարզ կառուցվածք: Դրանցից են Վիներ, Համմերսթայն, Վիներ-Համմերսթայն, զուգահեռ Վիներ և այլ կառուցվածքները: Այսպես կոչված՝ «հիշողության բազմանդամ» մոդելը Համմերսթայնի և Վիների մոդելի մասնավոր դեպքն է: Մինչև մոտ քայլին աղավաղման շղթայի հիշողության մոդելը կազմելու համար, գոյություն ունի 2 մոտեցում: Առաջին մոտեցման նպատակն է որոշել նախօրոք հայտնի պարամետրերով ՀՈԻ-ի հակադիր պարամետրերը և ՄՄԱՇ-ի նախագծումը: Եղանակը կոչվում է «նուդղակի սովորեցման ճարտարապետություն» (DLA): Այնուամենայնիվ, ՀՈԻ-ի հակադիր պարամետրերի որոշումը բարդ խնդիր է: Գոյություն ունի նաև պարզեցված «անուդղակի սովորեցման ճարտարապետություն» տարբերակը (IDLA), որի դեպքում նախ որոշվում է ՄՄԱՇ-ն, այնուհետև ընտրվում է նրան համապատասխանող ՀՈԻ (նկ. 3) [2]:



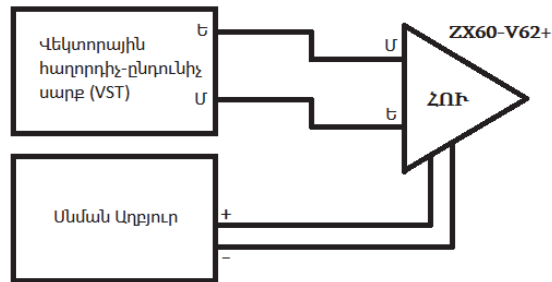
Նկ. 3. «Անուդղակի սովորեցման ճարտարապետություն»

Խնդրի դրվածքը. Հետագոտել մտցվող մինչև մոտ քայլին աղավաղումների ազդեցությունը հզորության ուժեղարարի բնութագրերի վրա՝ դրանց լավացման նպատակով: Հետագոտման ընթացքում օգտագործել հիշողությամբ (memory polynomial) և առանց հիշողության (Look-Up Table) աղավաղումներ մտցնելու եղանակները:

Հետագոտությունների արդյունքները. Նկ. 4-ում պատկերված է հետագոտվող համակարգի բոլոր-սխեման: Ուժեղարարի մուտքը միացվել է NI PXIe-5840 վեկտորային ընդունիչ-հաղորդչի RF_{out} ուղղուն, իսկ ելքը՝ RF_{in} -ին: Մտումը

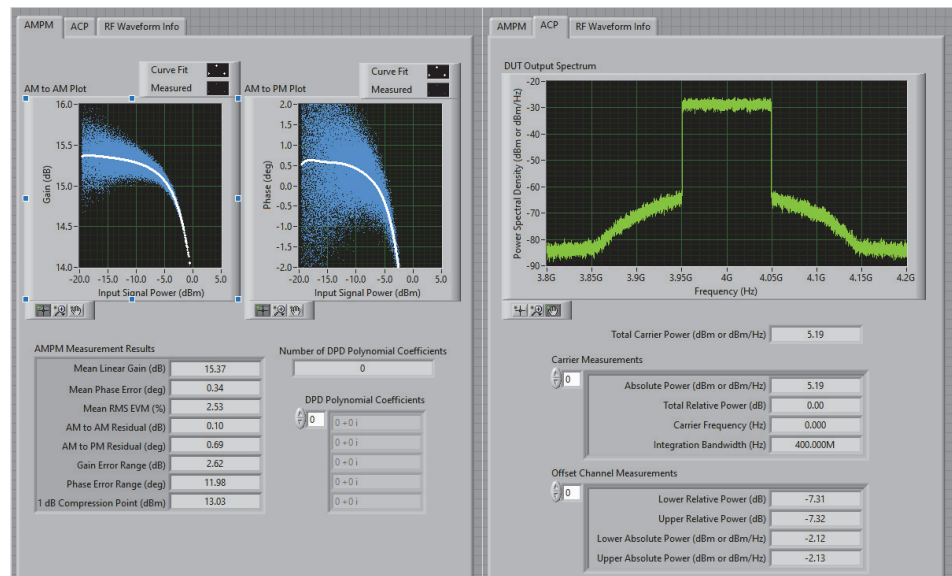
տրվել է NI PXI-4130 սնման լարմամբ: Որպես ՀՈՒ օգտագործվել է Minicircuit արտադրողի ZX60-V62+ մականիշի միկրոսխեման, որն աշխատում է մինչև 6 ԳՀց հաճախությունների տիրույթում՝ 15 ԴԲ առավելագույն ուժեղացման գործակցով:

Վեկտորային հաղորդիչ-ընդունիչ սարքի կառուցվածքը հնարավորություն է տալիս մտցնել մինչև մուտքային աղավաղումները ծրագրային եղանակով:



Նկ. 4. Համակարգի բլոկ-սխեման

Նկ. 5 ա-ում բերված են առանց մինչև մուտքային աղավաղումների օգտագործման հետազոտության արդյունքում ստացված ՀՈՒ-ի ուժեղացման գործակցի և ելքային ազդանշանի փուլի կախվածություն մուտքային ազդանշանի մակարդակից: Ուժեղարարի ելքային ազդանշանի սպեկտրալ խտությունը պատկերված է նկ. 5 բ-ում:

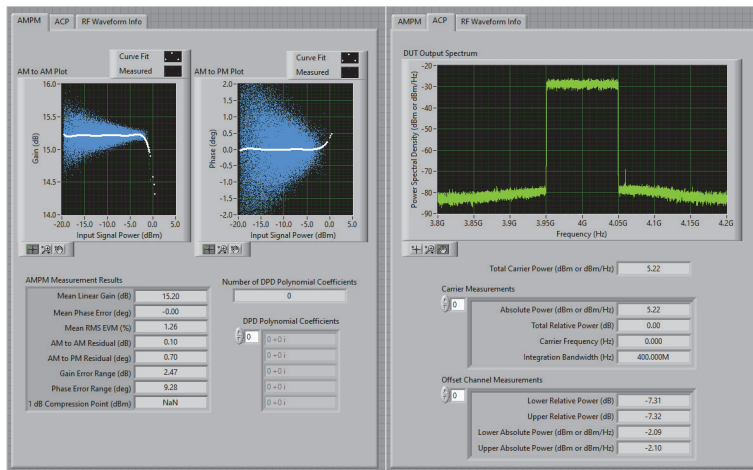


ա)

բ)

Նկ.5. Առանց մինչև մուտքային աղավաղումների ՀՈՒ-ի հետազոտման արդյունքները

Նկ. 6 ա և բ-ում բերված են մինչնուտքային աղավաղումներ մտցնելու արդյունքում հիշողության մոդելի համար ստացված ուժեղարարի բնութագրերը և ելքային ազդանշանի սպեկտրալ խտությունը:

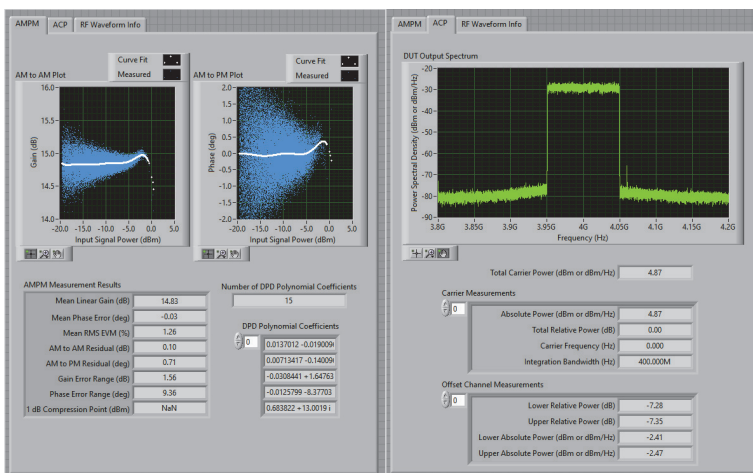


ա)

բ)

Նկ. 6. ա) և բ)-ում հիշողության մոդելի դեպքում մինչնուտքային աղավաղումների մտցման արդյունքում ուժեղարարի ստացված բնութագրերը

Նկ. 7 ա և բ-ում բերված են մինչնուտքային աղավաղումներ մտցնելու արդյունքում ստացված ուժեղարարի բնութագրերը և ելքային ազդանշանի սպեկտրալ խտությունը, որոնք ստացվել են առանց հիշողության մոդելի դեպքում:



ա)

բ)

Նկ. 7. ա) և բ)-ում առանց հիշողության մոդելի դեպքում մինչնուտքային աղավաղումներ մտցնելու արդյունքում ուժեղարարի ստացված բնութագրերը

Ինչպես երևում է նկ. 6-ում և 7-ում բերված արդյունքներից, մինչև մուտքային աղավաղումների ազդեցության դեպքում բարձրանում է ուժեղարարի ուժեղացման գործակցի գծայնությունը՝ մուտքային ազդանշանի փոփոխության ընտրված միջակայքում, և մոտավորապես 20 μ W-ով լավանում խանգարող հարևան ուղիների ընտրողականությունը:

Փորձը իրականացվել է սենյակային ջերմաստիճանային պայմաններում (+27 °C), ուժեղարարին տրվել է 5 Վ սնուցման լարում:

Եզրակացություն. LabVIEW ծրագրային միջավայրում կատարվել է հզորության ուժեղարարի մուտքային ազդանշանի թվային աղավաղման եղանակի մոդելավորումը՝ վեկտորային հաղորդիչ-ընդունիչ սարքի միջոցով ուժեղարարի ելքային պարամետրերի չափման նպատակով: Ստացվել են առանց մինչև մուտքային աղավաղումների և դրանց օգտագործման դեպքում ՀՈԻ-ի հետագոտության արդյունքում ստացված ուժեղացման գործակցի և ելքային ազդանշանի փուլի կախվածությունները մուտքային ազդանշանի մակարդակից, ինչպես նաև ելքային ազդանշանի սպեկտրալ խտությունը: Արդյունքների վերլուծության հիման վրա արվել է եզրակացություն, որ մինչև մուտքային աղավաղումներ մտցնելու արդյունքում բարձրանում են ՀՈԻ-ի ուժեղացման գծայնությունը և հարևան ուղիների ընտրողականությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Cripps Steve C.** RF Power Amplifiers for Wireless Communications. Second edition.- Artech House, 2006.- 404 p.
2. **Morgan Dennis R., Zhengxiang Ma** A Generalized Memory Polynomial Model for Digital Predistortion of RF Power Amplifiers // IEEE Transactions on signal processing.- 2006.- Vol. 54, NO. 10.- P. 3852-3860.

С.В. АНТОНЯН, Г.А. ЦАТУРЯН, Л.Р. МОВСИСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЦИФРОВОГО ИСКАЖЕНИЯ ВХОДНОГО СИГНАЛА УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Для решения проблем, возникающих в системах мобильной связи 5-го поколения, необходимо выполнить ряд задач для улучшения параметров усилителя мощности. Представлены результаты численного моделирования искажений входного сигнала усилителя мощности в программной среде LabVIEW, а также выходных параметров усилителя через векторный передатчик. Приведены передняя панель программы и результаты расчетов в графическом виде.

Ключевые слова: система мобильной связи 5-го поколения (5G), усилитель мощности, метод цифрового искажения входного сигнала, Digital PreDistortion (DPD), OFDM, PAPR.

S.V. ANTONYAN, G.A. TSATURYAN, L.R. MOVSIKYAN

**INVESTIGATING THE DIGITAL DISTORTION OF THE INPUT SIGNAL
OF 5G CELLULAR POWER AMPLIFIER**

To solve the problems arising in the 5th generation mobile communication systems, a number of problems should be solved to improve the parameters of power amplifiers (PA). The results of numerical simulation of distortions of the input signal of the power amplifier in the LabVIEW software environment, as well as the output parameters of the amplifier through a vector transmitter are presented. The front panel of the program and the calculation results are presented in graphical form.

Keywords: 5th generation (5G) mobile communication system, power amplifier, digital distortion input method, digital pre-distortion (DPD), OFDM, PAPR.

Ա.Հ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ս.Գ. ԷՅՐԱՍՉՅԱՆ

ԱՆՏԵՆԱՅԻ ՓՈԽԱՅԻՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ

Գլոբալ տեղորոշման համակարգում հիմնական խնդիրն է հաղորդիչ և ընդունիչ սարքերի միջև հեռավորության որոշումը, որի համար անհրաժեշտ է հաշվարկել անտենաների փուլային կենտրոնները: Փուլային կենտրոնի որոշման անհրաժեշտություն առաջանում է նաև հայելային անտենաների և անտենային ցանցի նախագծման ընթացքում: FEKO ծրագրային միջավայրում հաշվարկվել են Վիվալդի և արքիմեդյան սպիրալաձև անտենաների փուլային կենտրոնի կոորդինատները հեռավոր գոտու մեթոդով: Ներկայացված է մեթոդի էությունը, հաշվարկվել է փուլային կենտրոնի կոորդինատների հաճախային կախվածությունը, համեմատվել են երկու անտենաների դեպքում հաշվարկային արդյունքները, որոնք բերված են գրաֆիկների տեսքով:

Առանցքային բառեր՝ փուլային կենտրոն, հեռավոր գոտու մեթոդ, FEKO ծրագրային միջավայր, Վիվալդի անտենա, արքիմեդյան սպիրալաձև անտենա:

Ներածություն՝ Անտենայի ուղղվածության դիագրամը (ՈԴԴ) բնութագրվում է ճառագայթած ալիքի փուլային և ամպլիտուդային բաշխվածություններով: Հեռավոր գոտում էլեկտրամագնիսական դաշտի E բաղադրիչը ներկայացվում է հետևյալ արտահայտությամբ [1].

$$E(r, \theta, \varphi) = P(\theta, \varphi) e^{j\psi(\theta, \varphi)} e^{-jkr \frac{a}{r}}, \quad (1)$$

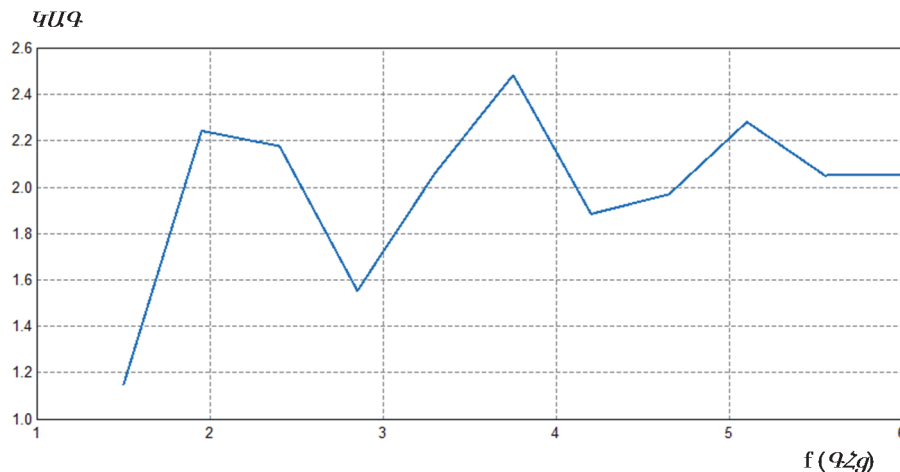
որտեղ $P(\theta, \varphi)$ և $\psi(\theta, \varphi)$ -ն համապատասխանաբար ամպլիտուդային և փուլային բաշխվածություններն են հեռավոր գոտում: Անտենայի փուլային կենտրոնը (Φ^C) սնուցման տեղամասին մոտ վիրտուալ կետ է, որից ձևավորվում է սֆերիկ ալիքային ճակատը [1]: Φ^C -ի կոորդինատները որոշվում են (2) և (3) բանաձևերի միջոցով.

$$x_0 = \frac{1}{k} (\cos \theta_0 \frac{d\psi}{d\theta} |_{\theta_0} - \sin \theta_0 \frac{d^2\psi}{d\theta^2} |_{\theta_0}), \quad (2)$$

$$y_0 = \frac{1}{k} (\cos \theta_0 \frac{d^2\psi}{d\theta^2} |_{\theta_0} - \sin \theta_0 \frac{d\psi}{d\theta} |_{\theta_0}), \quad (3)$$

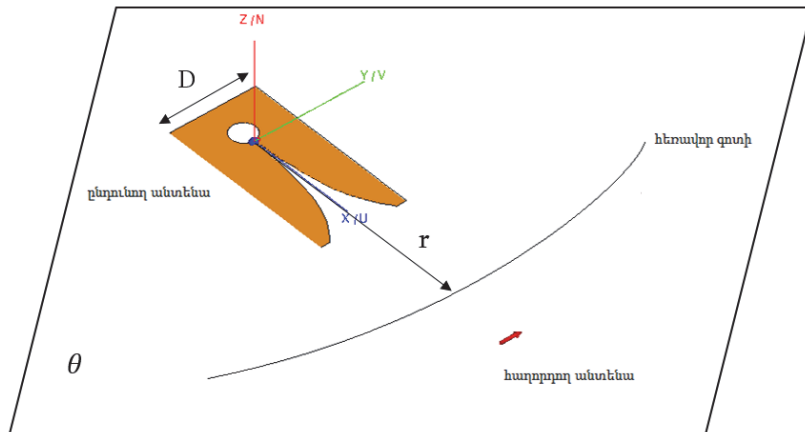
որտեղ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ փուլային հաստատունն է: Φ^C -ի դիրքը կախված է ընկնող ազդանշանի ուղղությունից և հաճախությունից [2]: Կան բազմապիսի մեթոդներ, որով որոշվում են փուլային կենտրոնի կոորդինատները:

Խնդրի դրվածքը. Մշակվել է անտենայի փուլային կենտրոնի կոորդինատների չափման մեթոդը, և ըստ այդ մեթոդի՝ FEKO ծրագրային միջավայրում կառուցվել է հաշվարկային համակարգ [3]: Որպես օրինակ դիտարկվել է Վիվալդի անտենան, և աշխատանքային հաճախային տիրույթում որոշվել դրա փուլային կենտրոնի կոորդինատների կախվածությունը ազդանշանի ուղղությունից և հաճախությունից: Անտենայի աշխատանքային հաճախային տիրույթը 1500...6000 ՄՀգ է, որում կանգուն ալիքի գործակիցը՝ $\Gamma_{\text{ԱԳ}} < 2,5$ (նկ.1): Արքիմեդյան սպիրալաձև անտենան հաճախաանկախ է, և հաճախային շատ մեծ տիրույթում $\Gamma_{\text{ԱԳ}} < 2$: Համեմատություն կատարելու համար արքիմեդյան սպիրալաձև անտենայի փուլային կենտրոնը որոշվել է 1500...6000 ՄՀգ տիրույթում:

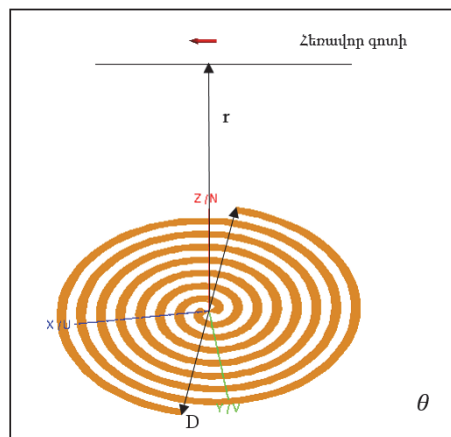


Նկ.1. Վիվալդի անտենայի ԿԱԳ-ի հաճախային կախվածությունը

Մեթոդի հիման վրա կառուցված հաշվարկային համակարգը պատկերված է նկ.2 ա,բ-ում: Չափվելիք անտենան միացված է բեռին (ընդունիչին), հեռավոր գոտում տեղադրված է տարրական էլեկտրական ճառագայթիչ, որի ճառագայթած ռադիոալիքն ընդունում է չափվելիք անտենան: Կոորդինատային համակարգի սկզբնակետը ընտրվել է սնուցման կետը: Դիպոլի հեռավորությունը չափվելիք անտենայի սնուցման կետից՝ $z = r \cos \theta / \cos \varphi$, որտեղ r -ը գլխավոր ուղղությամբ դիպոլի և չափվելիք անտենայի սնուցման տեղամասի միջև հեռավորությունն է: Դիպոլը գտնվում է չափվելիք անտենայի հեռավոր գոտում՝ $z \geq \frac{2D^2}{\lambda}$, որտեղ D -ն Վիվալդի անտենայի բացվածքի չափն է և սպիրալի արտաքին տրամագիծը: Ապահովելով այդ պայմանը՝ ստացվել է $r \geq 5 \lambda$, դիպոլը տեղադրվել է սնուցման տեղամասից 5λ հեռավորության վրա: Դրանից մեծ հեռավորությունների դեպքում չափման արդյունքները չեն փոփոխվում, քանի որ այդ տիրույթը անտենայի հեռավոր գոտին է:



ա)



բ)

Նկ. 2. Ծրագրային միջավայրում հաշվարկման համակարգի կառուցվածքը. ա) Վիվալիդի անտենա, բ) արքիմեդյան սպիրալաձև անտենա

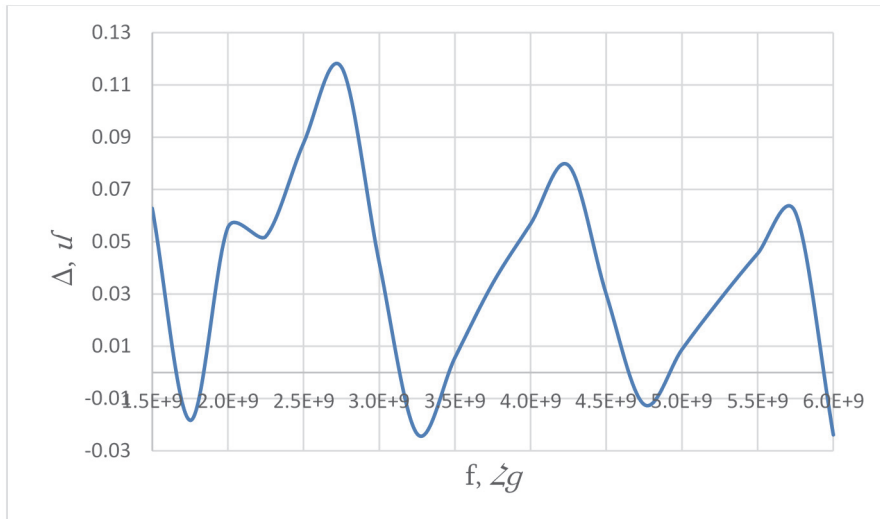
ՓԿ-ի կոորդինատների որոշման հաշվարկը կատարվել է հետևյալ քայլերով.

1) հաշվարկվել է դիպոլ-սնուցման կետ հեռավորությունում ալիքային թիվը՝ $n = \frac{z}{\lambda}$ և $z - n\lambda$ արտահայտությունը ($n\lambda$ հեռավորություն անցնելիս ալիքը իր փուլը փոփոխում է $n \cdot 360^\circ$ -ով),

2) ծրագրային միջավայրում ստացվել է բեռի վրա ընկնող լարման φ փուլի հաճախային կախվածությունը,

3) որոշվել է ՓԿ-ի դիրքը սնուցման կետի նկատմամբ՝ $z_0 = z - n\lambda - l$, որտեղ l -ը ալիքի անցած երկրաչափական հեռավորությունն է՝ $l = \frac{\varphi\lambda}{360}$:

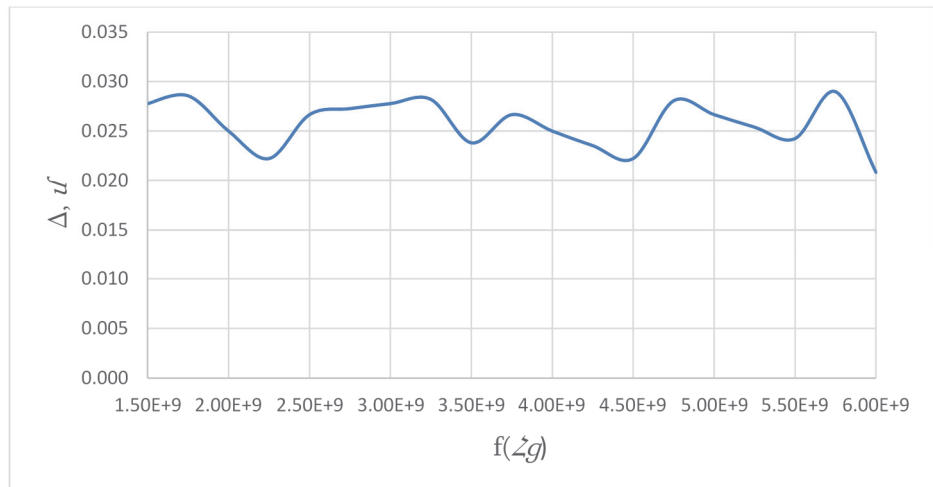
Հետազոտության արդյունքները. Նկ.3-ում բերված է անտենայի Վիվալդի անտենայի ճառագայթման գլխավոր ուղղությամբ ՓԿ-ի և սնուցման տեղամասի հեռավորության հաճախային կախվածության գրաֆիկը: ՓԿ-ի դիրքը 1500...6000 ՄՀց հաճախային տիրույթում սնուցման կետի (կոորդինատային համակարգի սկզբնակետ) նկատմամբ տատանվում է $-0,0183 \dots 0,117$ մ/կոորդինատներում:



Նկ. 3. Վիվալդի անտենայի ճառագայթման գլխավոր ուղղությամբ փուլային կենտրոնի սնուցման տեղամասից հեռավորության հաճախային կախվածությունը

Ստացված արդյունքներից հետևում է, որ հաճախության բարձրացմանը զուգընթաց՝ Վիվալդի անտենայի փուլային կենտրոնը մոտենում է սնուցման տեղամասին, իսկ նվազեցմանը զուգընթաց՝ հեռանում է սնուցման տեղամասից:

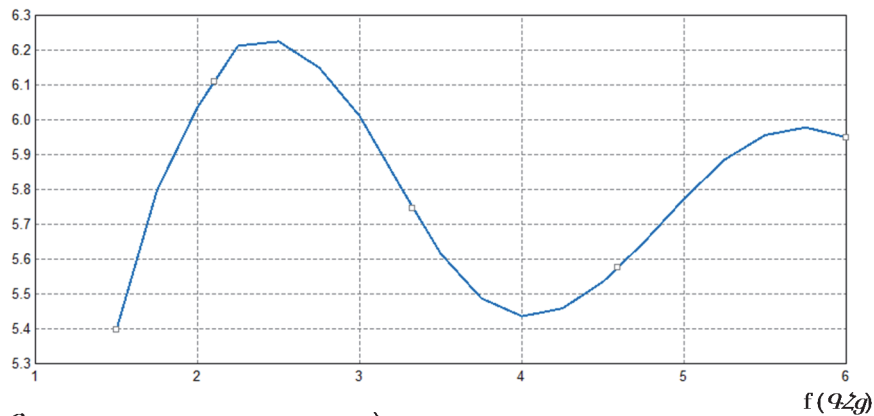
Նկ.4-ում բերված է ճառագայթման գլխավոր ուղղությամբ արքիմեդյան սպիրալաձև անտենայի փուլային կենտրոնի սնուցման տեղամասից հեռավորության հաճախային կախվածության գրաֆիկը: ՓԿ-ի դիրքը 1500...6000 ՄՀց հաճախային տիրույթում սնուցման կետի (կոորդինատային համակարգի սկզբնակետ) նկատմամբ տատանվում է $0,022 \dots 0,027$ մ/միջակայքում:



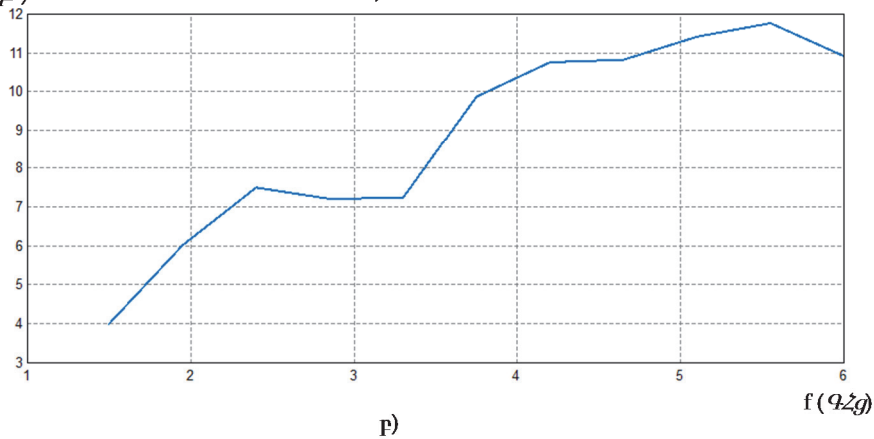
Նկ. 4. Արքիմեդյան սպիրալաձև անտենայի ճառագայթման գլխավոր ուղղությամբ փուլային կենտրոնի սնուցման տեղամասից հեռավորության հաճախային կախվածությունը

Ինչպես երևում է գրաֆիկներից, արքիմեդյան սպիրալի փուլային կենտրոնի դիրքը հաճախային ամբողջ տիրույթում գրեթե չի փոփոխվում, Վիվալդի անտենայինը, հաճախության բարձրացմանը զուգընթաց, մոտենում է դեպի սնուցման տեղամասին, նվազմանը զուգընթաց՝ հեռանում դրանից: Ստացված արդյունքներից կարելի է եզրակացնել, որ հեռավոր գոտում Արքիմեդյան սպիրալաձև անտենայի փուլային բաշխվածությունը՝ հաճախությունից կախված, քիչ է փոփոխվում, հետևաբար՝ ուղղվածության դիագրամը և ուժեղացման գործակիցը նույնպես քիչ են փոփոխվում: Մեթոդի ճշտությունը ապացուցելու համար FEKO ծրագրային միջավայրում արտածվել են անտենաների ուժեղացման գործակիցների հաճախային կախվածությունները: Նկ. 5-ում պատկերված են արքիմեդյան սպիրալի (ա) և Վիվալդի անտենայի (բ) ճառագայթման գլխավոր ուղղությամբ ուժեղացման գործակցի հաճախային կախվածության գրաֆիկները: Սպիրալաձև անտենայի ուժեղացման գործակցի արժեքը 1500...6000 $U\zeta g$ հաճախային տիրույթում տատանվում է փոքր արժեքներում՝ 5,4...6,2 ηP , իսկ Վիվալդի անտենայինը՝ 4,5...11,5 ηP :

ՈՒԳ (ՊԲ)



ՈՒԳ (ՊԲ)



Նկ. 5. Արքիմեդյան սպիրալաձև (ա) և Վիվալդի (բ) անտենաների ուժեղացման գործակցի հաճախային կախվածությունները

Եզրակացություն. Հետազոտվել և մշակվել է հեռավոր գոտու մեթոդով անտենայի փուլային կենտրոնի կոորդինատների որոշման եղանակը, ըստ որի անտենայի փուլային կենտրոնը չափվում է հեռավոր գոտում տեղադրված օժանդակ անտենայի միջոցով: Որպես օրինակ դիտարկվել է բացվածքային կառուցվածքի Վիվալդի անտենան (աշխատանքային հաճախային տիրույթը՝ 1,5...6 ԳՀց), որը համեմատվել պլանար կառուցվածքի հաճախաանկախ Արքիմեդյան սպիրալաձև անտենայի հետ: Ի տարբերություն Վիվալդի անտենայի, որի ՓԳ-ի դիրքը 1500...6000 ՄՀց հաճախային տիրույթում սնուցման կետի նկատմամբ տատանվում է -0,0183...0,117 կոորդինատներում, արքիմեդյան սպիրալաձև անտենայի ՓԳ-ի դիրքը փոփոխվում է փոքր միջակայքում՝ 0,022...0,027 լ: Տվյալ մեթոդի ճշգրտությունն ապացուցվում է այն փաստով, որ սպիրալաձև անտենայի ուժե-

դացման գործակիցը տատանվում է փոքր արժեքներում՝ 5,4...6,2 η , իսկ Վիվալդի անտենայինը մեծ արժեքներում՝ 4,5...11,5 η :

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Rudge A.W., Milne K., Olver A.D., Knight P.** The handbook of antenna design. –Vol. 1.- Peter Peregrinus Ltd., 1982.- 654 p.
2. **Schwarz U., Zhukov V., Stephan R. and Hein M.A.** Determination phase center of ultra-wideband antennas // IEEE Xplore. – May, 2010. –2 p.
3. **Elsherbeni Atef Z., Nayeri Payam, Reddy C.J.** Antenna Analysis and Design Using FEKO Electromagnetic Simulation Software //SciTech Publishing.- Edison. NJ, 2014.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան, «ԷՄԻ ԹԵԲ» ՍՊԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 04.02.2020:

Ա.Դ. СТЕПАНЯН, С.Г. ЭЙРАМДЖЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА АНТЕННЫ

Основной задачей в глобальной системе позиционирования является определение расстояния между передающей и принимающей антеннами. С этой целью производится расчет фазового центра антенны. Необходимость определения фазового центра возникает также при проектировании зеркальных и решетчатых антенн. С помощью метода дальней зоны рассчитаны координаты фазовых центров антенн типа Вивальди и архимедова спираль в программной среде FEKO. Представлена сущность метода, рассчитана зависимость координат фазовых центров от частоты, сравнены результаты расчетов в случаях двух антенн, которые представлены в виде графиков.

Ключевые слова: фазовый центр, метод удаленной зоны, среда FEKO, антенна типа Вивальди, антенна типа архимедова спираль.

A.H. STEPANYAN, S.G. EYRAMJYAN

A METHOD FOR DETERMINING THE ANTENNA PHASE CENTER

Determining the distance between the transmitter and receiver devices is the basic operation for GPS. For that, the calculation of the antenna phase center is introduced. The necessity of determining the phase centre also emerges when designing a parabolic antenna and an antenna array. The Vivaldi and Archimedean spiral antenna phase centers are calculated by the far field method in the FEKO software environment. The method essence is presented, the phase center dependence on frequency is calculated, the two antenna results are compared, the results are presented in the form of graphs.

Keywords: phase center, far field method, FEKO software environment, Vivaldi antenna, Archimedean spiral antenna.

V.SH. MELIKYAN, E.R. KAGRAMANYAN, H.A. BABAJANYAN,
K.O. PETROSYAN

A FREQUENCY-TO-VOLTAGE CONVERTER WITH A REDUCED DELAY TIME RANGE OF THE OUTPUT SIGNAL

A new method for optimizing the frequency-to-voltage converter (FVC) circuit is presented. In some FVC designs the delay time range of the output signal is very big in case of high input frequencies. By the new method of optimization, the output signal of FVC gets its stability during a short delay time in case of any frequency of the input signal. Using this method, the design obtains a higher area by 81%. The optimized FVC is preferable to be used in voltage-controlled oscillator (VCO), phase-locked loop (PLL) and small electronic projects. In the optimized FVC and the primary circuit designed in the 32 nanometer technology in case of the 0.02 GHz input frequency, the delay time range is 700 ns. In case of 0.2 GHz frequency, the delay time range in the primary circuit is 1700 ns and in the optimized FVC- 700 ns.

Keywords: transistor pump frequency discriminator, staircase generator, Schmitt trigger, inverter, circuit for the first period (CFFP).

Introduction. The new design of FVC is based on the transistor pump frequency discriminator (Fig 1) [1]

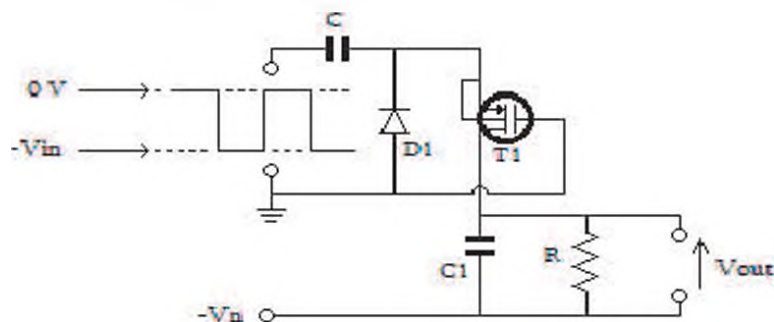


Fig 1. Transistor pump frequency discriminator

The output signal of the transistor pump frequency discriminator is formed by the C1 capacitor and R resistor. In the half-periods when the T1 transistor is opened, the C1 capacitor charges from the C capacitor. During the period, the C1 capacitor loses some charge. The stability of the output signal forms when during the period, the C1 capacitor charges and discharges by the same charge (Fig 2). So,

the output signal starts from the minimal voltage and increases to a value appropriate to the input frequency.

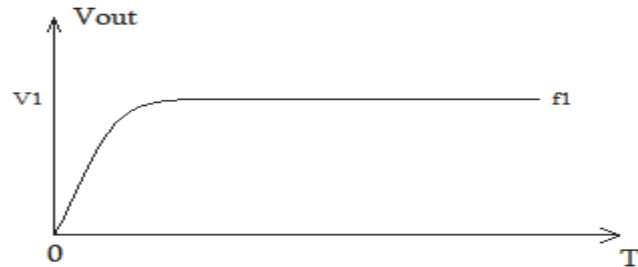


Fig.2. The output characteristics of the transistor pump frequency discriminator

The purpose of the optimization method is to make the output signal more stable whose value, during the first period of the input signal, will get close to a value of appropriate frequency. By this, the delay time range will be short.

In the newly designed FVC, a staircase generator is also used (Fig.3) [1].

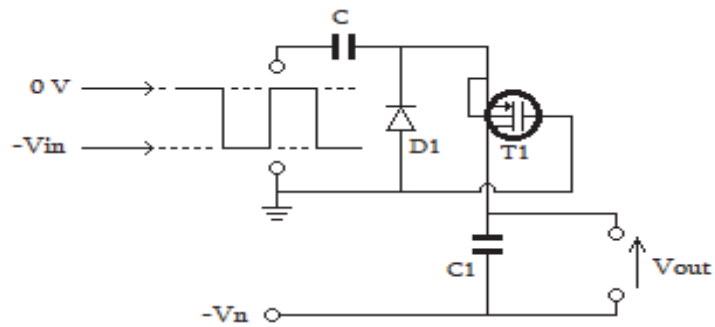


Fig.3. A transistor pump staircase generator

FVC is very important in the circuits with feedback connection (like VCO, or PLL) and it is preferable to have accurate input and output signals for it. If the output voltage of FVC starts at 0 and obtains its accurate value much later, it can disturb the right working process of all the circuit in which the FVC is to be used. If the output voltage starts at the right value after the first half-period, the work of the circuit will be secured.

There are several methods of creating accurate FVC, for example:

- using a differentiator and an RMS-DC converter [2],
- using a charging/discharging switch [3],
- using a current-controlled oscillator (ICO) [4],
- using an R-C network, an amplifier, a rectifier and a filter [5].

By the new method of optimization, the output characteristics of the FVC are very accurate.

A method for improving the output characteristics of FVC. The circuit that is used for optimization is working with non-negative supply voltages (Fig.4). The only difference of Fig.4 and Fig.1 circuits is that all negative voltages are turned to 0, and 0s to positive voltages, but the method of working is the same in both circuits.

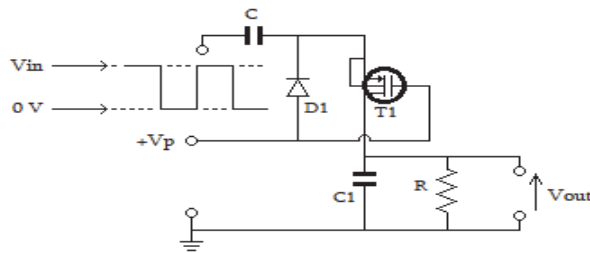


Fig.4. The transistor pump frequency discriminator (with positive voltages)

Let's assume that the input voltage is changing from 0 to Vdd. In this case, the formula of the accurate Vout will be (1):

$$V_{out} = C * R * f * (V_{dd} - V_{d1} - V_{th}). \quad (1)$$

As, at the beginning of the input signal Vout=0, we get the constant value of the output voltage by some delay time range (ΔT). The output characteristics of the circuit are shown in Fig.5.

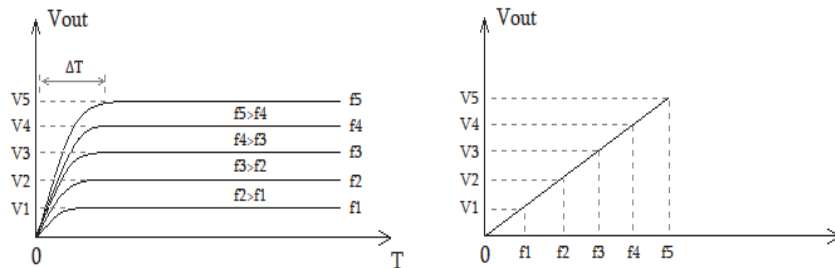


Fig.5. The output characteristics of the transistor pump frequency discriminator in case of different input signals

The higher is the frequency, the more time is spent to obtain the constant value of the output voltage. So, we use some other circuits to solve this problem. The essence of the method is to provide the output with a voltage near to the appropriate value in the first period, during which, the output voltage will be formed with the help of other circuits and after the second period, it will keep its

value only by FVC. A circuit should be added by which the output voltage will be low in a long period and will be high in a short period. The option of the method is to have high V_{out} in the first half-period, and in the second half-period, it starts to discharge. As the period time is long, the V_{out} will go to a low voltage.

So, the lower is the input frequency, the lower is V_{out} in the first period and is near to the right output value of the appropriate frequency. By that, the delay time range (ΔT) will be short for any frequency. For that, we use a circuit which will repeat only the first period of the input signal and then, it will keep a constant value. The circuit consists of a staircase generator, Schmitt trigger and inverters (Fig.6).

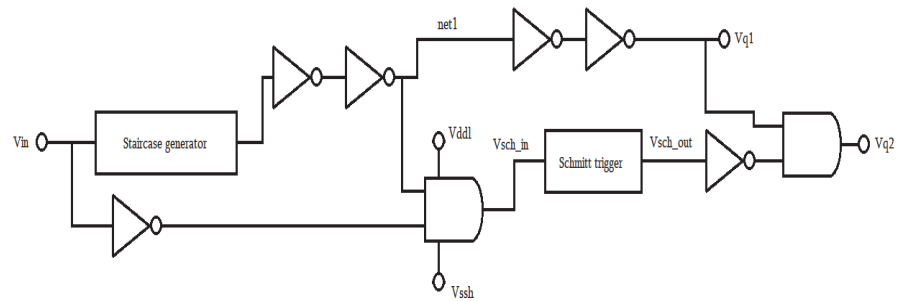


Fig.6. A circuit for the first period of the input signal (CFFP)

The staircase generator is designed in the way in which its output will get to V_{dd} during the first period. If the first period starts with a low half-period, in the high half-period it will immediately increase to V_{dd} . If the first period starts with a high half-period than in the low half-period it will be 0 and, at the beginning of the second period, when the input gets to V_{dd} , the output will also increase to V_{dd} immediately. Two inverters are connected to the output of the staircase generator to have a more accurate signal. AND cell connected to the input of the Schmitt trigger uses V_{ddl} and V_{ssh} supply voltages. V_{ddl} is chosen less than V_{dd} and V_{ssh} is higher than V_{ss} to have more accurate V_{sch_out} . Two inverters after $net1$ are used to equalize the delays for two input signals of AND of the V_{q2} output. All signals are shown in Fig.7 for two variants of the input signal.

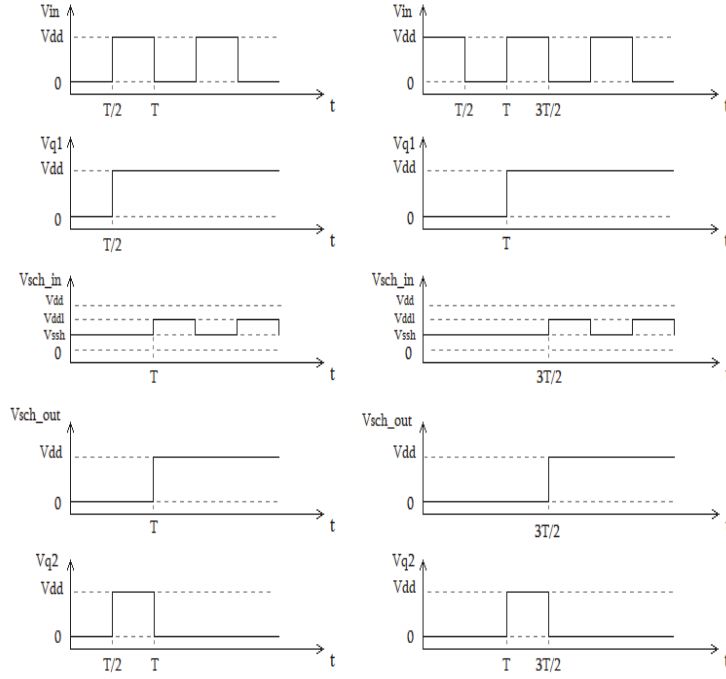
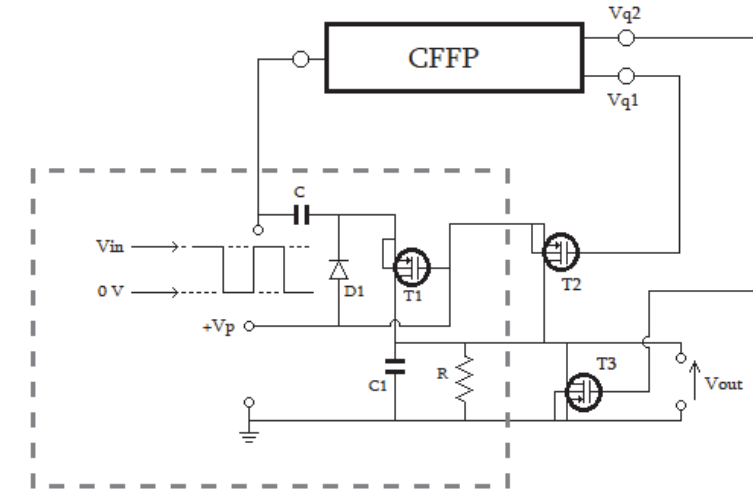


Fig.7. Signals of CFFP

In Fig.8, we see the circuit of the optimized FVC. It consists of CFFP, a transistor pump frequency discriminator, T2 and T3 transistors. The sizes of the T2 and T3 transistors are chosen so, that the R resistor should get much more resistance than the T2 and T3 transistors in the triode region. T3 is n-type and its base is connected with Vq2, T2 is p-type and its base is connected with Vq1. In the first half-period, when Vq1 and Vq2 are 0, T2 is in the triode region and T3 is cut-off and as the R resistor has much more resistance than T2 when it is opened, then Vout will be close to Vdd. In the second half-period, when Vq1 and Vq2 are Vdd, T2 will be in cut-off and T3 in the triode region, and Vout will start to decrease. The higher is the input frequency, the shorter is the half-period and the sooner will decreasing be over stopping at a high voltage. In the second period, Vq1 will be Vdd and Vq2 will be 0, and both transistors will be in the cut-off region, so Vout will depend only on the work of the transistor pump frequency discriminator.



Transistor pump frequency discriminator

Fig.8. An optimized FVC

As at the end of the first period, V_{out} will be close to the expected value, the transistor pump frequency discriminator will change it to a little lower or a little higher value. The output characteristics of an optimized FVC are shown in Fig.9.

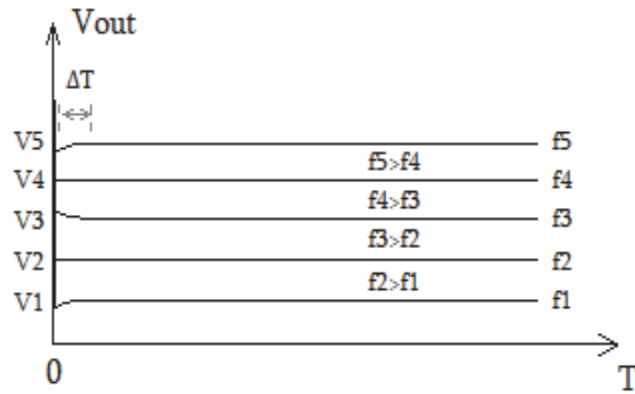


Fig.9. The output characteristics of the full FVC

Simulation results. Here are presented the circuits and simulation results for the 32 nm technology. The transistor pump frequency discriminator designed in the 32 nm technology is shown in Fig.10.

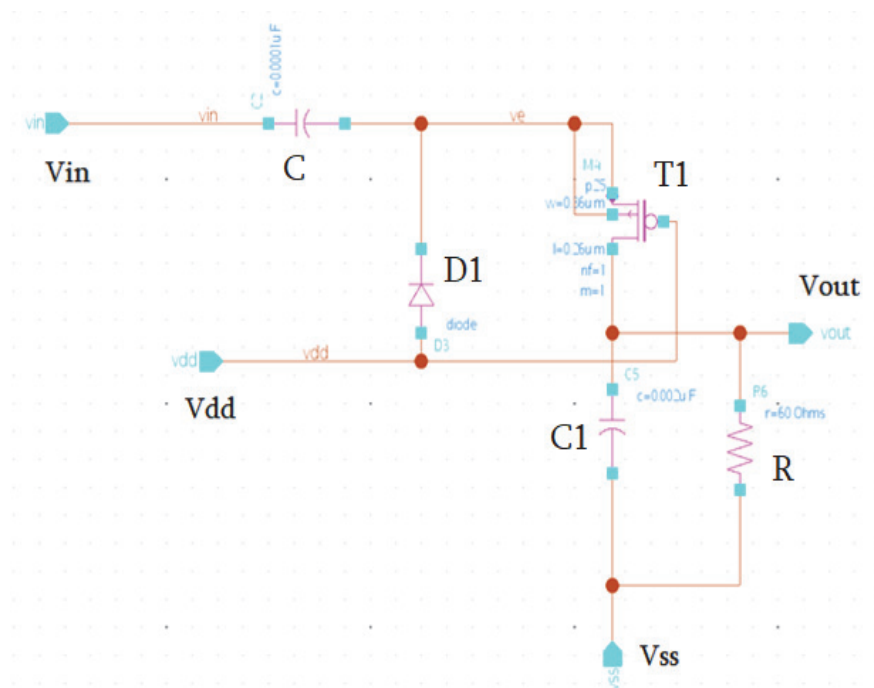


Fig.10. The transistor pump frequency discriminator

The staircase generator designed in the 32 nm technology is shown in Fig.11.

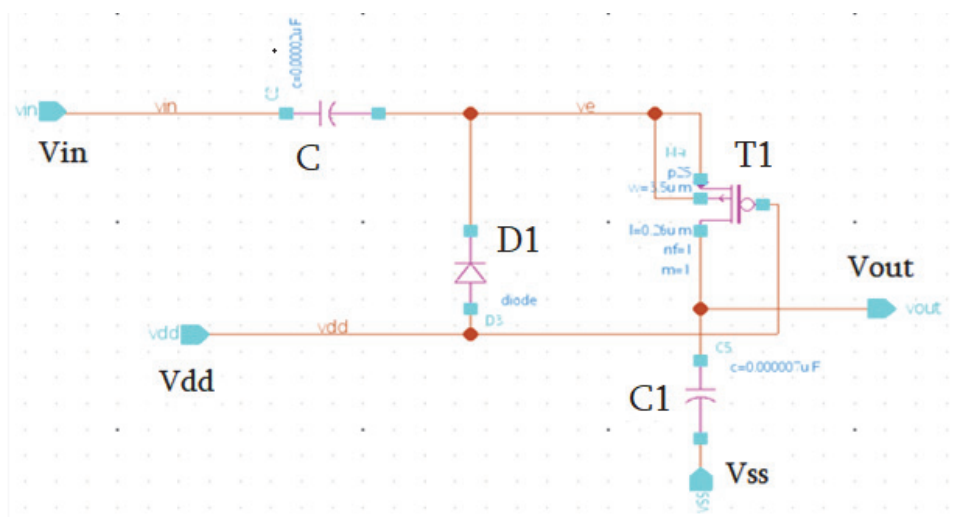


Fig.11. The staircase generator

The CFFP circuit designed in the 32 nm technology is shown in Fig.12.

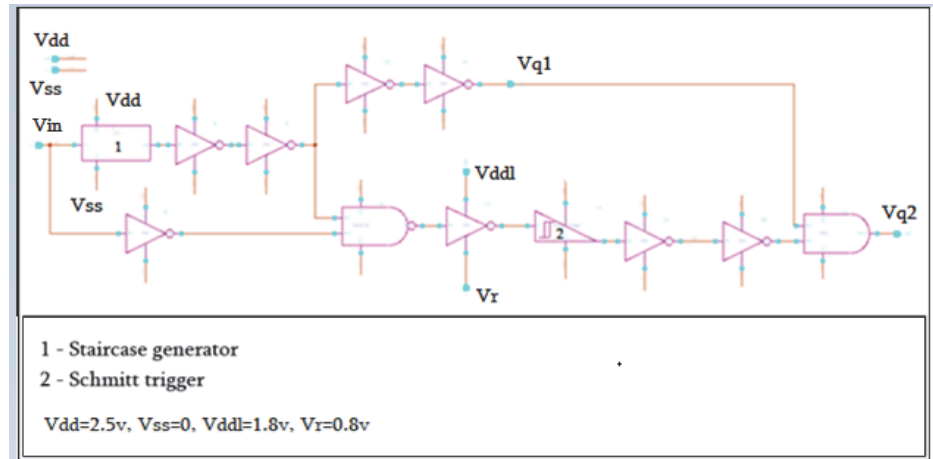


Fig.12. CFFP (Circuit for first period)

An optimized FVC designed in the 32 nm technology is shown in Fig.13.

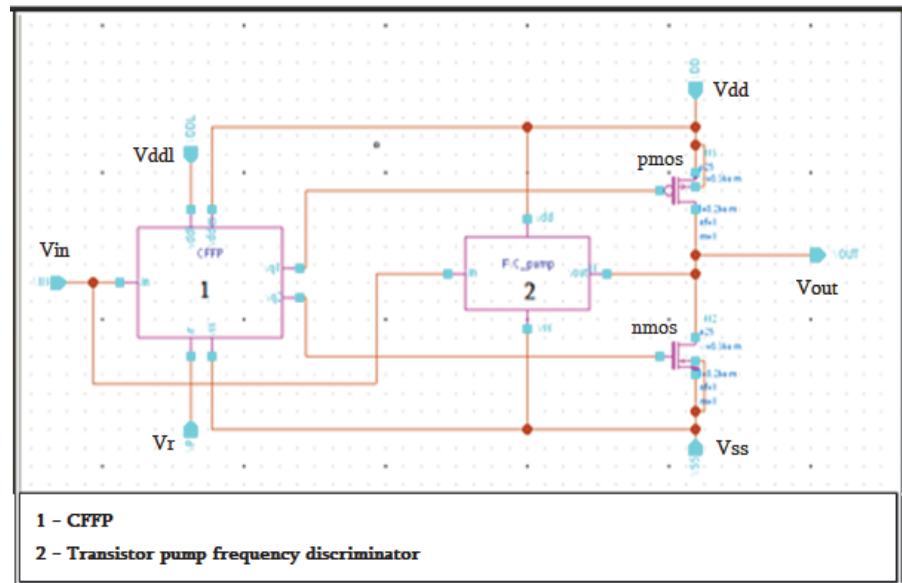


Fig.13. An optimized FVC

The frequency range is from 0.02 GHz to 0.2 GHz with a 0.02 GHz step. The supply voltage and the input signal amplitude are 2.5 v.

All characteristics are created by the HSPICE simulator. The output characteristics of the transistor pump frequency discriminator designed in the 32 nm technology are shown in Fig.14.

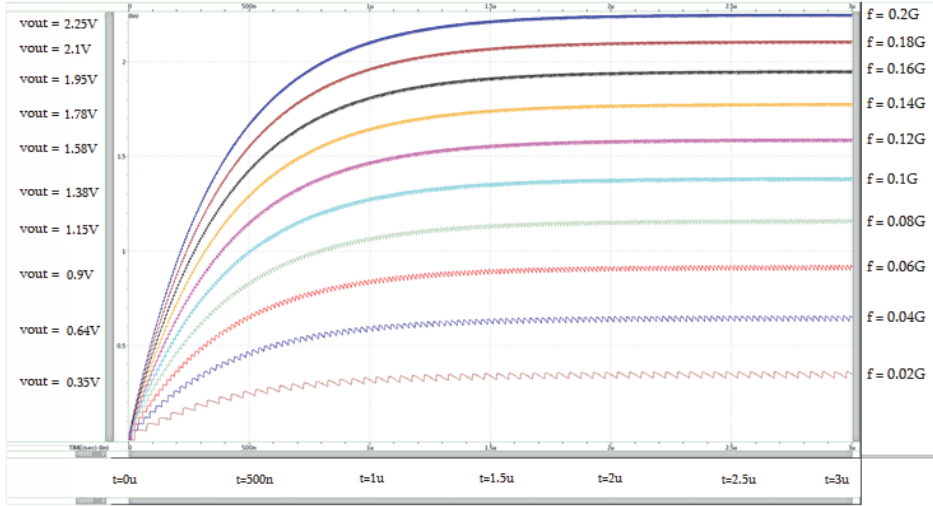


Fig.14. The output characteristics of the transistor pump frequency discriminator

The output characteristics of an optimized FVC designed in the 32 nm technology are shown in Fig.15.

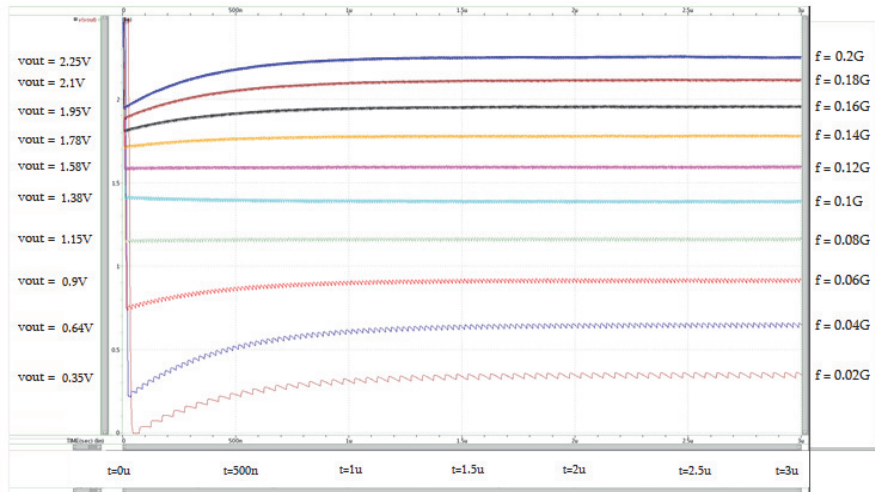


Fig.15. The output characteristics of an optimized FVC

The dependence of the output voltage on the input frequency of an optimized FVC is shown in Fig.16.

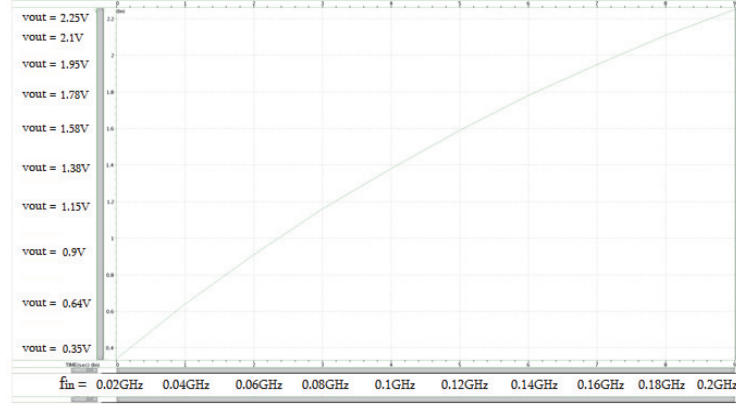


Fig.16. Linearity characteristics of an optimized FVC (dependence of output voltage on frequency). Frequency is changed from 0.02 GHz to 0.2 GHz with a 0.02GHz step

Fig.17 presents output characteristics in which the input frequency is becoming twice less at the end of every 2000 n time range. At the $[0 - 2 u]$ range, the input frequency is 0.2 GHz, at $[2 u - 4 u]$, it is 0.1 GHz, $[4 u - 6 u]$ - 0.05 GHz, $[6 u - 8 u]$ - 0.025 GHz, $[8 u - 10 u]$ - 0.0125 GHz). In the picture, we can see that the decreasing range of the output voltage also becomes nearly two times less during every 2 u time range.

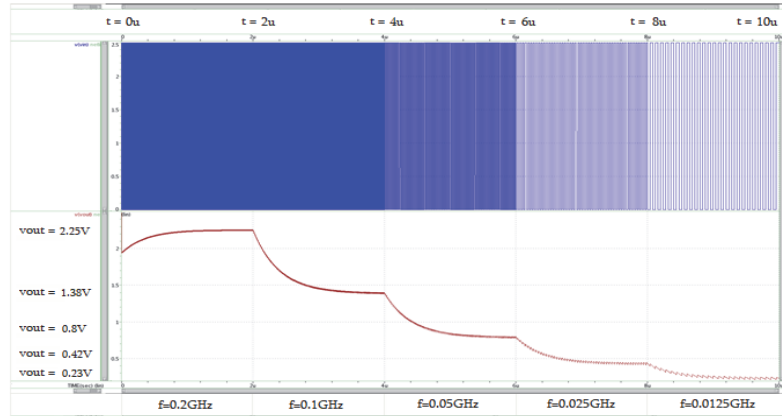


Fig.17. The output characteristics with different frequencies in different time ranges.

Conclusion. The main advantage of the full FVC is that it has not got a problem of delay time range. In the transistor pump frequency discriminator, the delay time range is as big as the frequency of the input signal. In a full FVC, the delay time range is very small for any frequency. In the transistor pump frequency discriminator designed in the 32 nm technology, in case of the 0.02 GHz frequency

of the input signal, the delay time range is 700 ns, and in case of 0.2 GHz- 1700 ns. In the optimized FVC, in case of the 0.02 GHz input frequency, the delay time range is 700 ns, and in case of 0.2 GHz, it is also 700 ns.

REFERENCES

1. **Hemingway T.K.** Electronic Designer's Handbook.- London, Business Books,.1970. – 296 p.
2. Simple and accurate frequency to voltage converter / **A. Lorsawatsiri, W. Kiranon, V. Silaruam, W. Sangpisit**, et al // IEEE publisher.- Chiang Mai, Thailand, 24 June, 2010. -P.1-3.
3. **Bui H.T., Savaria Y.** High-Speed Differential Frequency-to-Voltage Converter. // IEEE-publisher. Montreal. Canada. July. 2005. -P.1-3.
4. **Bui H.T., Savaria Y.** Design of a High-Speed Differential Frequency-to-Voltage Converter and Its Application in a 5-GHz Frequency-Locked Loop //IEEE-publisher.- Montreal, Canada, April, 2008. -P.1-8.
5. **Singh M., Sahu P.P.** A Wideband Linear Sinusoidal Frequency to Voltage Converter With Fast Response Time //IEEE publisher.- Tezpur, Assam, December, 2013. -P.27-35.

National Polytechnical University of Armenia. The materials is received on 20.02.2020.

**Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Է.Ռ. ԿԱԳՐԱՄԱՆՅԱՆ, Հ.Ա. ԲԱԲԱՋԱՆՅԱՆ,
Կ.Օ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ**

ԵԼՔԱՅԻՆ ԱՉԴԱՆՇԱՆԻ ԿԱՐՃ ՈՒՇԱՑՄԱՆ ՏԻՐՈՒՅԹՈՎ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆ- ԼԱՐՈՒՄ-ՓՈԽԱԿԵՐՊԻՉ

Ներկայացված է հաճախություն-լարում-փոխակերպիչի (ՀԼՓ) օպտիմալացման նոր մեթոդ: Որոշ ՀԼՓ սխեմաներում ելքային ազդանշանի ուշացումը շատ մեծ է մուտքային ազդանշանի մեծ հաճախության դեպքում: Ըստ այս օպտիմալացման մեթոդի՝ ՀԼՓ-ի ելքային լարումը հասնում է իր ճշգրիտ արժեքին կարճ ժամանակային տիրույթում մուտքային ազդանշանի ցանկացած հաճախության դեպքում: Այս մեթոդի օգտագործմամբ սխեմայի մակերեսը մեծանում է 81% -ով: Օպտիմալացված ՀԼՓ-ն նախընտրելի է օգտագործել փուլահաճախականային հանգույցներում, լարումով ղեկավարվող գեներատորում և փոքր էլեկտրոնային նախագծերում: 32- նանոմետրանոց տեխնոլոգիայում նախագծված օպտիմալացված ՀԼՓ – ի և հաճախականային դիսկրիմինատորի ելքային լարման ուշացման տիրույթը 0.02 ԳՀց մուտքային ազդանշանի հաճախության դեպքում 700 նս/ է: 0.2 ԳՀց – մուտքային ազդանշանի հաճախության դեպքում հաճախականային դիսկրիմինատորում ուշացման տիրույթը 1700 նս/ է, իսկ օպտիմալացված ՀԼՓ-ում՝ 700 նս/:

Առանցքային բառեր. տրանզիստորային պոմպի հաճախականային դիսկրիմինատոր, աստիճանային գեներատոր, Շմիտի տրիգեր, շրջիչ, առաջին պարբերության սխեմա:

**В.Ш. МЕЛИКЯН, Э.Р. КАГРАМАНЯН, А.А. БАБАДЖАНЫН,
К.О. ПЕТРОСЯН**

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ В НАПРЯЖЕНИЕ С КОРОТКИМ
ДИАПАЗОНОМ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА**

Представлен новый метод оптимизации схемы преобразователя частоты в напряжение (ПЧН). В некоторых конструкциях ПЧН диапазон времени задержки выходного сигнала очень большой в случае высоких входных частот. Согласно новому методу оптимизации, выходной сигнал ПЧН приобретает стабильность в течение короткого времени задержки при каждой частоте входного сигнала. При использовании этого метода площадь схемы повышается на 81%. Оптимизированный ПЧН предпочтительнее использовать в генераторе, управляемом напряжением, в фазовой автоподстройке частоты и в небольших электронных проектах. В оптимизированном ПЧН и в частотном дискриминаторе, проектированном в 32- нанометровой технологии, при частоте входного сигнала 0,02 ГГц диапазон времени задержки выходного сигнала составляет 700 нс. При частоте входного сигнала 0,2 ГГц диапазон времени задержки в частотном дискриминаторе составляет 1700 нс, а в оптимизированном ПЧН - 700 нс.

Ключевые слова: частотный дискриминатор транзисторной помпы, лестничный генератор, триггер Шмитта, инвертор, схема для первого периода.

V.A. JANPOLADOV, A.A. PETROSYAN, S.S. ABAZYAN,
H.V. MARGARYAN

RANDOM FAULTS INJECTION AND SIMULATION IN AUTO-CORRECTION CIRCUITS

The random faults impact on auto-correction circuit, such as the Hamming code scheme, is demonstrated. For their injection a Verilog model was created which focuses on the output buses of correctly working Hamming code circuit. The gate level simulation shows that even verified output data from the auto-correction scheme can be corrupted under the random faults influence such as radiation effects. The total failure ratio after random fault injection is 61% compared to simulation without faults injection. As an example of solving the observed issues, the Triple Modular Redundancy (TMR) methodology implementation with Hamming code circuit is presented. The proposed simulation and implementation methods can be used in modern automotive system integrated circuits (ICs) where data transmission is of critical importance and is included in the standard digital design flow.

Keywords: fault injection, fault generation, radiation, simulation, digital design, Hamming code, Triple Modular Redundancy, verification.

Introduction. The modern pace of technology progress and technology node scaling at a tremendous speed bring new challenges to the design of ICs. In addition, the old problems begin to gain much more weight than before. Entering the market of automotive system (AS) devices further tightens the requirements for the design of ICs, as well as for their protection. There are many types of faults that can affect the normal operation of ICs and data transmission through them, such as Single Event Effects (SEE) caused by radiation, stack-at and bridging faults, which appear after the manufacturing process or under thermal influence. Because of this, verification of the developed ICs has become one of the most important and resource-demanding part, since human life is beginning to depend on their correct operation. For self-verification and assurance in the scheme proper behavior in AS systems auto-correction circuits are required.

Auto-correction circuits are used for verifying input data and correcting it. But under the influence of radiation their functionality can be corrupted, in other words, the already verified or corrected data can be changed in the outputs of such circuits after all the verification stages which will lead to failures in the whole system. The Hamming code block was chosen as an example of auto-correction circuits which can detect and auto-correct single-bit

errors. On the other hand, for multibit errors, the reset signal is generated to report their existence in the input data.

The work [1] presents fault detection and correction by Hamming code. In work [2] Hamming code and the TMR technique are analyzed separately in ICs. It is proved that the TMR methodology implemented on registers is more effective than the single Hamming code circuit usage in multibit systems because of the area increase. But the input data can not be verified and auto-corrected in a simple TMR register implementation, that is why such circuits as Hamming code are required on the inputs of ICs. The Single Event Transient (SET) influence on voters designed for TMR is described in work [3] when this paper studies the SET influence on Hamming code block. Automation of the TMR methodology implementation for complex digital circuits is described in work [4].

As an example of the mentioned issue solution TMR implementation for the enhanced data transmission protection is shown. This technique with the Hamming code can be used in systems where data protection has high priority, such as AS.

Random faults injection on the Hamming code circuit. To simulate a random impact on the circuit, the SET injection model is used. For that, an appropriate Verilog model is created (Fig.1). It randomly chooses a bit from the output data of the auto-correction circuit, then injects a SET pulse at a random simulation time and with a random pulse width. The placement of the random SET injection is shown below.

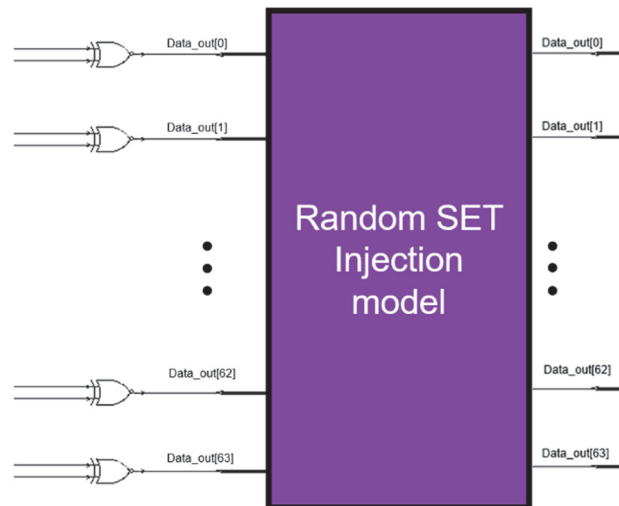


Fig. 1. The placement of the created fault injection model

The SET pulse width, injection time and probability calculation are based on the proposed method from [2]. SET can be injected with a frequency twice as high as the design working frequency (Fig.2).

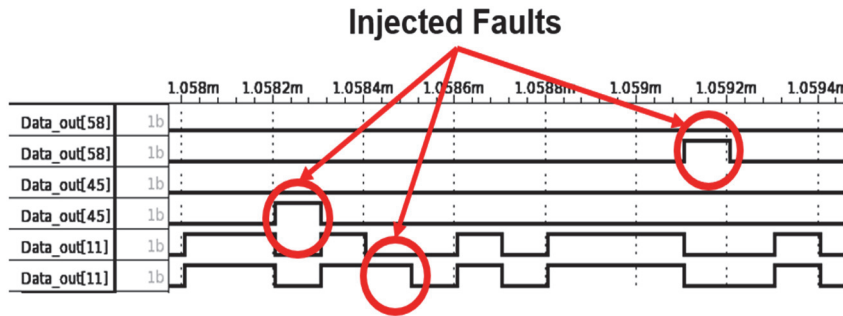


Fig. 2. An example of waveform comparison of correct and faulted data for Data_out[11], Data_out[45] and Data_out[58] output signals

Single Hamming code implementation. For a single Hamming code implementation, a design supporting this structure is developed by using Verilog Hardware Description Language (HDL). The mentioned design with a single Hamming Code circuit consists of several modules (Fig.3):

- Input registers module – 64-bit registers for driving the input data;
- Hamming code module – as an example of an auto-correction circuit which operates with 64-bit data;
- Data capture registers – 64-bit registers for reading data from Hamming code.

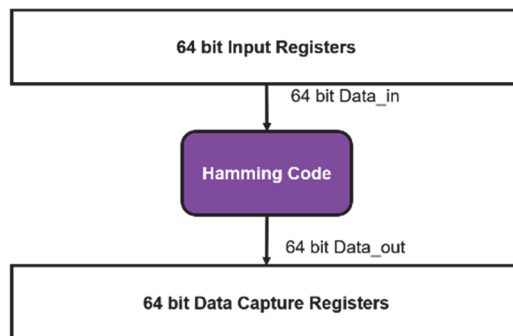


Fig. 3. Hierarchy without TMR

The created Register Transfer Level (RTL) description is verified by functional simulation for assurance in the expected behavior. The input registers drive received data to the Hamming code block, which verifies 64-bit data and then sends it to the output data capture registers.

After that logic synthesis is performed to generate the gate level netlist. 14 nanometer FinFET technology node is used as a target library for synthesis and analysis, which is developed by Synopsys Armenia Educational Department (SAED) [5]. The operation frequency is 500 MHz. The results are demonstrated in Table 1.

Table 1

Timing, area, power reports without TMR after logic synthesis

Worst Slack [ns]	Total Power [μW]	Total Area [μm^2]
1,49	56,5189	359,9659

Synthesis was done without collapsing the RTL hierarchy and with a high mapping effort.

TMR implementation with Hamming code. The idea is to implement the TMR methodology with the Hamming code circuit for enhanced data transmission protection in ICs by using Digital Design Flow (Fig.4).

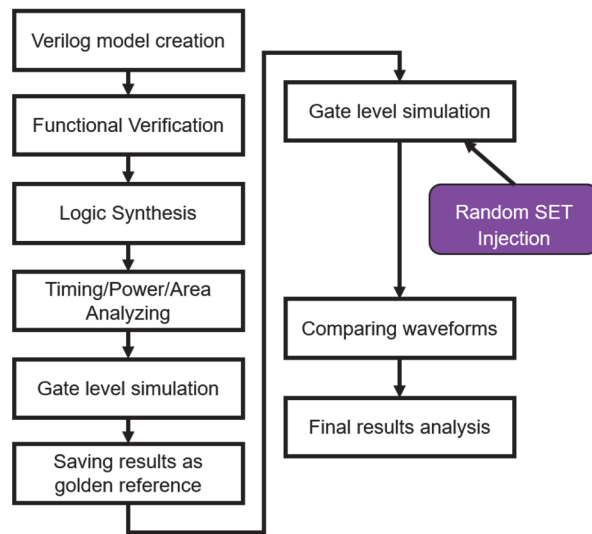


Fig. 4. Implementation flow

The developed RTL description for a single Hamming code implementation was modified to support the TMR methodology (Fig.5).

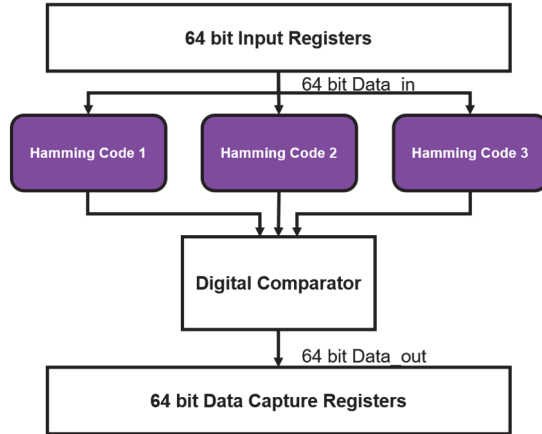


Fig. 5. The TMR methodology with a Hamming code

The quantity of the Hamming block modules become three. These blocks are operating parallelly, sending verified data to the created comparator. A digital comparator is added in the design hierarchy to work as a voter that chooses the correct data by the majority principle algorithm (Fig.6).

```

if(data_1 == data_2 == data_3) {
    out = data_1
} else if (data_1 == data_2) {
    out == data_1
} else if (data_2 == data_3) {
    out == data_2
} else if (data_3 == data_1) {
    out == data_3
} else {
    // If all data differs
    // report system reset
}

```

Fig. 6. Comparator algorithm

After the logic synthesis the reports regarding performance, power consumption and design area are collected and saved for comparison with synthesis reports of the single Hamming code implementation. Simulation is done based on the generated gate level netlist with and without random fault injection to check the stability of this model. Also gate level netlist generated in the previous single Hamming code implementation is simulated with the same fault injection mechanism for comparison with the TMR-based design.

Experiment results. Single Hamming code is implemented and simulated with random fault injection for comparison with the proposed application of TMR methodology on the Hamming code circuit by tripling its quantity and

adding separate comparator block for the output data analysis. The results for logic synthesis and gate level simulation are provided below.

The target technology and frequency remained the same in comparison with the single Hamming code circuit implementation results. The results for timing, area and power factors after synthesis are shown in Table 2.

Table 2

Timing, area, power reports with TMR after logic synthesis

Worst Slack [ns]	Total Power [μW]	Total Area [μm^2]
1,02	137,7133	2058,6153

Gate level netlists for both designs are simulated ~250000 times with and without SET injection and then compared. The failure ratio in final output data waveform in comparison with the single Hamming code circuit is 61% (Fig.7).

Signal	Result	
	Diff Points	Diff Rate(%)
TestBench.DUT.Data_out[63:0]	154k	61

Fig. 7. Waveform comparison without TMR

In case of the TMR implementation and fault generation on one of the three Hamming code blocks, 100% valid data will pass through the comparator and the next stages of the IC (Fig.8).

Signal	Result	
	Diff Points	Diff Rate(%)
TestBench.DUT.Data_out[63:0]	0	0

Fig. 8. Waveform comparison with TMR

Sections A and B demonstrate two implementations' synthesis and simulation result comparison to understand the difference ratio, advantages and disadvantages of the proposed method.

A. Synthesis Comparison

As described earlier, two synthesis iterations are performed for the analysis. The first is with a single Hamming code module and the second one with the TMR methodology implementation. Logic synthesis is done by using the Synopsys' Design Compiler [6] tool.

The worst slack comparison is shown in Table 3. Timing degradation is expected because of additional logic insertion on the critical path.

Table 3

Critical Path Slack Comparison

Report	Without TMR	With TMR
Worst Slack [<i>ns</i>]	1,49	1,02

Area comparison is illustrated in Table 4. The total area increased approximately 3 times, which is expected since the number of the Hamming code blocks increased by two.

Table 4

Area Comparison

Report	Without TMR	With TMR
Net Interconnect area [μm^2]	359,9659	1176,2985
Combinational area [μm^2]	177,2898	744,3216
Sequantial area [μm^2]	119,3471	137,9951
Total Area [μm^2]	656,602	2058,6153

To analyze the area increase in case of big designs, the ORCA processor reports were used from work [7], which is designed on the same SAED 14 nanometer FinFET technology node. The total area of proposed circuit with the TMR implementation is $\sim 0,773\%$ of the ORCA's total area.

The comparison of static, dynamic and total power consumption is shown in Table 5. The same reference processor was used for analysis.

Table 5

Power Dissipation Comparison

Report	Without TMR	With TMR
Cell Leakage Power [<i>nW</i>]	132,8312	418,8779
Cell Switching Power [<i>uW</i>]	15,6808	82,3838
Cell Internal Power [<i>uW</i>]	40,7052	54,9106
Total Power [<i>uW</i>]	56,5189	137,7133

The total power consumption increases approximately 2.4 times. In case of a single Hamming code circuit total power is equal to 56,5189 *uW*, which is only $\sim 0,03\%$ of the ORCA's total power value, then the TMR implementation is equal to only $\sim 0,07\%$ of the ORCA's total power consumption with low power techniques implementation in it. Power increase is also expected, as a number of standard cells increase due to the TMR methodology implementation.

B. Simulation Results

To prove the effectiveness of the proposed TMR implementation with the Hamming code circuit in data transmission protection both designs' gate level netlists are simulated with the random SET faults injection. For simulation and waveform analysis Synopsys' VCS [8] and Custom WaveView [9] tools are used.

After the previously described simulations the final output data is separated for each design and compared. All failures from the first iteration are waved with TMR methodology implementation. The results are demonstrated in Table 6. Error waving is 100% in case of the TMR implementation

Table 6

Waveform Comparison

Signal	Iteration	Runs	Errors
Data_out	Without TMR	250000	~154000
Data_out	With TMR	250000	0

These results clearly demonstrate the effectiveness of the proposed method in data transmission quality with the expected losses in power consumption and area.

Conclusion. The paper presents the random faults injection and simulation method to show the faults' consequences on the correctly working auto-correction circuit such as the Hamming Code. The failure ratio observed by using the proposed method in the final output data with the Hamming code circuit is 61%. The presented method can be included in the commonly used standard digital design flow. As an example of solution of the considered issues caused by faults injection, TMR methodology implementation is used. The total failure waving is almost 100% compared to the single Hamming code implementation in case if one Hamming code circuit data is corrupted.

REFERENCES

1. **Anil Kumar Singh.** Error Detection and Correction by Hamming Code // International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC). - 2016. - P. 35-37.
2. Analyzing area and performance penalty of protecting different digital modules with Hamming code and triple modular redundancy / **R. Hentschke, F. Marques, F. Lima, et al** // Proceedings. 15th Symposium on Integrated Circuits and Systems Design. - 2002. - P. 95-100.
3. **Danilov Igor A., Gorbunov Maxim S., Antonov Andrey A.** SET tolerance of 65 nm CMOS majority voters: A comparative study // 14th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS). - 2013. - P. 1597-1602.

4. **Benites L.A. C. and Kastensmidt F. L.** Automated design flow for applying triple modular redundancy (TMR) in complex digital circuits // IEEE 19th Latin-American Test Symposium (LATS). - 2018. - P. 1-4.
5. **Melikyan V., Martirosyan M., Piliposyan G.** 14nm Educational Design Kit // Capabilities Deployment and Future Small Systems Simulation Symposium. - 2018. - P. 37-41.
6. Design Compiler® User Guide. - Synopsys Inc., 2019. - P. 90-276.
7. Multi-Voltage and Multi-Threshold Low Power Design Techniques for ORCA Processor Based on 14 nm Technolog / **V. Melikyan, M. Martirosyan, D. Babayan, et al** // 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - 2018. - P. 116-120.
8. VCS® User Guide. - Synopsys Inc. 2019. - P. 551-562.
9. Custom WaveView™ User Guide, - Synopsys Inc., 2019. - P. 113-124.

Russian-Armenian University, National Polytechnical University of Armenia, Yerevan State University. The material is received on 20.01.2020.

Վ.Ա. ԶԱՆՓՈՒԱՐՈՎ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ս.Ս. ԱԲԱԶՅԱՆ, Հ.Վ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ԱՆԿԱՆՈՆ ՄԽԱԼՆԵՐԻ ՆԵՐՄՈՒԾՈՒՄԸ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

ԻՆՔՆՈՐՈՇՄԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ

Ցուցադրվում է անկանոն սխալների ազդեցությունը ինքնորոշման սխեմայի վրա, ինչպիսին է Հեմինգի կոդի սխեման: Անկանոն սխալների ներմուծման համար նախագծվել է Verilog լեզվով մոդել, որը կենտրոնանում է ճշգրիտ աշխատող Հեմինգի կոդի ելուստների վրա: Փականների մակարդակի մոդելավորումը ցույց է տալիս, որ նույնիսկ այն տվյալները, որոնք ստուգում են անցել ինքնորոշման սխեմայի միջոցով, կարող են աղավաղվել անկանոն սխալների ազդեցությամբ, ինչպիսիք են ճառագայթման էֆեկտները: Վերջնական ձախողումների տոկոսը սխալների ներմուծումից հետո կազմում է 61%, ի համեմատ առանց սխալների մոդելավորման: Որպես նկատված ձախողումների կասեցման միջոց ներկայացված է եռակի մոդուլային պահեստավորման մեթոդի կիրառումը՝ Հեմինգի կոդի սխեմայի օգտագործմամբ: Առաջարկված մոդելավորման և կիրառման մեթոդները կարող են օգտագործվել ժամանակակից ավտոմատացված ինտեգրալ սխեմաներում, որտեղ տեղեկույթի ճշգրիտ փոխանցումն ունի վճռորոշ նշանակություն, ինչպես նաև կարող են օգտագործվել թվային նախագծման ընթացակարգում:

Առանցքային բառեր. սխալի ներմուծում, սխալի գեներացում, ճառագայթում, մոդելավորում, թվային նախագծում, Հեմինգի կոդ, եռակի մոդուլային պահեստավորում, ստուգում:

В.А. ДЖАНПОЛАДОВ, А.А. ПЕТРОСЯН, С.С. АБАЗЯН, А.В. МАРГАРЯН

**ВНЕДРЕНИЕ И СИМУЛЯЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК В
АВТОКОРРЕКТИРУЮЩИХ СХЕМАХ**

Показано влияние случайных ошибок на схему автокоррекции, такую как схема кода Хэмминга. Для их внедрения разработана модель на языке Verilog, которая фокусируется на выходных шинах корректно работающей схемы кода Хэмминга. Симуляция на уровне вентилей показывает, что даже данные, прошедшие проверку в автокорректирующих схемах, могут быть искажены под влиянием случайных ошибок, таких как радиационные эффекты. Конечный процент сбоев после внедрения случайных ошибок составляет 61% в сравнении с симуляцией без внедрения ошибок. В качестве примера предотвращения наблюдаемых сбоев представлена реализация методологии тройного модульного резервирования со схемой кода Хэмминга. Предлагаемые методы симуляции и реализации могут быть использованы в современных интегральных схемах для автоматизированных систем, где передача данных имеет критически важное значение, а также могут быть внедрены в стандартный маршрут проектирования.

Ключевые слова: внедрение ошибки, генерация ошибки, радиация, симуляция, цифровое проектирование, код Хэмминга, тройное модульное резервирование, верификация.

S.S. HARUTYUNYAN, HAKOB T. KOSTANYAN, M.T. GRIGORYAN,
HARUTYUN T. KOSTANYAN, G.A. VOSKANYAN, A.K. HAYRAPETYAN

A RELIABLE PMOS-BASED CHARGE PUMP ARCHITECTURE

The design of the charge pump circuit with two different PMOS and NMOS architectures has been done, so that the output will receive 1.5 times the voltage of the power supply. The surfaces, speed and reliability of the two circuits were evaluated. In the proposed PMOS structure, two key transistors have no reliability problem as opposed to the NMOS structure, which is due to the difference of the transistors' bulk-source terminal voltages. The variation of the output signal of the proposed PMOS scheme is less than in the NMOS scheme but the area is 1,26 times larger.

Keywords: Charge pump, Dickson's charge pump, low power design, DC/DC converter, aging.

Introduction. In modern integrated circuits technological processes continue to shrink the channel length of transistor' up to 5nm. It gives an opportunity to provide more functionality by increasing the device density in the unit area of die.

Due to low power consumption requirement the supply voltage values also have decreased. Another problem which should be solved during the design process of integrated circuits is the transistors' protection from over-voltages and possible stress situations, which could cause degradation of the threshold voltage during operation.

There are devices which require operation voltages higher than the nominal supply voltage (for example low power flash memories). So, circuits which could offer voltage higher than supply voltage are needed. For this type of operations charge pumps are widely used. A charge pump can provide voltage higher than the supply voltage, acting as a DC/DC voltage converter. The output voltage value of the charge pump could be a number of times higher than the nominal supply voltage. The key devices in the charge pump's structure are capacitors which are used as energy collection storages.

Dickson's charge pump (Fig.1) is one of the well-known charge pump architectures, which is used in modern integrated circuits. The circuit works with two differential clock signals, whose amplitude is equal to the nominal supply voltage (V_{supply}) [1]. The NMOS diode-connected transistors in Dickson's charge pump architecture are used as switches for every stage of the circuit. The current flows through the NMOS transistors charging the output

capacitors for each stage, which are connected parallelly. It gives an opportunity to have a higher DC voltage after each stage.

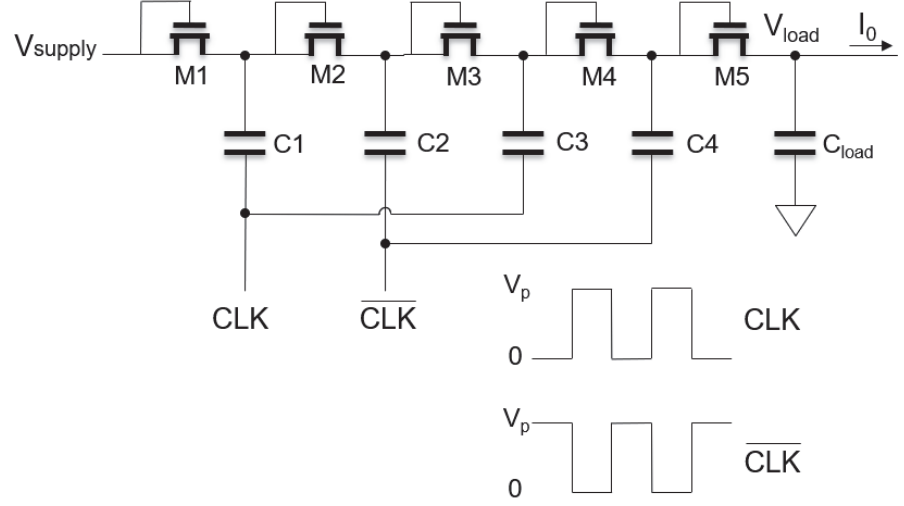


Fig.1. Dickson's charge pump architecture

The circuit uses the V_{supply} as an input voltage, and the output of each stage differs from the previous one by constant V_d voltage, which, in the ideal case, is equal to the V_{supply} . By using equation (1), the number of the required stages (N) could be calculated [1]:

$$N = \frac{V_{load} - V_{in}}{V_d} . \quad (1)$$

The main disadvantage of Dickson's charge pump is the body effect of NMOS transistors which causes gain degradation for higher N values.

The proposed Charge Pump. The schematic view of the proposed charge pump is shown in Fig 2. The architecture is based on NFET transistor with a single supply. The charge pump works with two differential clock signals to control the settling time of the circuit. The M1 and M2 NFET transistors are in positive feedback, which decreases the charging time of the capacitors.

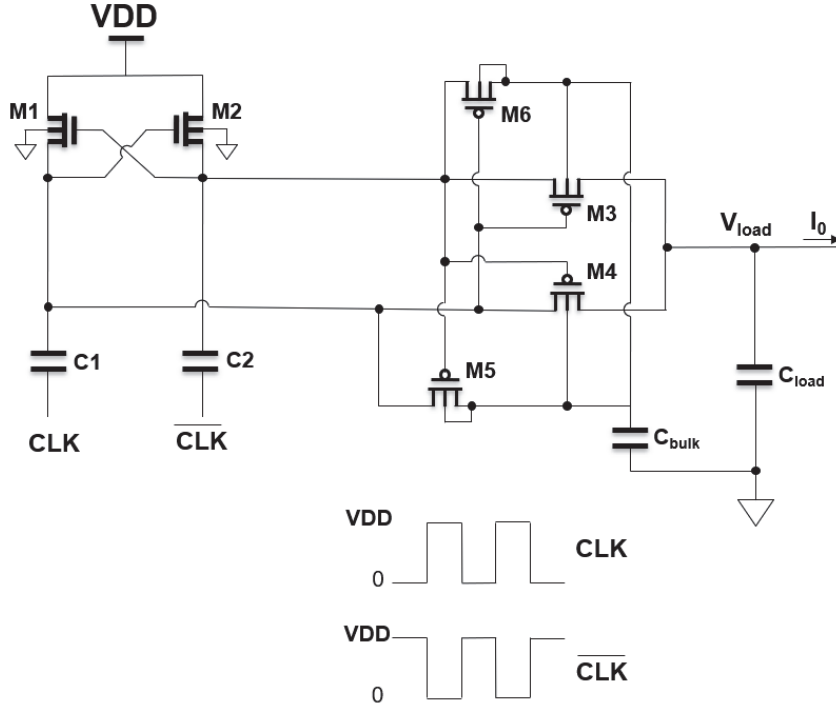


Fig.2. The proposed charge pump with a NFET architecture

The M3 and M4 transistors are used as pass devices to formulate the output voltage. Charging the Cbulk capacitor with M5 and M6 transistors helps to cancel the bulk effect for the M3 and M4 devices. The circuit provides 1.5 times higher voltage than the supply, when the load is enabled.

The charge pump circuit could be used in analogue architectures to supply voltage regulators, voltage-controlled oscillators (VCO), etc. The main disadvantage of such a structure is the gate-bulk voltage value of the M1 and M2 transistors. During operation, when the load is disabled, for ideal case the output voltage is equal to $2V_{DD}$ and the M1 and M2 transistors work under stress conditions. This can affect the threshold voltage and the drain source current of transistors, which will lead to the output voltage value degradation.

By using high voltage input transistors, it is possible to solve the gate-bulk voltage issue, and transistors will operate without stress, as the allowed gate-bulk voltage for high voltage transistors is higher than $2V_{DD}$. But the disadvantage of this structure is that it is not reasonable to use high voltage input transistors in VDD domain [2]. Simulation results show that the output in such a structure will be degraded (Fig. 3).

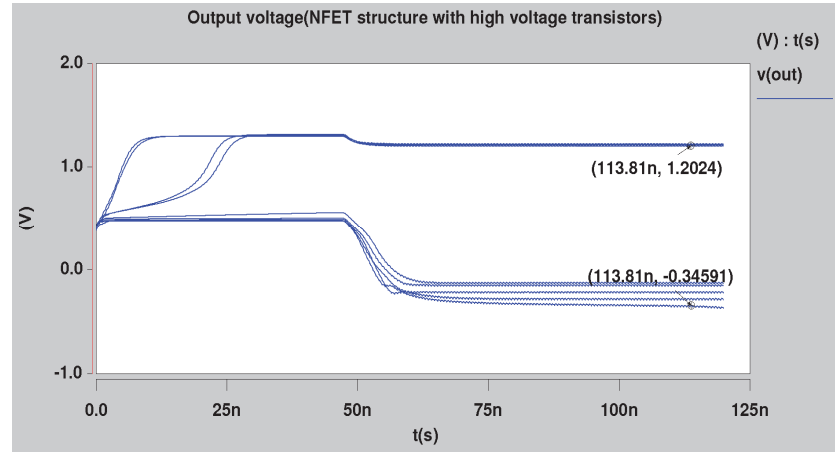


Fig.3. The output voltage for the NFET structure with hv transistors

The problem described above is solved by using the PMOS structure which is shown in Fig 4. The bulks of the M1 and M2 PFET transistors are connected to node V_Cbulk, hence excluding the stress possibility for them. The Cbulk capacitance charges to $2V_{DD}-V_{th}$ level during the operation of the circuit. It gives an opportunity not to have a higher voltage than the power supply between any two terminals of the transistors.

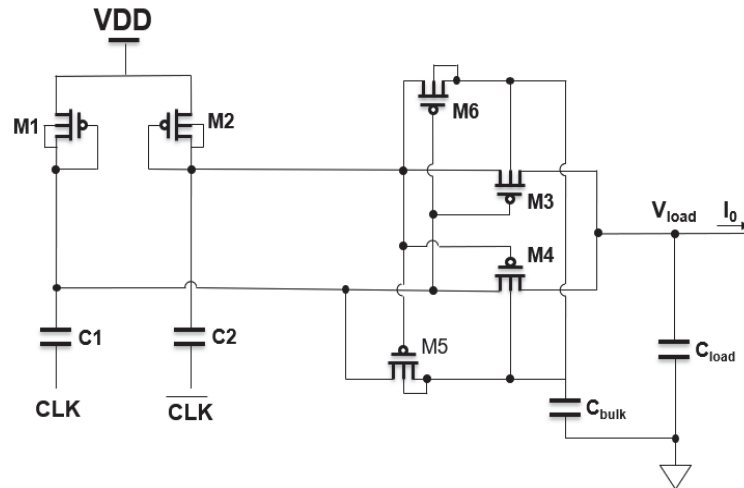


Fig.4. The proposed charge pump with a PFET architecture

Simulation Results. Both circuits have been designed by using the SAED 14 nm [3] technology and the Custom compiler design tool [4], and simulated by the HSPICE simulation tool [5]. An input voltage has been set to 0.8V expecting 1.2V in the output of the circuit.

Fig. 5 and Fig. 6 show the output voltage numbers during the process variation. Typical (TT), slow (SS), fast (FF), slow-fast (SF) and fast-slow (FS) models of transistors have been used. -40°C and 125°C have been used as bound numbers for temperature.

For the NMOS structure the output voltage variation is $1.2\text{V} \pm 7.25\%$ and for the PMOS- $1.2\text{V} \pm 4.2\%$. The area of the PMOS charge pump is 26% larger than that of the NMOS.

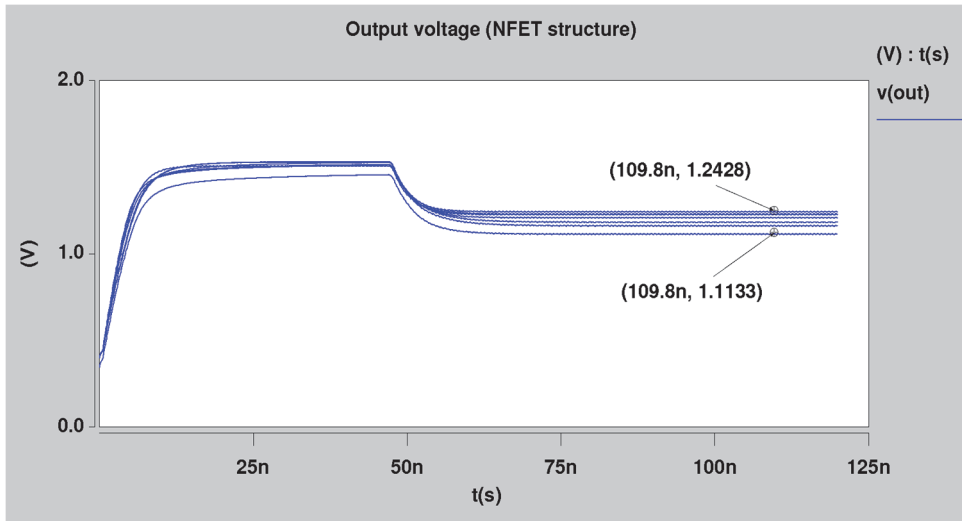


Fig.5. The output voltage for the NFET structure

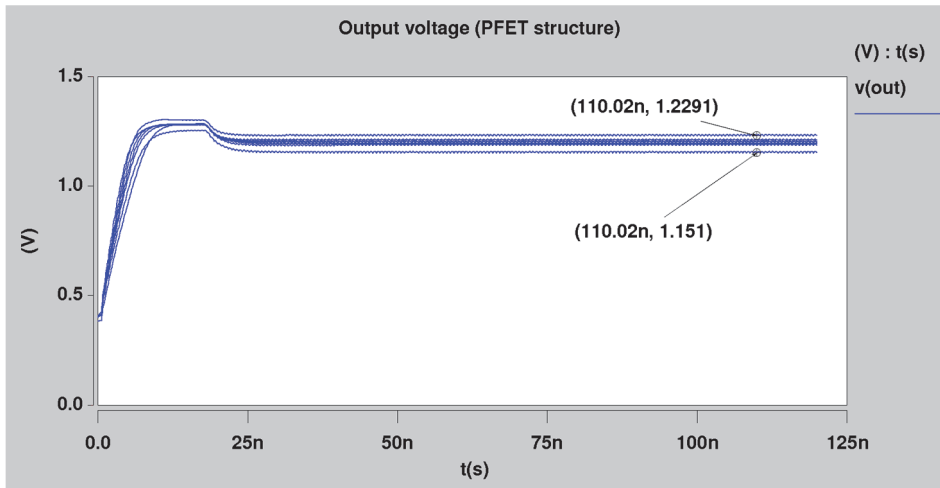


Fig.6. The output voltage for the PFET structure

The table below shows the occupied area of the PFET and NFET structures and the output voltage measurements during temperature and process variations. The advantages of the PFET structure is the noise immunity and the less output voltage spread, and the disadvantage is the area occupied.

Table

Output voltage numbers during temperature and process variations

Process	Temperature, (T °C)	Output voltage (PFET)	Output voltage (NFET)
TT	25	1.21	1.21
SF	-40	1.24	1.23
SF	125	1.2	1.23
FS	-40	1.2	1.11
FS	125	1.15	1.18
SS	-40	1.22	1.1
SS	125	1.19	1.16
FF	-40	1.22	1.24
FF	125	1.17	1.23

Conclusion. The charge pump architecture has been developed by mixing Dickson's and cross-coupled structures. The proposed circuit successfully provides 1,5 times higher input voltage at the output with a 4.2% voltage variation.

REFERENCES

1. A gain-controlled, low-leakage Dickson charge pump for energy-harvesting applications/ **A. Mahmoud, M. Alhawari, B. Mohammad, H. Saleh, & M. Ismail**// IEEE Transactions on Very Large-Scale Integration (VLSI) Systems.- 2019.- 27(5).- P. 1114-1123.
2. **Razavi B.** Design of analog CMOS integrated circuits.- McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering.- Singapore, 2005. – 684p.
3. **Melikyan V., Martirosyan M., Melikyan A., Piliposyan G.** 14nm Educational Design Kit: Capabilities, Deployment and Future // Small Systems Simulation Symposium.- Niš, Serbia, February, 2018. - P. 37-41.
4. Galaxy Custom Designer Schematic Editor User Guide.- Synopsys Inc, 2014. -236p.
5. Hspice Reference Manual.- Synopsys Inc, 2017. -846p.

National Polytechnical University of Armenia. The material is received on 26.02.2020.

Մ.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, ՀԱԿՈԲ Տ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ, Մ.Տ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ,
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆ Տ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ, Գ.Ա. ՈՍԿԱՆՅԱՆ, Ա.Կ. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ

**Պ ՏԻՊԻ ՄԵՏԱՂ - ՕՔՍԻԴ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ (ՄՕԿ) ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԲԱՐՁՐ
ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՄԲ ԼԻՑՔԻ ՊՈՄՊԻ ՄԽԵՄԱ**

Կատարվել է երկու տարբեր ՊՄՕԿ և ՆՄՕԿ կառուցվածքներով, լիցքի պոմպով լարման կրկնապատկիչի սխեմաների նախագծում այնպես, որ ելքում ստացվի սնման լարումից 1,5 անգամ մեծ լարում: Գնահատվել են երկու սխեմաների մակերեսները, արագագործությունը և հուսալիությունը: Առաջարկվող ՊՄՕԿ կառուցվածքով նախագծված սխեմայում երկու առանցքային տրանզիստորներ չունեն հուսալիության խնդիր՝ ի տարբերություն ՆՄՕԿ կառուցվածքով տրանզիստորների, որը պայմանավորված է տրանզիստորների հարթակ-ակունք պոտենցիալների տարբերությամբ: Առաջարկվող սխեմայի ելքային ազդանշանի վարիացիան ավելի քիչ է, քան ՆՄՕԿ կառուցվածքով սխեմայում, սակայն մակերեսը 1,26 անգամ մեծ է:

Առանցքային բառեր. լիցքի պոմպ, Դիքսոնի լիցքի պոմպ, ցածր էներգասպառմամբ կառուցվածք, հաստատուն լարման փոխակերպիչ, ծերացում:

**С.С. АРУТЮНЯН, АКОП Т. КОСТАНИЯ, М.Т. ГРИГОРЯН,
АРУТЮН Т. КОСТАНИЯ, Г.А. ВОСКАНЯН, А.К. АЙРАПЕТАН**

СХЕМА ПОМПЫ ЗАРЯДОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИКОВ П ТИПА С ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ

Спроектированы два разных умножителя напряжения с помпой зарядов на основе металл-оксид-полупроводников п типа (ПМОП) и металл-оксид-полупроводников н типа (НМОП) так, чтобы напряжение на выходе получилось в 1,5 раза больше питания. Дана оценка площади, быстродействия и надежности двух схем. В отличие от НМОП структуры, в предлагаемой ПМОП структуре указанные два транзистора не имеют проблему старения, что обусловлено напряжением между подложкой и истоком транзисторов. Вариация на выходе в предлагаемой схеме меньше, чем в схеме на основе НМОП структуры, но площадь больше в 1,26 раза.

Ключевые слова: помпа зарядов, помпа зарядов Диксона, архитектура с низкой энергопотребностью, преобразователь постоянного напряжения, деградация.

E.H. DANOYAN, H.Y. AYUNTS

IMAGE INTERPOLATION USING MIXED SPLINES

In our digital era image interpolation and resampling have many usages in various fields (computer graphics, medicine, geography, astronomy). This paper presents an overview of some interpolation techniques (nearest neighbor, bilinear, bicubic) and proposes a new interpolation type where the results are good and the execution speed is fast.

Keywords: Image Interpolation, Image Resampling, Bicubic, Bilinear, Gradient, Sobel.

Introduction. Image resampling is a fundamental and widely used image operation, with applications in image display, compression and progressive transmission. Upsampling is the increasing of the spatial resolution while keeping the 2D representation of an image, that is improving the quality of an image by increasing the number of pixels. Downsampling is the reduction of the resolution. It is used to reduce the storage and for image transmission. The standard methods for resampling are the nearest neighbor, bilinear interpolation, bicubic interpolation. These methods have been thoroughly studied and compared in the past [1]. Bicubic gives better results compared with the other two, but it also has the longest execution time [2]. Therefore, it is one of the most widely used interpolation techniques. In this paper, we examine these methods and propose a new interpolation type (mixed interpolation) which gives good results and faster execution time.

1. Image Interpolation Algorithms. The main method for image resampling is image interpolation. There are three main interpolation techniques:

- Nearest neighbor;
- Bilinear interpolation;
- Bicubic interpolation.

1.1. Nearest Neighbor. The nearest neighbor (Fig. 1) is the simplest interpolation type. The color of a pixel in the result image is the color of the nearest pixel of the original image. From [3], the interpolation kernel is:

$$k(x) = \begin{cases} 1 & |x| < 0.5 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

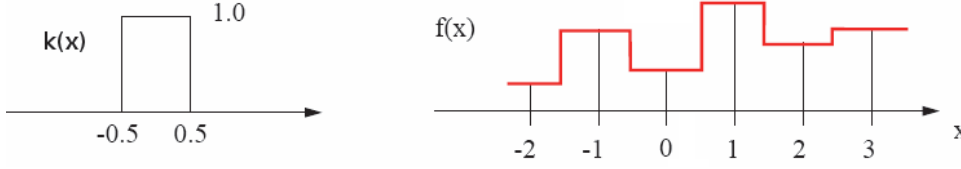


Fig. 1. Nearest neighbor interpolation

This method produces blocky effects on the result in case of upsampling and removes thin edges in case of downsampling. However it is the fastest algorithm.

1.2. Bilinear Interpolation. Bilinear interpolation (Fig. 2) considers the closest 2×2 neighborhood of the known pixel values surrounding the unknown pixel. From [3], the interpolation kernel is:

$$k(x) = \begin{cases} 1 - |x| & |x| < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

This method gives better results than the last one.

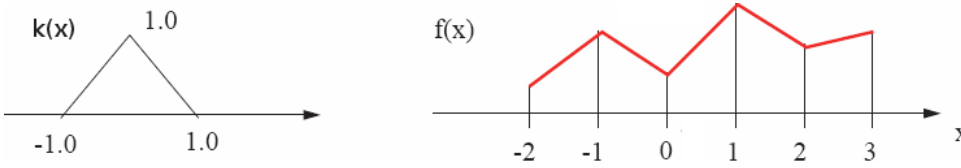


Fig. 2. Bilinear interpolation

1.3. Bicubic Interpolation. Bicubic interpolation (Fig. 3) considers the closest 4×4 neighborhood of the known pixels. The convolution kernel is composed of cubic splines. The kernel is given with this formula from [4]:

$$k(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 + (a+3)|x|^2 + 1|x| & |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & 1 < |x| < 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $a \in [-0.75; -0.5]$.

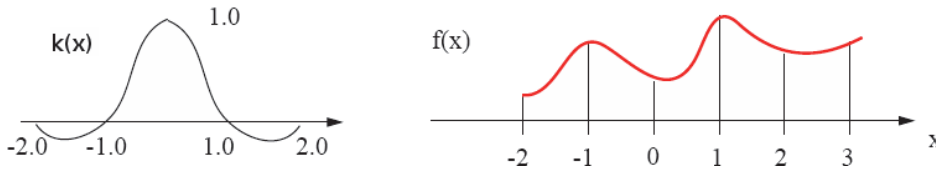


Fig. 3. Bicubic interpolation

In all these methods, the result value of the unknown pixel is calculated with this formula from [5]:

$$g(x, y) = \sum_{x_0=\lfloor x \rfloor - \lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{\lfloor x \rfloor + \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + 1} \sum_{y_0=\lfloor y \rfloor - \lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{\lfloor y \rfloor + \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + 1} k(x - x_0)k(y - y_0)f(x_0, y_0),$$

where $m = 0$ for the nearest neighbor method, $m = 1$ for bilinear and $m = 3$ for bicubic interpolation.

The results show that bicubic is one of the best interpolation techniques but has the longest execution time [2], because for every unknown pixel, the value of 16 other pixels need to be considered. On the other hand, it gives smoother results in case of upsampling and less loss of information in case of downsampling.

2. The proposed method: Mixed Interpolation. The higher the interpolation order gets, the better are getting the results, though the execution time is getting slower and slower. Image resizing is used in video processing where every millisecond of working time is important. So we propose the adaptive mixed interpolation method from these three main methods. We will use the image gradient definition from [5].

The first derivatives in image processing are implemented, using the magnitude of the gradient. For the function $f(x, y)$, the gradient of f at coordinates (x, y) is defined as a two-dimensional column vector:

$$\nabla f \equiv grad(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}.$$

The magnitude (length) of vector ∇f is denoted as $M(x, y)$, where

$$M(x, y) = mag(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

is the value at (x, y) of the rate of change in the direction of the gradient vector. $M(x, y)$ is an image of the same size as the original. Usually, we refer to it as the gradient image.

We now define discrete approximations to the preceding equations and hence formulate the appropriate filter masks [5]. In order to simplify the discussion that follows, we will use the notation in Fig. 4(1) to denote the intensities of image points in a 3x3 region. For example, the center point (z_5), denotes $f(x, y)$ at an arbitrary location, (x, y) , z_1 denotes $f(x - 1, y - 1)$ and so on. Approximations to g_x and g_y are as follows:

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3),$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7).$$

z_1	z_2	z_3	-1	-2	-1	-1	0	1
z_4	z_5	z_6	0	0	0	-2	0	2
z_7	z_8	z_9	1	2	1	-1	0	1
<i>1</i>			<i>2</i>			<i>3</i>		

Fig. 4. A 3x3 region of an image (1), Sobel operators (2), (3)

These equations can be implemented using Sobel operators from Fig. 4 (2), (3). The difference between the third and first rows of the 3x3 image region implemented by the mask in Fig. 4(2) approximates the partial derivative in the x-direction, and the difference between the third and first columns in the other mask approximates the derivative in the y-direction.

The idea behind using a weight value of 2 in the center coefficient is to achieve some smoothing by giving more importance to the center point. After computing the partial derivatives with these masks, we can approximate the magnitude of the gradient.

$$M(x, y) \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|.$$

After getting the gradient image we divide the intensity range into three parts:

$$[m, M] \rightarrow \begin{cases} [0, a] \rightarrow \text{nearest neighbor,} \\ (a, b] \rightarrow \text{bilinear,} \\ (b, M] \rightarrow \text{bicubic,} \end{cases}$$

where $m = \min_{(x,y)} M(x, y)$, $M \equiv \max_{(x,y)} M(x, y)$ and $m < a < b < M$ (for example: $a = \left\lceil m + \frac{(M-m)}{3} \right\rceil$, $b = \left\lceil m + \frac{2(M-m)}{3} \right\rceil$).

If the 2x2 neighborhood of the known pixels surrounding the unknown pixel has a small intensity of the gradient, we will use the nearest neighbor method on that pixel. Likewise we will use bilinear interpolation for medium values. Otherwise, we will use bicubic interpolation. So we can decrease the execution time by using the fastest interpolation for the areas that don't have to be interpolated very precisely.

3. Results and Discussion. In order to test the performance of the algorithms, we have developed a C++ implementation on Intel(R) Core(TM) i3-5005U CPU 2.00GHz, 4.0GB RAM computer [6].

Here are some upsampling results of different-sized images (50x50 , 100x56, 100x45), where the scale factor is 4 (Fig. 5, Fig. 6 and Fig. 7).

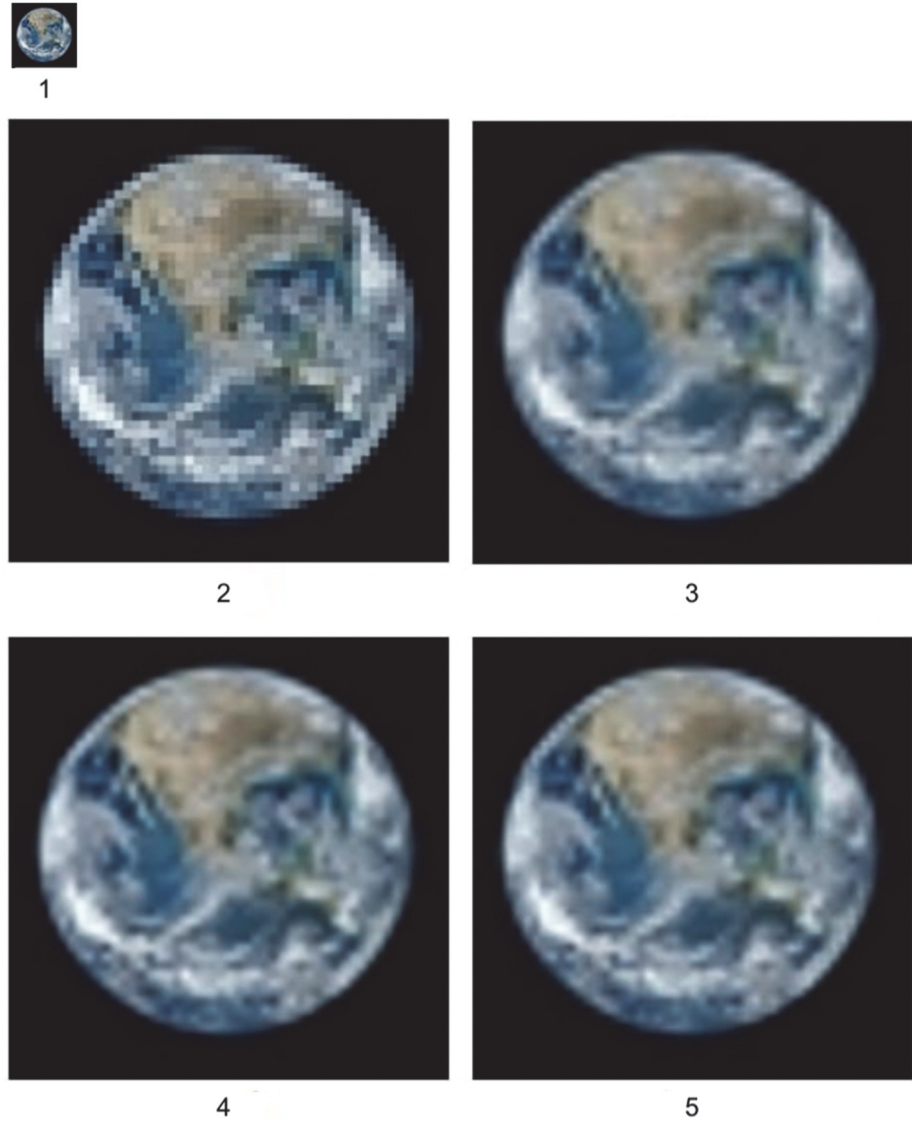


Fig. 5. Source image (1), nearest neighbor interpolation (2), bilinear interpolation (3), bicubic interpolation (4), mixed interpolation (5)

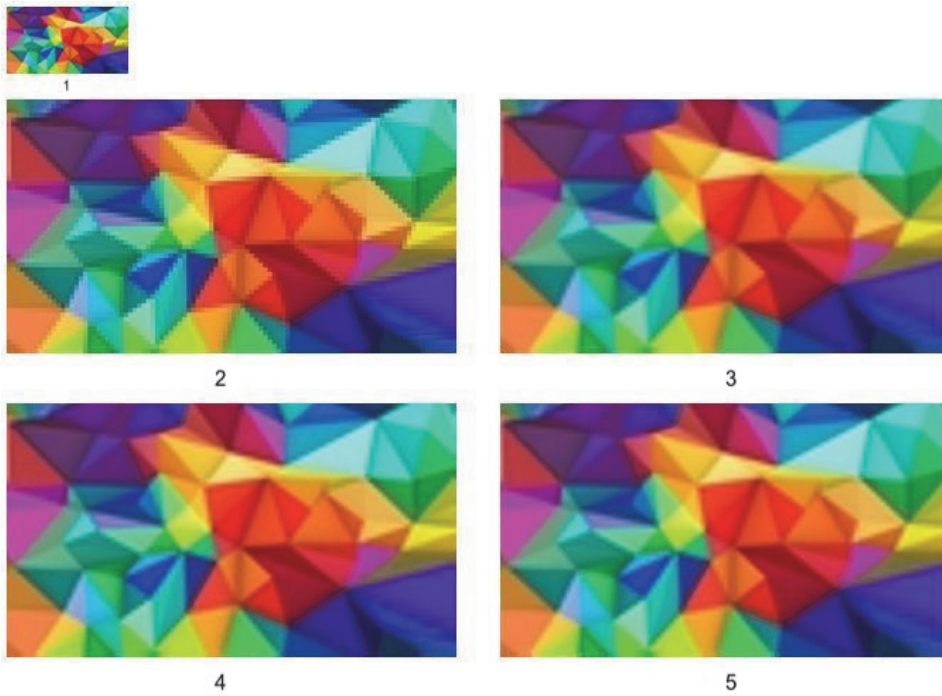


Fig. 6. Source image (1), nearest neighbor interpolation (2), bilinear interpolation (3), bicubic interpolation (4), mixed interpolation (5)

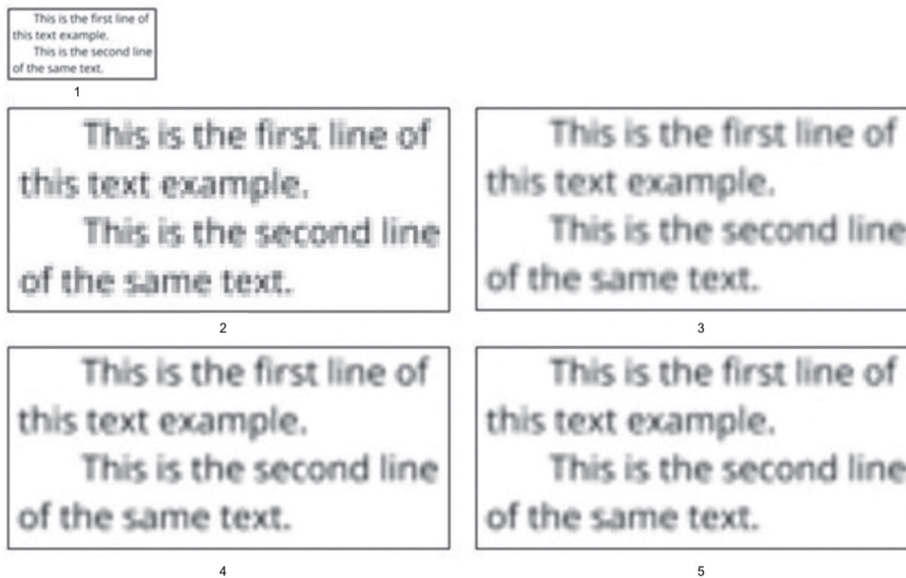


Fig. 7. Source image (1), nearest neighbor interpolation (2), bilinear interpolation (3), bicubic interpolation (4), mixed interpolation (5)

Table

Timing Results (milliseconds)

Method Scale	Nearest neighbor		Bilinear		Bicubic		Mixed	
2	40	12	300	82	1068	270	483	168
4	161	34	1676	303	4695	1185	2494	663
8	605	180	6183	1409	18864	4196	9301	2519

In the Table above are shown the timing results of 200x100, 100x50-sized image upsampling. The results show that the mixed interpolation can give as good results as the bicubic, working 1.5-2 times faster. So, for example, in the image of the earth (Fig. 5), there is no need to calculate the pixel values from the 16 neighbor pixels in the black areas. The color of the pixel will be black in all methods. That is why, we use faster methods in these areas, decreasing the execution time.

Image resizing has many applications in various fields, such as computer graphics, medicine, geography, astronomy. In all these cases, good results and fast time is very important especially when the program is working on a large number of images. The best example is the usage in video processing where we can consider video as a large number of frames.

Conclusion. Mixed image interpolation is the overlay of the three other methods for getting good results and faster execution time. This method can be used in various fields where the working time of the algorithm is very important, and the results will have to be as good as possible for the corresponding time.

REFERENCES

1. **Parker J.A., Kenyon R.V. and Troxel D.E.** Comparison of Interpolating Methods for Image Resampling // IEEE Transactions on Medical Imaging. - 1983. - Vol. MI-2. - P. 31-39.
2. **Sane P.S., Gavade A.B.** Super Resolution Image Reconstruction by using Bicubic Interpolation // Advanced Technologies in Electrical and Electronic Systems. – 2013. - P. 204-209.
3. **Roy R., Pal M. and Gulati T.** Zooming Digital Images using Interpolation Techniques // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. – 2013. - Vol. 2, issue 4. - P. 34-45.

4. **Keys R.G.** Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1981.- Vol. ASSP-29. - P. 1153-1160.
5. **Gonzalez R.C., Woods R.E.** Digital Image Processing. - 3rd edition. – 2008. - 976 p.
6. <https://github.com/HrachA/ImageInterpolation>

Yerenav State University. The material is received on 03.12.2019.

Է.Հ. ԴԱՆՈՅԱՆ, Հ.Յ. ԱՅՈՒՆՑ

ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԻՆՏԵՐՊՈԼՅԱՑԻԱՆ ԽԱՌԸ ՍՊԼԱՅՆՆԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ներկա տեխնոլոգիական դարաշրջանում պատկերների ինտերպոլյացիան ունի շատ կիրառություններ տարբեր բնագավառներում (համակարգչային գրաֆիկա, բժշկություն, աշխարհագրություն, աստղագիտություն): Ներկայացվում են արդեն հայտնի ինտերպոլյացիայի եղանակները (ամենամոտ հարևան, երկխորանարդային, երկգծային), և առաջարկվում է ինտերպոլյացիայի նոր եղանակ, որը տալիս է լավ արդյունքներ և ծրագրի արագ աշխատանք:

Առանցքային բառեր. պատկերների ինտերպոլյացիա, պատկերների մասշտաբավորում, երկխորանարդային, երկգծային, գրադիենտ, Սոբել:

Э.А. ДАНОЯН, Г.Ю. АЮНЦ

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ СМЕШАННЫМИ СПЛАЙНАМИ

В настоящее время наряду с технологическим прогрессом интерполяция изображений получила широкое применение в различных областях (компьютерная графика, медицина, география, астрономия). Представлен обзор некоторых методов интерполяции (ближайший сосед, билинейный, бикубический). Предлагается новый метод интерполяции, дающий удовлетворительные результаты и высокую скорость выполнения программы.

Ключевые слова: интерполяция изображений, масштабирование изображений, бикубический, билинейный, градиент, Собель.

Г.Г. ХАЧАТРЯН, С.О. СИМОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ И ТРЕНИРОВКИ
НА КОМПЬЮТЕРНОМ ТРЕНАЖЕРЕ

Выполнен статистический анализ результатов обучения и тренировки на компьютерном тренажере, а также предложен метод автоматизации вычислений в программах *Microsoft Excel* и *MathCAD*. Разработан метод проверки нулевой гипотезы о распределении выборки при помощи вычисления критерия χ^2 в этих программах. Доказано, что оценки тренируемых на компьютерном тренажере распределены по закону, похожему на зеркальное отображение закона Релея. Обосновано преимущество компьютерной тренажерной отработки упражнений над традиционной.

Ключевые слова: компьютерный тренажер, артиллерия, обработка результатов экспериментов, математическая статистика, распределение Релея, критерий Пирсона.

Введение. Эффективное боевое применение противотанковых артиллерийских подразделений в борьбе с танками противника в ходе общевойскового боя является гарантом успеха выполнения поставленной задачи, а подготовка специалистов в данной области с применением новейших информационных технологий дает возможность постоянного усовершенствования навыков обучаемых.

Информационные технологии позволяют существенно повысить уровень подготовки специалистов и сделать обучение более интересным. Важную роль здесь играют компьютерные тренажеры (КТ), предназначенные для планирования военных операций, моделирования работы боевой техники, экономии средств, выработки необходимых навыков у личного состава. Все это является звеном сложной системы "человек - компьютер", в которой при помощи КТ у человека формируются необходимые навыки и умения.

Несмотря на существующие исследования, вопрос обучения и тренировки личного состава противотанковых подразделений ствольной артиллерии обоснован и исследован недостаточно. Отчасти это объясняется обновлением парка вооружений многих стран различными видами высокоточного оружия. Однако данный вопрос остается все еще актуальным в связи с некоторыми преимуществами применения ствольной артиллерии. Исходя из вышесказанного, в статье предпринята попытка освещения целесообразности внедрения КТ в организацию учебного и тренировочного процесса путем исследования

эффективности его использования. Обобщен опыт использования КТ в войсках и на основании проведенных исследований дана объективная оценка эффективности методов компьютерного обучения.

Научная новизна работы заключается в обработке результатов экспериментов по выявлению эффективности тренажерного обучения с применением методов теории вероятностей и математической статистики, в частности – закона распределения, наилучшим образом описывающего соответствие полученных экспериментальных данных гипотетическому распределению. Проверка гипотезы проводилась вычислением критерия Пирсона.

Исследования проводились во время занятий в одной из артиллерийских войсковых частей ВС РА. Батарея артиллерийского дивизиона, условно именуемая группой «А» (контрольная группа), после завершения теоретических занятий выполняла упражнения по стрельбе прямой наводкой при помощи имеющейся традиционной учебно-материальной базы.

Далее все военнослужащие той же батареи (группа «Б» – экспериментальная группа) отрабатывали те же упражнения в компьютерном классе, но уже с помощью КТ. В течение урока каждый обучаемый под руководством инструктора отрабатывал упражнения согласно курсу подготовки артиллерии. Результаты стрельбы вводились в базу данных программного обеспечения КТ, а затем следовал разбор стрельбы каждого обучаемого.

Контроль полученных знаний проводился во время полевых выездов, лагерных сборов, тактических учений, а также в конце учебного периода на месте постоянной дислокации войсковой части.

Всего было проведено более 200 занятий в стационарных и полевых условиях, на основании которых была пересмотрена программа обучения: составлено новое расписание занятий с большим уделением времени компьютерному тренажерному обучению и разработано новое учебно-методическое пособие по обучению стрельбе прямой наводкой.

Целью работы является исследование методами теории вероятностей и математической статистики количественной меры повышения эффективности боевой подготовки личного состава артиллерийского подразделения, а также автоматизация вычислений оценок обучаемых [1-12].

Результаты исследования. Образец результатов контрольных оценок обучаемых приведен в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Образец результатов контрольных оценок обучающихся по пятибалльной системе

Оценка	Количество оценок	
	Группа «А»	Группа «Б»
«2»	23	10
«3»	44	19
«4»	23	49
«5»	6	18

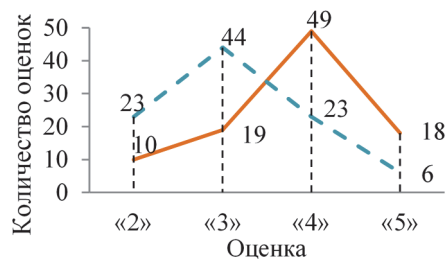


Рис. 1. Полигоны частот с результатами оценивания групп по пятибалльной системе

Курс подготовки артиллерии КПА-2012 [13] требует проведения учебного оценивания огневого поражения целей по пятибалльной системе без учета времени выполнения огневой задачи. Поскольку получение объективных и статистически значимых результатов и построение статистических гистограмм на основе четырех разрядов (реально для оценок используются четыре цифры) невозможны (рис. 1), было принято решение перевести оценивание с учетом времени выполнения огневой задачи в десятибалльную систему. Образец результатов контрольных оценок приведен в табл. 2 и на рис. 2. Как видно из таблицы, прирост среднего балла группы «Б» составил более 25%.

Таблица 2

Образец результатов контрольных оценок обучающихся по десятибалльной системе

Оценка, k	Количество оценок, m_i		Относительные частоты, m_i/n	
	Группа «А»	Группа «Б»	Группа «А»	Группа «Б»
«1»	2	1	0,0208	0,0104
«2»	2	2	0,0208	0,0208
«3»	5	3	0,0521	0,0313
«4»	14	4	0,1458	0,0417
«5»	21	7	0,2188	0,0729
«6»	25	12	0,2396	0,125
«7»	16	24	0,1667	0,25
«8»	6	25	0,0729	0,2604
«9»	3	17	0,0313	0,1771
«10»	2	1	0,0313	0,0104
Всего оценок, n	96	96		
Средний балл группы, $x_{ср.}$	5,56	6,96		

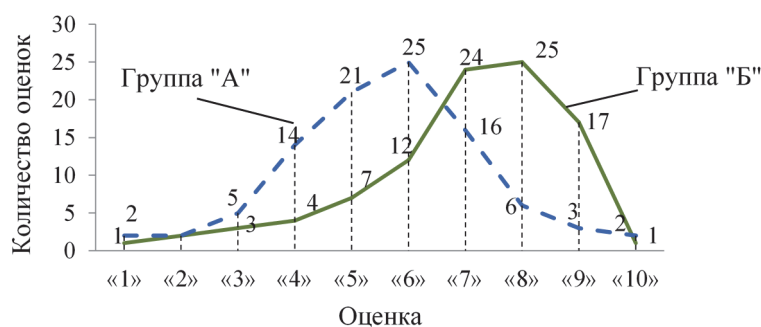


Рис.2. Полигоны частот с результатами оценивания по десятибалльной системе

Для автоматизации вычислений удобно использовать программу *Microsoft Excel* [14, 15]. Для этого значения нашей выборки вводим в соответствующие ячейки. Число значений выборки n рассчитывается при помощи функции **COUNT**, а среднее значение $x_{ср.}$, среднее квадратическое отклонение σ и дисперсия σ^2 - соответственно **AVERAGE**, **STDEV.P** и **VAR.P**.

На основании полигона частот (рис. 2) построены соответствующие гистограммы (рис. 3).

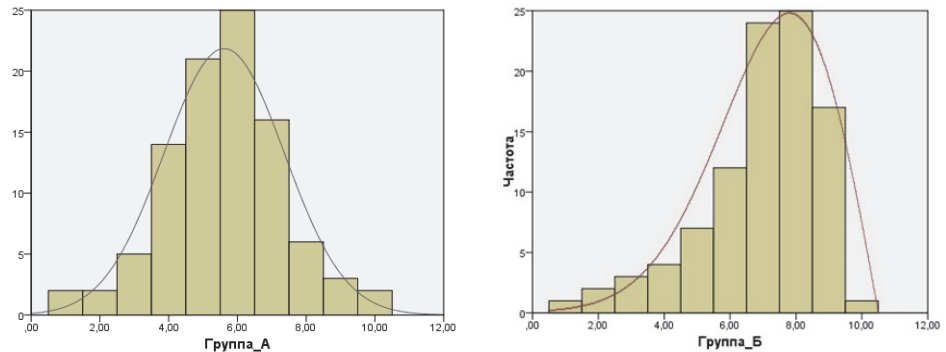


Рис.3. Гистограммы частот с результатами оценивания

Из рис. 3 видно, что распределение оценок для контрольной группы «А» имеет некоторое расхождение от распределения Гаусса, однако нас больше интересует группа «Б».

Исходя из вида гистограммы, выдвигается гипотеза о том, что оценки экспериментальной группы «Б» распределены по закону, описанному в [16], и имеют следующий вид:

$$f(x) = - \frac{x - x_{\max}}{(x_{\max} - M)^2} \cdot \exp\left(- \frac{(x - x_{\max})^2}{2(x_{\max} - M)^2}\right), \quad 0 \leq x \leq x_{\max}, \quad (1)$$

где $x_{\max} = 10$ – максимальное значение случайной величины (оценки); $M = 8$ – мода случайной величины. Однако при $M = 8$ график плотности вероятности не полностью охватывает крайние левые значения x . Поэтому, принимая $M = 7,3$, получим выражение

$$f(x) = - \frac{x - 10}{7,3} \cdot \exp\left(- \frac{(x - 10)^2}{14,6}\right), \quad (2)$$

график функции которого приведен на рис. 4. Как видно из рисунка, график функции (2) имеет схожесть с зеркальным отображением известного распределения Релея, плотность которого определяется выражением

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \cdot \exp\left(- \frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad x \geq 0, \sigma > 0, \quad (3)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение.

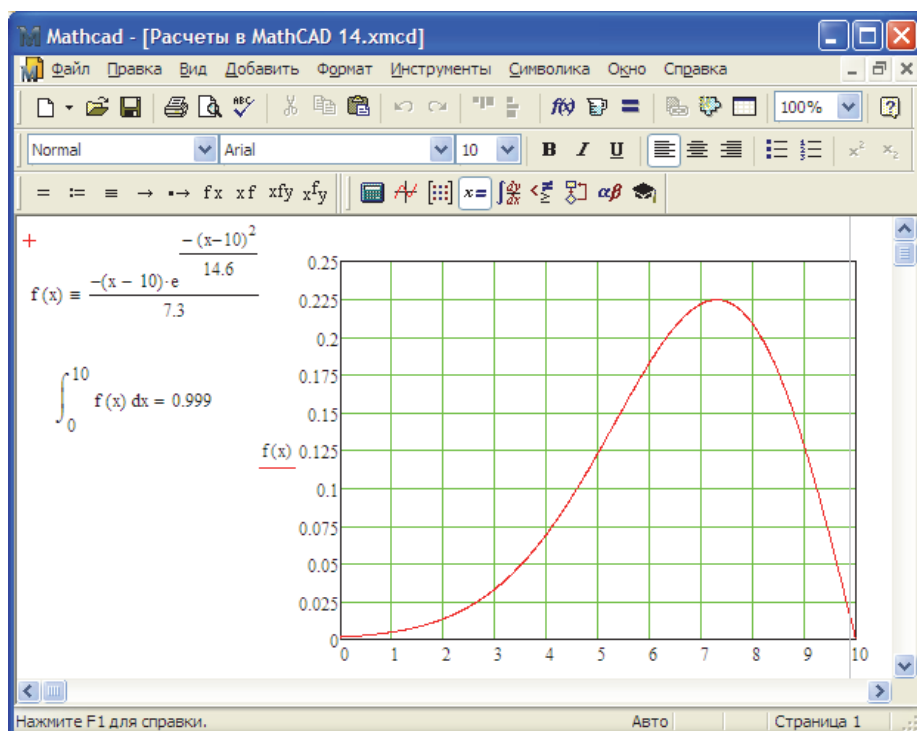


Рис. 4. График функции плотности вероятности (2) в программе MathCAD

Для проверки того, что полученные данные не противоречат гипотезе о виде (2) закона распределения оценок экспериментальной группы, применим критерий χ^2 (критерий Пирсона), определяемый формулой

$$\chi_q^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i}, \quad (4)$$

где $k = 10$ – число разрядов, на которые разбиты все опытные значения случайной величины x ; $n = 96$ – объем выборки; m_i – численность i -го разряда.

При $n \rightarrow \infty$, закон распределения χ_q^2 , независимо от вида закона распределения случайной величины x , стремится к закону χ^2 -распределения с $r = k - s$ степенями свободы, где s – число связей теоретического закона распределения (1), равное 2 [7, 11].

Значения вероятностей $P(\chi^2 \geq \chi_q^2)$ в зависимости от r и k , приводятся в книгах по теории вероятностей и математической статистике или могут быть рассчитаны программно, например, в *Microsoft Excel* функцией **CHISQ.INV.RT**.

Вероятность попадания P_i случайной величины x в i -й интервал вычисляется по выражению

$$P_i = \int_i^{i+1} f(x) dx \quad (i=0, 1, \dots, 10). \quad (5)$$

Введя функцию (2) в программу *MathCAD* [17, 18] и рассчитав интеграл (5) для каждого разряда, составим в *Microsoft Excel* таблицу значений (табл. 3) для вычисления критерия χ_q^2 .

Таблица 3

Таблица значений для вычисления критерия χ_q^2

Параметр	Значение										Всего
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
m_i	1	2	3	4	7	12	24	25	17	1	96
P_i	0,003	0,009	0,022	0,050	0,096	0,154	0,206	0,220	0,173	0,066	0,998
nP_i	0,272	0,824	2,112	4,800	9,216	14,78	19,78	21,12	16,61	6,336	95,85
χ_q^2	1,946	1,678	0,373	0,133	0,533	0,524	0,902	0,713	0,009	4,494	11,31

По таблице значений χ^2 [19] находим значение вероятности P для $r = 8$ и $\chi_q^2 = 11,31$. Искомая вероятность должна быть больше 0,1. В нашем случае $P_{табл} = 0,19 > 0,1$.

Следовательно, анализируя результаты данных, рассчитанных при помощи *Microsoft Excel* и *MathCAD*, можно принять нулевую гипотезу о распределении полученных группой «Б» оценок по закону (2).

Выводы

1. Применение программных средств *Microsoft Excel* и *MathCAD* автоматизирует работу, повышает эффективность выполнения многочисленных вычислений, тем самым значительно упрощая анализ результатов оценки личного состава артиллерийской батареи и статистической обработки данных.

2. Приведенную методику можно легко автоматизировать, создав соответствующее программное обеспечение.

3. Тренажерная отработка упражнений личным составом артиллерийской батареи более эффективна (прирост средней оценки составляет более 25%) и экономически выгодна, чем обучение при помощи старой методики на традиционной учебно-материальной базе.

Рекомендации

1. Полученные на КТ навыки рекомендуется закреплять комбинированием занятий в парке на штатном оружии.
2. Следует внести соответствующие поправки в курс подготовки артиллерии с переходом на десятибалльную систему оценивания и с учетом времени выполнения огневой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вавилова Г.В.** Математическая обработка результатов измерения. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 160 с.
2. **Зароченцева Е.П., Бобкова И.С., Малешина Н.А.** Математическая обработка результатов эксперимента: Методическое пособие для лабораторного физического практикума- Под ред. В.И. Короткова.-СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009.– 44 с.
3. **Пономарев В.Б., Лошкарев А.Б.** Математическая обработка результатов эксперимента.- Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2016. – 100 с.
4. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. -М.: Наука, 1974.- 564 с.
5. **Третьяк Л.Н.** Обработка результатов наблюдений. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.
6. **Кобзарь А.И.** Прикладная математическая статистика: Справочник для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
7. **Закс Л.** Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976.- 598 с.
8. **Матальцкий М.А., Романюк Т.В.** Теория вероятностей в примерах и задачах. – Гродно: Изд-во ГрГУ, 2002. – 248 с.
9. **Гмурман Е.С.** Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2004. – 404 с.
10. **Лобозкая Н.Л., Морозов Ю.В. Дунаев А.А.** Высшая математика. – М.: Высш. шк., 1987. – 319 с.
11. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций/ Под ред. **А.А. Свешникова**. – М.: Наука, 1970. – 656 с.
12. **Ребро И.В., Носенко В.А., Короткова Н.Н.** Прикладная математическая статистика для технических специальностей. – Волгоград: Изд-во ИУНЯ ВолгГТУ, 2011. – 149 с.
13. Курс подготовки артиллерии (КПА-2012). Часть II. Дивизион, батарея, взвод, оружие.- 2-е изд.- Ереван, 2013. - 160 с.
14. Обработка экспериментальных данных в MS Excel / **Сост. Е.Г. Агапова, Е.А. Битехтина**. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 32 с.
15. **Берк К., Кэйри П.** Анализ данных с помощью Microsoft Excel: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 560 с.
16. **Նալչաշյան Թ.Ա., Նիկոյան Ն.Ա.** Պրնձամոլիբդենային հանքաքարից մոլիբդենի արդյունավետ կորզման մի խնդրի շուրջ // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր. – Երևան, 2018. – Հատոր. 15, N4. – էջ 572 - 574:

17. **Очков В. Ф.** MathCAD 14 для студентов, инженеров и конструкторов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.
18. **Кирьянов Д.В.** MathCAD 14 в подлиннике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.
19. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. – 4-е изд., стер. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Национальный политехнический университет Армении, Министерство обороны РА.
Материал поступил в редакцию 25.11.2019.

Հ.Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՎԱՐԺԱՍԱՐՔԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ՎԱՐԺՅՄԱՆ ԱՐՑՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Իրականացված է համակարգչային վարժասարքի միջոցով վարժեցման արդյունքների վիճակագրական վերլուծություն, ինչպես նաև առաջարկված է *Microsoft Excel* և *MathCAD* ծրագրային փաթեթներում հաշվարկների ավտոմատացման եղանակ: Առաջարկված է նաև ընտրանքի բաշխման զրոյական վարկածի ստուգման եղանակ χ^2 չափանիշի (Պիրսոնի չափանիշի) միջոցով, որն ազատում է ձեռքի հաշվարկների ավելորդ աշխատանքներից և նշանակալիորեն հեշտացնում վիճակագրական տվյալների վերլուծությունը: Ապացուցված է, որ ուսուցանվողների գնահատականները համակարգչային վարժասարքի միջոցով վարժեցման դեպքում բաշխված են ըստ Ռեյլեյի օրենքի հայելային արտապատկերմանը նման օրենքի: Հիմնավորված է համակարգչային վարժասարքով վարժությունների կատարման առավելությունը ավանդականի համեմատ:

Առանցքային բառեր. համակարգչային վարժասարք, հրետանի, փորձարկումների արդյունքների մշակում, մաթեմատիկական վիճակագրություն, Ռեյլեյի բաշխում, Պիրսոնի չափանիշ:

H.G. KHACHATRYAN, S.H. SIMONYAN

INVESTIGATING THE EFFICIENCY OF TEACHING AND TRAINING ON A COMPUTER SIMULATOR

A statistical analysis of the teaching and results of training on a computer simulator is performed, as well as a method for automated calculations in *Microsoft Excel* and *MathCAD* software packages is proposed. A method for testing the null hypothesis about the distribution of samples by calculating the χ^2 criterion (Pearson criterion) in these programs is also proposed. It is proved that the grades of the trainee on a computer simulator are distributed according to a law similar to a mirror image of the Rayleigh law. The advantage of computer simulator exercises over traditional is substantiated.

Keywords: computer simulator, artillery, processing of experimental results, mathematical statistics, Rayleigh distribution, Pearson criterion.

Տ.Բ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԻՆՔՆԱՎԱՐ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՊԱՏԿԵՐԻ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ
ՆՈՒՅՆԱԿԱՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՇԱՐԺՈՒՄԻՑ ՊԱՏԿԵՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ՀՈՒՇԻՉԻ ԻՆՏԵԳՐՈՒՄԸ

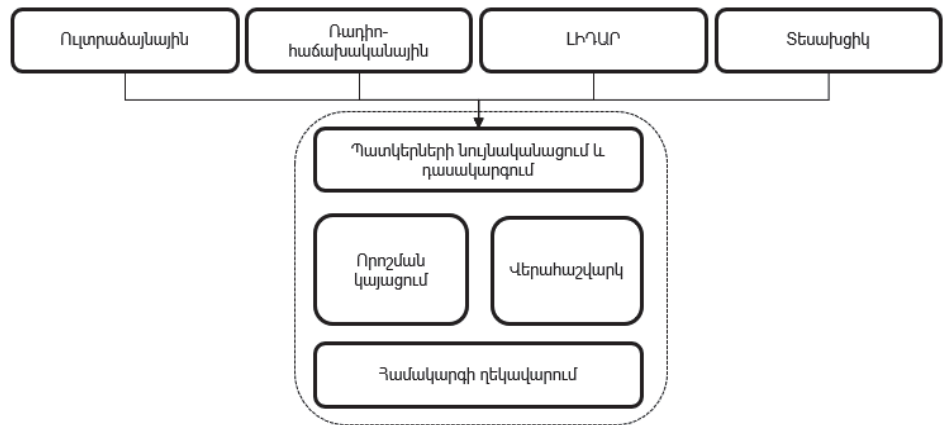
Թեև ժամանակակից ինքնավար համակարգերի շարժման, տարածության մեջ կողմնորոշման ավտոմատացված համակարգերի հիմքում ընկած միջոցներն արագորեն զարգանում են, այնուամենայնիվ, դեռևս չեն հասել անվտանգության անհրաժեշտ նշանոցը: Պատկերների ճանաչման արհեստական բանականության միջոցն այդ համակարգերի մի մասն է կազմում: Իսկ, մասնավորապես, պատկերի խորության ճանաչումը կամ, այլ կերպ ասած, դիտարկող սուբյեկտից (տեսանկարահանող սարք) օբյեկտների հեռավորության հայտնաբերումը հանդիսանում է եռաչափ պատկերների վերլուծության հիմնական բաղադրիչը: Խորությունը թույլ է տալիս եզրահանգումներ անել իրերի հեռավորության, վերադասավորության մասին: Խորության միջոցով որոշվում են շարժական ինքնավար համակարգերի շարժումը, ուղղությունն ու արագությունը:

Աշխատանքում քննարկված են դիտարկողի տեսողական բնութագրերը և դրանց նախկինում չքննարկված այնպիսի համադրումներն արհեստական բանականության ներդրումային ցանցում, որը կարող է հանգեցնել խորության ճանաչման բարելավմանը:

Առակցադին բառեր ինքնավար համակարգ, արհեստական բանականություն, պատկերի խորություն, ներդրումային ցանց

Ներածություն: Ժամանակակից ինքնավար համակարգերը բաղկացած են մի քանի հիմնական զգայունակ բաղադրիչներից, ինչպիսիք են տեսախցիկները, տարբեր ռադիոհաճախականային ռադարները, լազերային ռադարները (լիդարները) և այլն, որոնք կիրառվում են որպես մեկ ընդհանուր համակարգ՝ փորձելով լրացնել առանձին վերցրած մեկ զգայունակի սահմանափակումները [1]: Բայց այս բոլոր համակարգերի համադրումն ինքնին թանկացնում է դրանց կիրառումը: Ուստի մեկ համակարգի ունակությունների լավացումը, որը կնպաստի մյուս բաղադրուցի բացառմանը, կարևոր խնդիր է և՛ անվտանգության գործոնի, և՛ լայնորեն ներդրման անհրաժեշտության առումով: Աշխատանքում դիտարկվում են արհեստական բանականության կիրառման այնպիսի մոտեցումներ, որոնք ուղղված են պատկերների ճանաչման հնարավորությունների ավելացմանը՝ կենտրոնանալով պատկերի խորության ճանաչման առավել ճկուն մոտեցումների վրա: Այդ մոտեցումները դիտարկվել են՝ հիմնված մարդու և կենդանիների պատկերների խորության ճանաչման մոդելի վրա:

Ինքնավար համակարգերը: Ինքնավար համակարգերը բաղկացած են ինչպես զգայունակներից, այնպես էլ այդ զգայունակների տվյալների մշակման միավորից (նկ.1): Զգայունակներն են տեսախցիկները, տարբեր ուլտրաձայնային, ռադիոհաճախականային ռադարները, լազերային ռադարները (լիդարները):



Նկ. 1. Ինքնավար համակարգերի կառուցվածքը

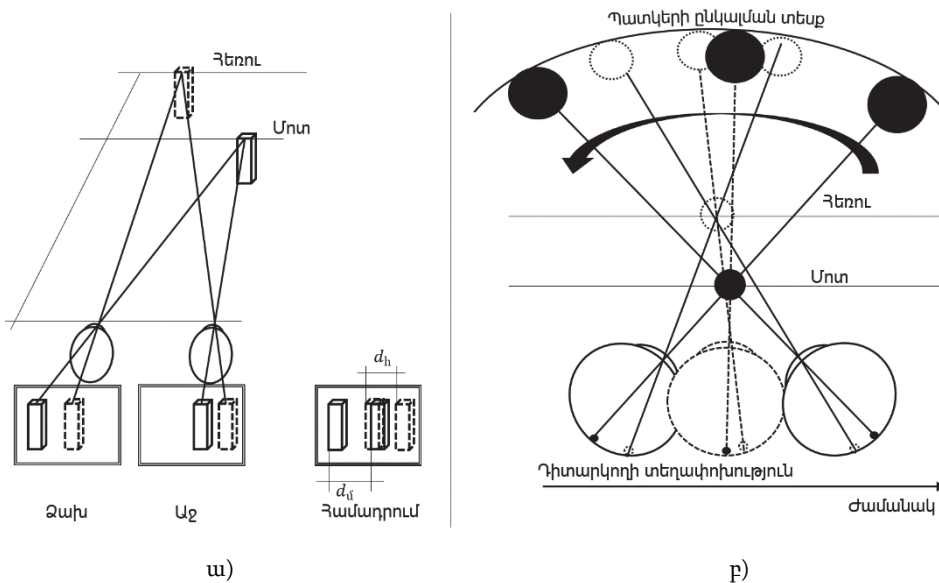
Չմանրամասնելով զգայունակներից յուրաքանչյուրի աշխատանքի սկզբունքը և նշանակությունը համակարգում, կարելի է ասել, որ դրանց համատեղ կիրառումը բավականին թանկ լուծում է [2]: Մակայն կիրառության այդ մոդելը առաջադրված է ինքնավար համակարգերի չորրորդ մակարդակի անվտանգության պահանջից [3]:

Տեսողական համակարգի խորության ընկալման բնույթը. Պատկերի խորության ընկալումն այն տեսողական ունակությունն է, որը թույլ է տալիս տեսնել եռաչափ (3D) և տարբերակել օբյեկտների հեռավորությունը միմյանցից: Խորության ընկալումը ծագում է խորությունը հուշող տարբեր գործոններից: Դրանք դասվում են երկկապիճային և միակապիճային հուշիչների շարքը: Երկկապիճային հուշիչները հիմնված են երկու աչքից ստացված զգայական՝ եռաչափ տեղեկատվության վրա: Միակապիճային հուշիչները հիմնված են երկչափ տեղեկատվության վրա. կարող են ստացվել մեկ աչքից:

Երկկապիճային հուշիչներից է երկկապիճային անհամատեղելիությունը: Կենդանիները, որոնց աչքերը տեղակայված են դեմքի դիմային հատվածում, այլ ո՛չ կողային, յուրաքանչյուր ցանցաթաղանթում տարբերվող պրոյեկցիաների շնորհիվ խորության եզրահանգման հնարավորություն ունեն: Օգտագործելով երկու նկարները, միևնույն պատկերի վերաբերյալ տարբեր անկյուններից (աջ և ձախ աչքերից) վերցրած, եռանկյունաչափորեն հնարավոր է եզրահանգում անել խորության վերաբերյալ (նկ. 2 ա): Երբ օբյեկտը հեռու է, չափվող անկյունն ավելի

փոքր է, երբ մոտ է՝ մեծ: Կան ևս մի քանի երկկապիճային հուշիչներ, ինչպիսիք են՝ մկանային կծկման համընկնումը կամ երկցանցաթաղանթային ստվերը, բայց դրանք չեն քննարկվի այս աշխատանքի շրջանակներում՝ թողնելով որպես հետագա հետազոտությունների առարկա:

Միակապիճային հուշիչներից է շարժումից պատկերի տեղափոխությունը: Դիտարկող համակարգի շարժումից բխող դիտարկվող օբյեկտների տեղափոխությունը հանդիսանում է խորության հուշիչ: Պատկերում ավելի շատ տեղափոխություն են կրում ավելի մոտ օբյեկտները (նկ. 2 բ): Բացի այս, կան մի քանի այլ միակապիճային հուշիչներ ևս, որոնք թեև կթվարկվեն, սակայն մանրամասն քննարկման չեն ենթարկվի այս աշխատանքի շրջանակներում՝ թողնելով հետագա հետազոտության առարկա: Այդպիսիք են՝ դիտարկվող օբյեկտի շարժումը, կինետիկ էֆեկտը, հեռանկարի փոփոխությունը, հարաբերական չափի փոփոխությունը, ծանոթ չափի փոփոխությունը, բացարձակ չափի փոփոխությունը, մթնոլորտային հեռանկարի փոփոխությունը, տեղավորումը, միջտեղակայումը, մանրամասնության փոփոխությունը, լուսավորությունը և ստվերը, կիզակետից դուրս աղավաղումը, բարձրությունը պատկերում և այլն:



Նկ. 2 Խորության ընկալումը երկկապիճային անհամատեղելիության (ա) և շարժումից պատկերի տեղափոխության (բ) միջոցով

Անդրադարձ խորության նույնականացման առկա մեթոդներին : Խորության նույնականացման համար ներկայումս ամենալայն կիրառություն են ստացել այն մեթոդները, որոնք հիմնված են երկկապիճային հուշիչների օգտագործ-

մամբ խորության ճանաչման վրա: Այլ կերպ ասած, տեսախցիկի պարագայում նեյրոնային ցանցը վարժեցվում և կիրառվում է միաժամանակ գրանցված երկու տարբեր տեսախցիկների պատկերների անհամատեղելիության հիման վրա, պատկերի խորությունը գտնելու եղանակով: Այդպիսի մեթոդներ դիտարկված են շատ աշխատանքներում [4-6]:

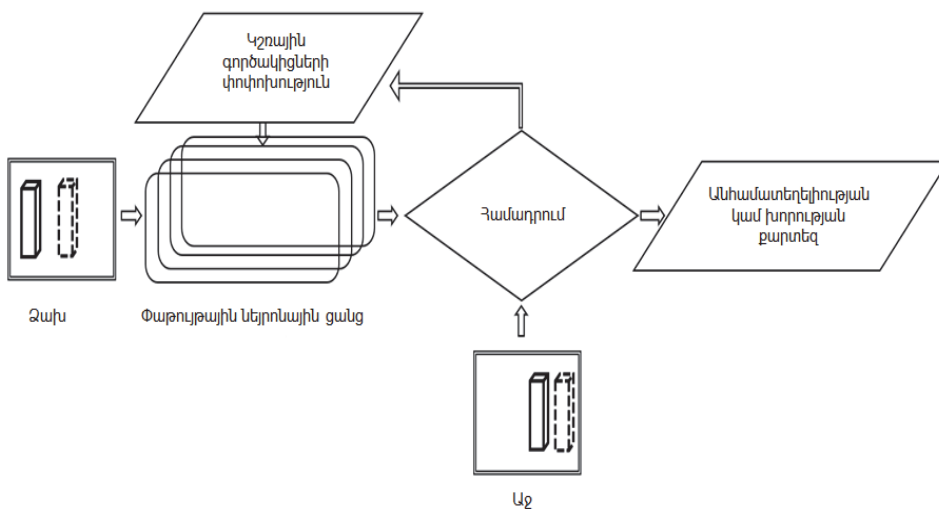
Ինչպես արհեստական բանականության օգտագործման որևէ այլ ոլորտում, այստեղ նույնպես պետք է քննարկման ենթարկել նեյրոնային ցանցի և՛ վարժեցման, և՛ կիրառման գործընթացների առանձնահատկությունները՝ դրանց տեսական և գործնական ներդրման հնարավորությունների ճշգրիտ գնահատման և հետագա առաջարկությունների համար:

Խորության նույնականացման վարժեցումը. Խորության նույնականացումը նեյրոնային ցանցին վարժեցնելու մոտեցումները դասակարգվում են երկու խմբի՝ վերահսկվող և չվերահսկվող:

Վերահսկվող վարժեցումը տեսականորեն կարող է ապահովել բարձր ճշտություն [7]: Սակայն գործնականում վերահսկվող վարժեցման կազմակերպման համար անհրաժեշտ են բարձր ճշտությամբ հավաքված խորության տվյալներ: Դրանք կարելի է ստանալ միայն թանկարժեք զգայունակներից, ինչպիսիք են լիդարները, որոնք ունակ են լազերի միջոցով հավաքագրելու հեռավորության տվյալներ [8]: Այս հանգամանքը թանկացնում է վերահսկվող վարժեցմանման տարբերակը և լայն կիրառության առումով բարդություններ առաջացնում: Այդ իսկ պատճառով այսօր լայն կիրառություն են ձեռք բերել չվերահսկվող վարժեցման տարբերակները: Պատահական չէ, որ հենց այդ մոտեցումն է նաև որդեգրել «Տեսլա» հայտնի ընկերությունը՝ հրաժարվելով թանկարժեք զգայունակներից: Այս աշխատանքում նույնպես հետագա քննարկման առարկա է հանդիսանալու չվերահսկվող վարժեցման եղանակը:

Ինչպես արդեն նշվեց, ներկայումս ավելի լայն կիրառություն են ստացել երկկարպիճային հուշիչներով խորության ճանաչման եղանակները: Այդ եղանակի համար չվերահսկվող վարժեցման գործընթացը պահանջում է տվյալների հավաքածու, որի յուրաքանչյուր տարրը ներկայացնում է պատկերների զույգ (տեսարանի աջ և ձախ պատկերները՝ ստացված երկու տեսախցիկներից): Եղանակի հիմքում ընկած է էպիպոլյար երկրաչափությունը, որը խորության գնահատման խնդիրը վերաձևակերպում է որպես աջ և ձախ նկարների միջև անհամատեղելիության հայտնաբերման խնդիր: Գտնելով ձախ պատկերի բոլոր կետերի շեղվածությունը աջ նկարում համապատասխան կետերի նկատմամբ, կարող ենք ձախ նկարից ստանալ աջ նկարը՝ այն շեղելով համապատասխան կետերի տարբերությունների չափով: Դա իրականացվում է տարածական փոխակերպման ցանցի միջոցով [9]: Աջ և ձախ պատկերներում անհամատեղելիությունները

գտնելու խնդիրը հնարավոր է բերել պատկերի վերակառուցման խնդրին, որը լուծվում է ավտոկոդավորիչի կառուցվածք ունեցող նեյրոնային ցանցով [10]: Նեյրոնային ցանցի վարժեցման համար որպես կորստի ֆունկցիա օգտագործվում է վերակառուցված և իրական պատկերների տարբերությունների ստուգման ֆունկցիան, ինչպես նաև վերակառուցված պատկերի աջից ձախ համապատասխանության ստուգման ֆունկցիան [11]: Ըստ հաշվարկված տարբերությունների՝ կատարվում է ցանցի կշռային գործակիցների փոփոխություն (նկ. 3):



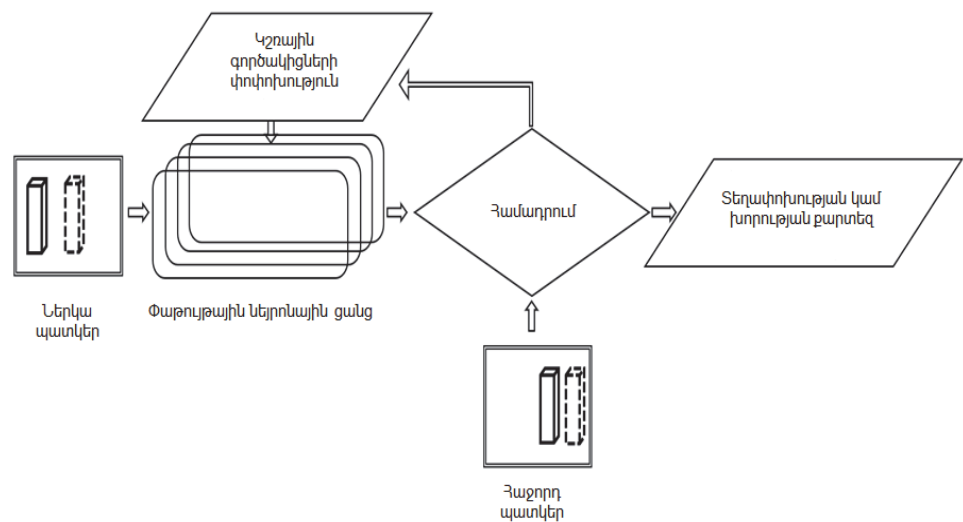
Նկ. 3. Երկկապիճային հուշիչով խորության հայտնաբերման նեյրոնային ցանցի կառուցվածքը

Խորության ճանաչման կիրառումը կամ առերեսումը. Առաջարկվող մեթոդներում, սակայն, ցույց չեն տրված շարժման կամ հարաբերական մեծ արագությունների պարագայում թեստավորման արդյունքները, բայց նշվում է, որ այս մոդելի թերություններից է այն, որ նեյրոնային ցանցը գրանցում է լավ արդյունքներ համեմատաբար անշարժ տեսարանների դեպքում (օբյեկտների շարժումները շատ քիչ են կամ բացակայում են): Դրա պատճառն այն է, որ խորությունների քարտեզը ստացվում է երկու պատկերից, որոնք միաժամանակ են գրանցված, ինչը նշանակում է՝ նրանք չունեն շարժման վերաբերյալ տեղեկատվություն:

Միակապիճային հուշիչով խորության ճանաչման մեթոդը՝ հիմնված երկկապիճային հուշիչի համար նախատեսված նեյրոնային ցանցի վրա: Ինքնավար համակարգերի պարագայում շարժումը և շարժման ընթացքում օբյեկտների տեղափոխությունը կարևոր հանգամանքներ են համակարգի որոշումների կայացման և հետագա ղեկավարման համար: Այդ պատճառով առաջարկվում է վերևում բերված ցանցի վարժեցման համար երկկապիճային հուշիչի փոխարեն օգտա-

գործել միակապիճային՝ շարժումից պատկերի տեղափոխության հուշիչը, որը շատ հետազոտություններում դիտարկվում է որպես պատկերների խորության նույնականացման արդյունավետ ներդրողական միջոց:

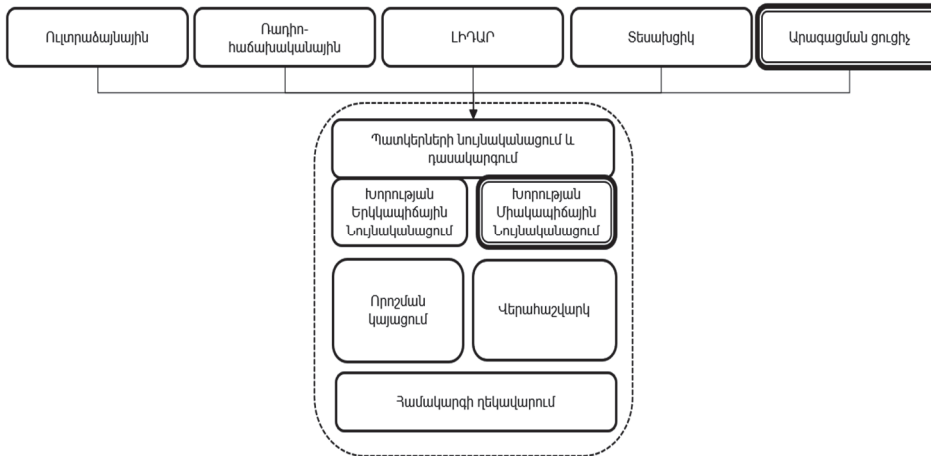
Նկ. 3-ում ներկայացված պարզեցված ներդրային ցանցի պարագայում, որպեսզի այն հարմարեցվի միակապիճային հուշիչով խորության ճանաչմանը, անհրաժեշտ է միայն փոփոխել մուտքային տվյալները. աջ և ձախ նկարների փոխարեն տրամադրել տեսանկարահանման միջոցով ստացված իրար հաջորդող՝ առկա և հաջորդ պատկերները, քանի որ տեսանկարահանման պարագայում իրար հաջորդող պատկերները պարունակում են շարժման մասին տեղեկություն (նկ. 4):



Նկ. 4. Միակապիճային հուշիչով խորության հայտնաբերման ներդրային ցանցի կառուցվածքը

Այս պարագայում վարժեցված ցանցը կպարունակի միայն խորության տեղափոխության տեղեկություն՝ երկկապիճայինի փոխարեն: Այդ պատճառով, որպեսզի պահպանվի երկկապիճային տեղեկությունը նույնպես, անհրաժեշտ է դիտարկել այս մոտեցումների համակցումը մեկ ցանցում:

Առաջարկվող համակարգային մոտեցումը: Այսպիսով, ելնելով միակապիճային խորության ճանաչման՝ դիտարկողի շարժումից բխող պատկերի տեղափոխության բնույթից, որպես համակարգային բարելավում առաջարկվում է հետևյալ ճարտարապետությունը (նկ. 5):



Նկ. 5. Առաջարկվող մոտեցմամբ ինքնավար համակարգի կառուցվածքը

Այսիսկիսի ճարտարապետության առանձնահատկությունը խորության հայտնաբերման ընտրովի գործակցային սկզբունքն է: Համակարգում ավելացված արագացման ցուցիչը հնարավորություն է տալիս արագությունից կախված որոշել նույնականացման միակապիճային և երկկապիճային տարբերակների ազդեցության չափը:

REFERENCES

1. **Chen J., Abbod M.F., Shieh J.S.** Integrations between Autonomous Systems and Modern Computing Techniques: A Mini Review// *Sensors* 2019.- 19(18).- 3897.
2. **Kadambi A., Bhandari A., Raskar R.** 3D Depth Cameras in Vision: Benefits and Limitations of the Hardware// *Computer Vision and Machine Learning with RGB-D Sensors*.-2014 - P. 3-26.
3. **Reschka A.** Safety Concept for Autonomous Vehicles// *Autonomous Driving. Technical, legal and Social Aspects*.-2016. - P. 473-496.
4. **Garg R., BG V.K., Carneiro G., Reid I.** Unsupervised CNN for Single View Depth Estimation: Geometry to the Rescue// *ECCV*.- 2016. - P. 740-756.
5. **Liu G., Jiang G., Xiong R., Ou Y.** Binocular Depth Estimation Using Convolutional Neural Network With Siamese Branches// *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*.- 2019. - P. 1717-1722.
6. **Radvanyi A.G., Kozek T., Chua L.O.** CNN solution for depth estimation from binocular stereo imagery// *Fifth IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications*.-1998. - P. 218-223.

7. **Eigen D., Puhrsch C., Fergus R.** Depth Map Prediction from a Single Image using a Multi-Scale Deep Network// Advances in Neural Information Processing Systems.- 2014. - P. 2366-2375.
8. **Kocić J., Jovičić N., Drndarević V.** Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles// 26th Telecommunications Forum (TELFOR).- 2018. - P. 420-425.
9. **Jaderberg M., Simonyan K., Zisserman A.** Spatial Transformer Networks// Advances in Neural Information Processing Systems.- 2015. - P. 2017-2025.
10. **Baldi P.** Autoencoders, Unsupervised Learning, and Deep Architectures// JMLR: Workshop and Conference Proceedings.-2012. - P. 37-50.
11. **Godard C., Mac Aodha O., Brostow G.J.** Unsupervised Monocular Depth Estimation with Left-Right Consistency// Computer Vision and Pattern Recognition.-2017. – P. 6602-6611.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 26.02.2020:

Т.Б. ХАЧАТРЯН

ИНТЕГРАЦИЯ ПАРАЛЛАКСА ДВИЖЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Несмотря на то, что основные средства современных автономных систем: движение и автоматизированная система ориентирования в пространстве, быстро развиваются, однако они пока не достигли необходимого уровня безопасности. Искусственный интеллект является частью этих систем. В частности, распознавание глубины изображения или, иными словами, обнаружение расстояний от блока наблюдения (видеокамера) до объектов является ключевым компонентом анализа трехмерного изображения. Глубина изображения позволяет делать выводы о расстоянии между предметами, их перестановке и является ключевым компонентом в определении движения, направления и скорости мобильных автономных систем.

Обсуждаются визуальные характеристики наблюдателя и их не исследованные ранее такие комбинации в искусственной нейронной сети, которые могут привести к улучшению распознавания глубины.

Ключевые слова: автономная система, искусственный интеллект, нейронная сеть, глубина изображения.

T.B. KHACHATRYAN

**MOTION PARALLAX INTEGRATION INTO AUTONOMOUS SYSTEMS FOR
IMAGE DEPTH IDENTIFICATION**

Although the main means of modern autonomous systems - motion and the automated system of spatial orientation improve quickly, they have not yet reached the required level of security. Artificial intelligence is a part of those systems. In particular, image depth recognition, or in other words, the detection of distances between the objects and the observation block is a key component of the three-dimensional image analysis. Depth allows to draw conclusions about the distance, rearrangement of things. It is, therefore, a key component in determining the movement, direction and speed of mobile autonomous systems.

The visual characteristics of the observer and their combinations not studied before are discussed in an artificial neural network which can improve the recognition depth.

Keywords: autonomous system, artificial intelligence, image depth, neural network.

UDC 621.337

AUTOMATION
AND CONTROL SYSTEMS

K.H. NIKOGHOSYAN, V.T. BEJANYAN

ANALYSIS OF K-NEAREST NEIGHBOR AND ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF HIGH
DIMENSIONAL DATA

In this article, we present two techniques for the multiclass classification of high dimensional data based on the K-Nearest Neighbors algorithm and Artificial Neural Network model. The incremental construction of mathematical models and a careful analysis of the experimental results are presented.

Keywords: classification, neural networks, large amount of data, mathematical modeling, algorithms, high-performance computing.

Introduction. In the last decade, the amount of data stored on the service side has become tremendous. ML algorithms for datasets with such properties should be extremely fast, scaled up easily with volume and dimensionality of input, should be able to learn from streaming data without introducing performance bottlenecks, and which is most important, should be easily deployable on hyper-scale cloud computing systems, which are widely used in high-performance computing problems. Deep Learning (DL), as a subset of ML, is well positioned to address these challenges. ML algorithms have a wide application range and are highly successful in handling high dimensional data classification problems. Classifiers can be split into two main categories: binary classifiers, which are used when there is only one feature of interest under the scope, and multiclass classifiers, which are the generalization of the classifiers described previously. There are two main choices for implementing pattern classifiers: Artificial Neural Networks and classification algorithms.

In this paper, we analyze the algorithm called k-Nearest Neighbors (k-NN) and Artificial Neural Networks (ANN), using the high dimensional dataset called CIFAR-10.

The k-NN is a supervised method which is rather simple to implement and train. But, on the other hand, time overhead during the classification process can be very high, especially with very large datasets. The main aim of this work is to give the comparative analysis of accuracies that can be achieved while applying this and other methods based on ANN. In case of non-linear classification problems, ANNs seem to be a more robust solution. Theoretically, an ANN is capable of learning the

shape of just any function, given enough computational power. ANNs, able to deal with complex relations between variables, non-exhaustive category sets and complex functions relating input to output variables, can show very high accuracies on the problems of high dimensional data classification. But on the other hand, on many datasets, a careful tuning should be done to prevent over- and under-fitting.

K-Nearest Neighbors (kNN). K-NN [1] is one of the widely used algorithm for classification problems. By its non-probabilistic nature, kNN is unaware of any possible distribution with the help of which data can be described. In other words, the model structure is determined by the data. The purpose of kNN is to use a labeled dataset in which data points are already labeled with correct classes and later can use this data to carry out classification. So there is no place for generalization of data, as with Artificial Neural Networks. In other words, there is no explicit training phase or it is very minimal. This also means that the training phase is pretty fast. The lack of generalization means that kNN keeps the training data. To be more exact, all (or most) training data are needed during the testing phase. In Figure 1 let us assume the green-colored point P , for which the label needs to be predicted. First, the algorithm finds the k closest points to P , after which it determines the most common label through all k closest points or ‘nearest neighbors’ and assigns that label to the data point P .

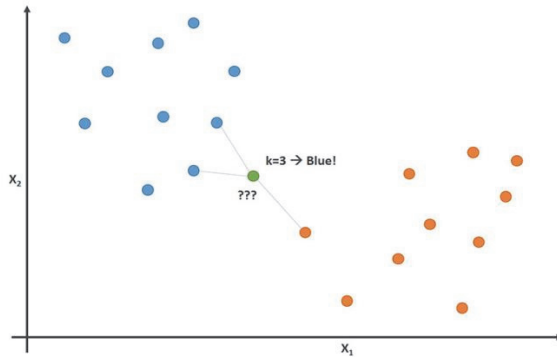


Fig 1. An example of kNN in a two dimensional space

To find the closest points, one can calculate the distance between the points using the distance measures such as Euclidean (1), Manhattan (2) or Minkowski (3) distance:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|), \quad (2)$$

$$(\sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|^q))^{1/q}. \quad (3)$$

In this article, we use CIFAR-10 dataset. The dataset was formed by collecting 60.000 images each of which is 32 pixels high and wide. Each image is labeled with one of 10 classes. To perform a train/val/test stages, the dataset was split into two parts with respectively 50.000 and 10.000 images in each.

As we have already said, kNN does not do any generalization of the data. In essence, kNN computes the distances between each pair of vectors, chooses the k nearest neighbors for the current one and assigns to it a most common label.

To compute the distance between two images we represented each image as the vector of pixels and then computed the distance between these two vectors I_1, I_2 using Euclidean (1) distance.

For the kNN, the training phase simply consists of remembering all the training data.

In Figure 2 implementation of cross validation with 5 folds for different choices of k is given. Differences between training and test vectors were calculated using the vectorized approach.

```
num_folds = 5
k_choices = [1, 3, 5, 8, 10, 12, 15, 20, 50, 100]
for step_k in k_choices:
    accuracies = []
    for fold_step in range(num_folds):
        test_data = X_train_folds[fold_step]
        test_labels = y_train_folds[fold_step]

        train_data = np.vstack(X_train_folds[0:fold_step] +
                                X_train_folds[fold_step + 1:])
        train_labels = np.hstack(y_train_folds[0:fold_step]
                                + y_train_folds[fold_step + 1:])

        classifier.train(train_data, train_labels)
        dists = classifier.compute_distances_no_loops(test_data)

        y_test_pred, _ = classifier.predict_labels(dists, k=step_k)
        num_correct = np.sum(y_test_pred == test_labels)

        accuracy = float(num_correct / test_labels.shape[0])
        accuracies.append(accuracy)
    k_to_accuracies[step_k] = accuracies
```

Fig. 2. Implementation of kNN cross validation

Cross-validation. To apply the cross-validation technique, the dataset was split into 5 folds. On each iteration of cross-validation, 1 fold was used for validation and the remaining 4 folds - for training. In Figure 3 an example of 5-fold cross-validation run for the parameter k is shown. For every value of k starting from 0, the model is training on already specified 4 folds. When training is done,

the validation is done on the remaining fold. The trend line is drawn through the average of the results for each k and the error bars indicate the standard deviation. With the help of experimentation for a specific dataset, the best value for k can be derived. So, in this particular case it equals to $k = 7$. If we used more than 5 folds, we might expect to see a smoother (i.e. less noisy) curve.

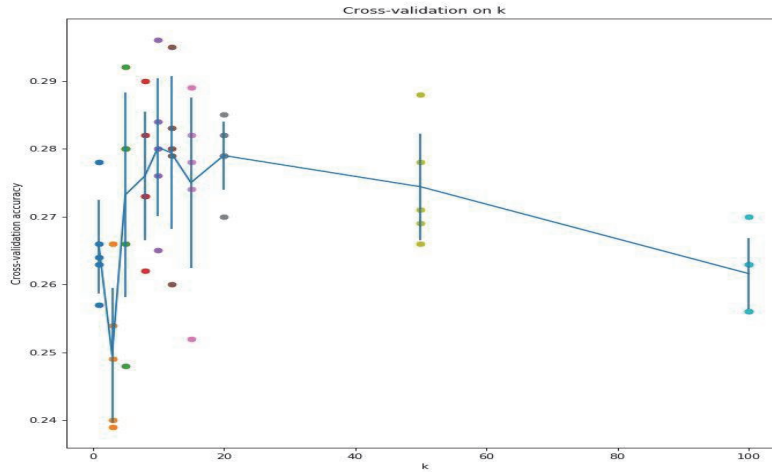


Fig. 3. Accuracies obtained during cross-validation

Artificial Neural Network. The model of an artificial neuron used for the construction of an artificial neural network (ANN) presented in Figure 4 is based on the formalization of the biological neuron, also known as perceptron [2,3]. In a trivial case ANN can be represented as a single-layer single-neuron network where neuron is represented by the model of perceptron. The perceptron itself can be decomposed into the following parts: input connections, vector of weights associated with them, bias, activation function and output connection.

The perceptron has the following mathematical model:

$$y(X, W, b) = \text{sigma}(W * X^T + w_b * b), \quad (4)$$

where X is the matrix of input features, W - the matrix vector of weights and finally b - the non-zero bias applied to that sum to avoid zero as a result in the case when one of the input vectors is a zero column vector.

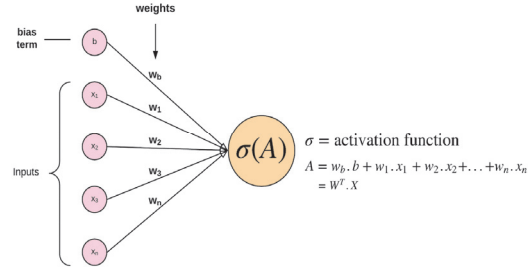


Fig. 4. Model of an artificial neuron

From formula (4) it is clear that perceptron represents the affine transformation to which the sigmoid function is applied to normalize the output of the matrix multiplication. A single artificial neuron can be used to implement a linear binary classifier such as SVM [5] or Softmax [6]. In case of multiple classes the multilayered, fully-connected, non-linear architecture of ANN was selected. The number of neurons in input and output layers are usually fixed. In case of the input layer, the number of neurons depends on the dimensionality of the input data. In case of very high dimensional data, various techniques of dimensionality reduction such as Principal Component Analysis(PCA) or t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding(t-SNE)[7] can be applied to perform dimensionality reduction on part of or entire dataset to gain some knowledge of patterns present in the data. Due to its linearity, PCA is not able to present polynomial relationships between the features in the area of interest. In the presence of such correlations between the features, the t-SNE is mostly preferred because of its ability to preserve geometry at all scales. In other words, to present high dimensional data on non-linear manifold, it is important to place similar points close together, which is not possible by the linear algorithm, such as PCA. In Figure 5, an example of a result that can be obtained using the t-SNE technique for dimensionality reduction of high dimensional data is shown.

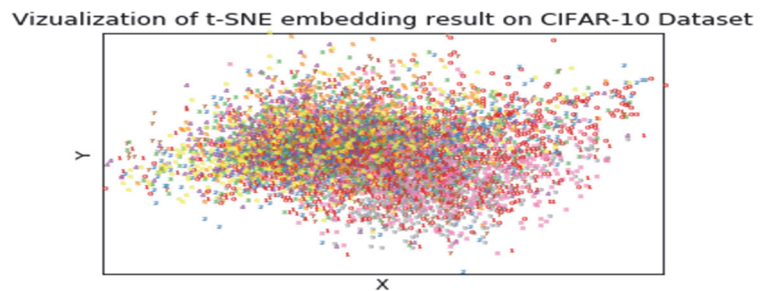


Fig. 5. t-SNE applied to CIFAR-10

ANN also consists of a hidden layer(s) and an output layer. The number of units in the output layer of ANN used for classification is roughly determined by the number of classes. The proposed ANN uses Rectified Linear Unit(ReLU) (5) to embed non-linearity. Formally ReLU can be represented by the following function:

$$ReLU(x) = \max(0, x). \quad (5)$$

The network uses ReLU (Figure 6 a) after the first fully-connected layer.

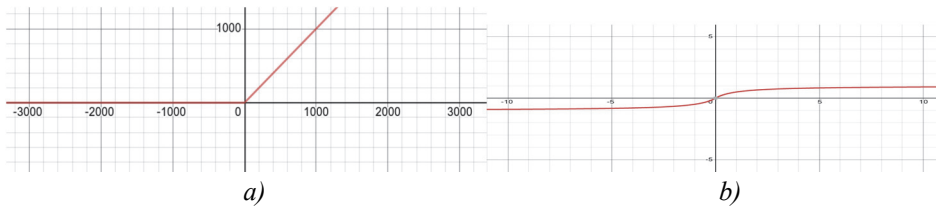


Fig 6. a - ReLU activation function; b - Normalized logistic sigmoid function

Softmax function was used to make the interpretation of class scores more intuitive. Particularly, Softmax allows to interpret the scores as probabilities assigned to training scores, which are obtained after each iteration of the ANN training. Suppose, the score column vector obtained after one iteration of training is denoted by $\mathbf{y}$ and has the size $\mathbf{C}$, where $\mathbf{C}$ is the number of classes, then Softmax for a particular class c and input vector $\mathbf{X}$ can be presented by the following formula:

$$P(C = c)_X = \frac{e^{y_c}}{\sum_i e^{y_i}}. \quad (6)$$

The loss function negative log-likelihood was selected. In case of Softmax function it is presented by the following formula:

$$L = \sum_s \ln \left(\frac{e^{(wx_s+b)_s}}{\sum_i e^{(wx_s+b)_i}} \right). \quad (7)$$

The loss function presented in formula (7) is not stable regarding to the changes in b , so any addition to it will affect the solution space. As already noted, term b turns linear transformation into affine transformation which causes a change in the solution space for the linear model. In other words, presented as it is, loss function has multiple solutions, due to the fact that affine transformation can have different origins. To solve this problem, regularization techniques were used. The more robust version of the loss function also includes a regularization term $R(w, b)$. This dependence makes the optimization process more computationally intensive, but the results become more stable. The regulation term can be expressed by the following formula:

$$R(w, b) = \|w\|_2^2 + \|b\|_2^2, \quad (8)$$

where

$$\|x\|_2 = \sqrt{\sum_k^n x_k^2}. \quad (9)$$

The purpose of neural network training is to tune hyperparameters(e.g. weights, biases, learning rate) to minimize the given loss function. The most common way of finding such parameters is called Gradient Descent (GD). In practice, a modification of GD called Stochastic Gradient Descent (SGD) is used. The refinement of weights and biases using SGD is presented by the following formulas:

$$\begin{aligned} \vec{w} &= \vec{w} - \eta \vec{\nabla}_w L, \\ \vec{b} &= \vec{b} - \eta \vec{\nabla}_b L, \end{aligned} \quad (10)$$

where η presents the learning rate of the algorithm, nabla operator $\vec{\nabla}_w$ is the gradient of the given matrix w . It is worth mentioning that a careful choice of learning rate should be made to better the chances in the search of local minima for the loss function. ANN implemented for classification problems is constructed out of 3 layers. It contains one input layer. The number of neurons in the input layer is roughly determined by the dataset. In case of CIFAR-10, each image contains 3 layers and $32 * 32$ pixels within each layer, so the size of the input layer is equal to 3072. The input layer is fully-connected to the hidden layer. The number of neurons in the hidden layer, another hyperparameter for ANN, is randomly chosen from a predefined range and initialized once when the network is created. The network is finalized with an output layer with 10 output neurons. The number of the output neurons is equal to the number of the output classes against which classification is done.

In Figure 7, a Python implementation of the training code for a fully connected Artificial Neural Network is given. To optimize the Softmax function, Minibatch Gradient Descent with default batch size equal to 200 is used.

```

def train(self, X, y, X_val, y_val,
          learning_rate=1e-3, learning_rate_decay=0.95,
          reg=5e-6, num_iters=100,
          batch_size=200, verbose=False):
    num_train = X.shape[0]
    iterations_per_epoch = max(num_train / batch_size, 1)

    loss_history = []
    train_acc_history = []
    val_acc_history = []

    for it in range(num_iters):
        X_batch = None
        y_batch = None

        batch_indices = np.random.choice(num_train, batch_size)
        X_batch = X[batch_indices]
        y_batch = y[batch_indices]

        loss, grads = self.loss(X_batch, y=y_batch, reg=reg)
        loss_history.append(loss)

        for key in self.params:
            self.params[key] -= learning_rate * grads[key]

        if verbose and it % 100 == 0:
            print('iteration %d / %d: loss %f' % (it, num_iters, loss))

        if it % iterations_per_epoch == 0:
            train_acc = (self.predict(X_batch) == y_batch).mean()
            val_acc = (self.predict(X_val) == y_val).mean()
            train_acc_history.append(train_acc)
            val_acc_history.append(val_acc)
            learning_rate *= learning_rate_decay

    return {'loss_history': loss_history, 'train_acc_history': train_acc_history, 'val_acc_history': val_acc_history}

```

Fig. 7. Implementation of the ANN training

Analysis. The aim of this section is to show how techniques presented above are used to obtain experimental results on the multiclass dataset. Specifically, how do the accuracies of kNN and ANN depend on the size of the training data and how the relative accuracy is changed during the increase of the training data. All experiments were carried out inside Jupyter Notebooks environment. For vectorized calculations, libraries such as Numpy were widely used. All plots were created with Matplotlib library using the data obtained during the experiments. The analysis was performed on the dataset called CIFAR-10. This dataset is widely used in ML research, especially for supervised learning problems. It consists of 10 classes, where each class contains 6000 images. Each image is represented by $32 * 32 * 3$ pixels. So, accumulative we have 60000 images. To solve the first analysis problem, the dataset was split into chunks of different sizes and training and validation methods for each technique presented below are used separately on each chunk to find out the best accuracy that can be achieved on the test data for that chunk or for that size of training data. In Figure 8 you can see the dependence which we described above:

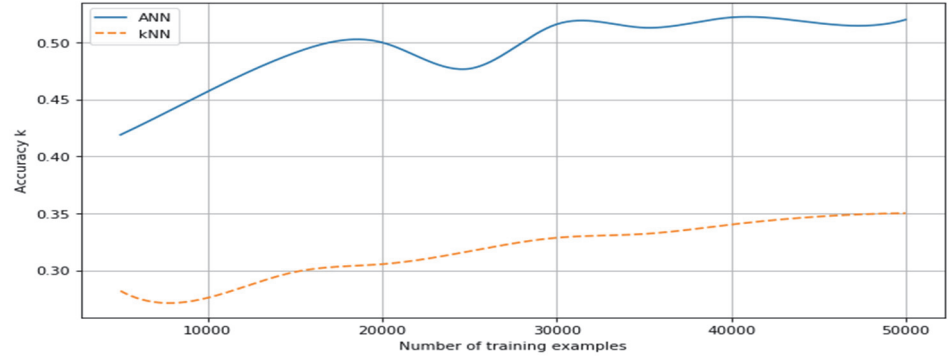


Fig. 8. The best accuracies of kNN and ANN on test data depending on the number of the training examples

To solve the second analysis problem, the accuracies obtained above are used to calculate the absolute difference of accuracies at all points (Figure 9).

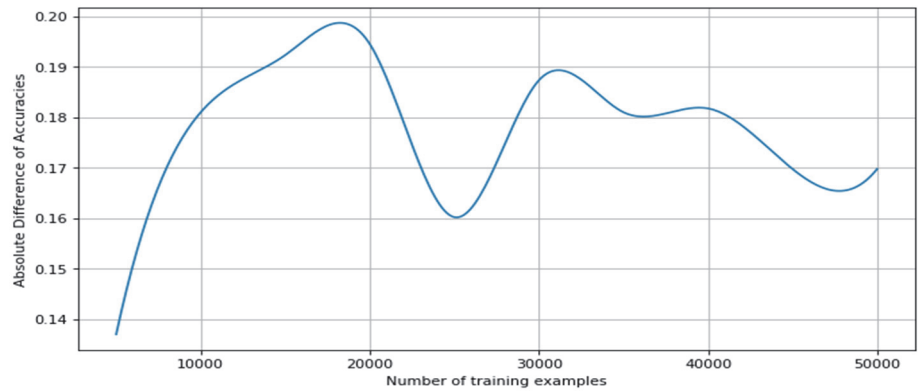


Fig. 9. The absolute differences of accuracies achieved during the train/val/test stages for kNN and ANN

Conclusion. The analysis of completely different methods was done on the CIFAR-10 dataset. From the analysis results, we can see that even on datasets with a small number of training examples, ANN always shows a better test accuracy than kNN. But on the other hand, the accuracies obtained using kNN are more stable in their growth as opposed to ANN, although it uses more computational resources to pass the first part of the analysis than ANN.

REFERENCES

1. **Okfalisa, Ikbal G., Mustakim, Nurul G.I.R.** Comparative analysis of k-nearest neighbor and modified k-nearest neighbor algorithm for data classification // 2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE). - 2017. - P. 294-298.
2. **Lek S., Park Y.S.** Artificial Neural Networks // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. - 2008. - P. 237-245.
3. **Leonardo V., Mauro C.** Multilayer Perceptrons // Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology. - 2019. – Vol. 1. - P. 612-620.
4. **Zhangyang W., Ding L., Thomas S.H.** Deep Learning Through Sparse and Low-Rank Modeling. - Academic Press, 2019. - 296 p.
5. **Byvatov E., Fechner U., Sadowski J., Schneider G.** Comparison of Support Vector Machine and Artificial Neural Network Systems for Drug/Nondrug Classification // Journal of Chemical Information and Computer Sciences. - 2003. – Vol. 43. - P. 1882-1889.
6. **Maida A.S.** Handbook of Statistics. - Elsevier Science Pub Co, 2016. - 314p.
7. **Roman-Rangela E., Marchand-Mailletb S.** Inductive t-SNE via deep learning to visualize multi-label images. - Elsevier Science Pub Co, 2019. - 10 p.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 21.01.2020.

Կ.Հ. ՆԻԿՈԴՈՍՅԱՆ, Վ.Տ. ԲԵԶՅԱՆ

К- ՄԵՐՁԱԿԱ ՀԱՐԵՎԱՆՆԵՐԻ ԵՎ ԱՐՀԵՍՏԱԿԱՆ ՆԵՅՐՈՆԱՑԻՆ ՑԱՆՑԻ ԲԱԶՄԱՏԵՍԱԿ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵԾ ԾԱՎԱԼԱՑԻՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ներկայացվում է մեծ չափայնություն ունեցող տվյալների բազմատեսակ դասակարգման երկու մոտեցում՝ հիմնված K- մերձակա հարևաններ ալգորիթմի և արհեստական նեյրոնային ցանցի մոդելի վրա: Ներկայացված են մաթեմատիկական մոդելների աստիճանական կառուցումը և փորձական արդյունքների վերլուծությունը:

Առանցքային բառեր. դասակարգում, նեյրոնային ցանցեր, մեծ տվյալներ, մաթեմատիկական մոդելավորում, ալգորիթմներ, բարձր արտադրողականությամբ հաշվարկ:

К.Г. НИКОГОСЯН, В.Т. БЕДЖАНИЯ

АНАЛИЗ К-БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА И ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МУЛЬТИКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

Представлены два метода мультиклассовой классификации многомерных данных на основе алгоритма k-ближайших соседей и модели искусственной нейронной сети. Приведено пошаговое построение математических моделей и дан детальный анализ результатов эксперимента.

Ключевые слова: классификация, нейронные сети, большие данные, математическое моделирование, алгоритмы, высокопроизводительные вычисления.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՊԱՊՈՑԱՆ Ռ.Ս.

ՃԻՐ ՄԱԿՆԻՇԻ ՊՈՂՊԱՏՅԱՆ ԳՆԴԵՐԻ ՄԽՄԱՆ ԳՈՐԾԵՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՆԱԻՐԻՏԱՑԻՆ ԼԱՏԵՔՍԻ ԶՐԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ..... 125

ՄԱՐԳԱՅԱՆ Ա.Ռ.

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ՇԵՐՏԱՎՈՐ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՔ
ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ԳՈՐԾԵՆԹԱՑԻ ՄԵՏԱՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ..... 134

ԱՆՏՈՆՅԱՆ Ս.Վ., ԾԱՏՈՒՐՅԱՆ Գ.Ա., ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ Լ.Ռ.

ԲԶԶԱՅԻՆ ԿԱՊԻ 5-ՐԴ ՄԵՐՆԴԻ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒԺԵՂԱՐԱՐՆԵՐԻ ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ
ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ԹՎԱՅԻՆ ԱՂԱՎԱՂՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ..... 144

ՄՏԵՓԱՆՅԱՆ Ա.Հ., ԷՅՐԱՄՅԱՆ Ս. Գ.

ԱՆՏԵՆԱՅԻ ՓՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ..... 152

ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ԿԱԳՐԱՄԱՆՅԱՆ Է.Ռ., ԲԱԲԱԶԱՆՅԱՆ Հ.Ա., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Կ.Օ.

ԵԼՔԱՅԻՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ԿԱՐՃ ՈՒՇԱՅՄԱՆ ՏԻՐՈՒՅԹՈՎ
ՀԱՃԱԽՈՒԹՅՈՒՆ-ԼԱՐՈՒՄ-ՓՈԽԱԿԵՐՊԻՉ..... 159

ՋԱՆՓՈԼԱՐՈՎ Վ.Ա., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա., ԱԲԱՅԱՆ Ս.Ս., ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ Հ.Վ.

ԱՆԿԱՆՈՆ ՍԽԱԼՆԵՐԻ ՆԵՐՄՈՒԾՈՒՄԸ ԵՎ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ
ԻՆՔՆՈՐՈՇՄԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ..... 171

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ս.Ս., ՀԱԿՈԲ Տ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ, ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Մ.Տ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆ Տ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ, ՈՄԿԱՆՅԱՆ Գ.Ա., ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ Ա.Կ.

Պ ՏԻՊԻ ՄԵՏԱՂ- ՕՔՍԻԴ -ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ(ՄՕԿ) ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԲԱՐՁՐ
ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՄԲ ԼԻՑՔԻ ՊՈՄՊԻ ՄԽԵՄԱՆ..... 181

ԴԱՆՈՅԱՆ Է.Հ., ԱՅՈՒՆՑ Հ.Յ.

ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԻՆՏԵՐՊՈԼՅԱՑԻԱՆ ԽԱՌԸ ՄՊԼԱՅՆՆԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ..... 188

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Գ., ՍԻՄՈՆՅԱՆ Ս.Հ.

ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՎԱՐԺԱՄԱՐՔԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ՎԱՐԺԵՑՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ..... 196

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Տ.Բ.

ԻՆՔՆԱՎԱՐ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՊԱՏԿԵՐԻ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ ՆՈՒՅՆԱԿԱՆԱՑՄԱՆ
ՀԱՄԱՐ ՇԱՐԺՈՒՄԻՑ ՊԱՏԿԵՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՀՈՒՇԻՉԻ
ԻՆՏԵԳՐՈՒՄԸ..... 205

ՆԿԿՈՂՈՍՅԱՆ Կ.Հ., ԲԵԶԱՆՅԱՆ Վ.Տ.

K- ՄԵՐՁԱԿԱ ՀԱՐԵՎԱՆՆԵՐԻ ԵՎ ԱՐՀԵՍՏԱԿԱՆ ՆԵՅՐՈՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ
ԲԱԶՄԱՏԵՍԱԿ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵԾ ԾԱՎԱԼԱՅԻՆ
ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ..... 214

СОДЕРЖАНИЕ

АГБАЛЯН С.Г., ПАПОЯН Р.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ ШАРОВ ИЗ СТАЛИ МАРКИ ХГС В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАИРИТОВОГО ЛАТЕКСА.....	125
САРКИСЯН А.Р. МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИИ СЛОИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ	134
АНТОНЯН С.В., ЦАТУРЯН Г.А., МОВСИСЯН Л.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЦИФРОВОГО ИСКАЖЕНИЯ ВХОДНОГО СИГНАЛА УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	144
СТЕПАНЯН А.Г., ЭЙРАМДЖЯН С.Г. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА АНТЕННЫ	152
МЕЛИКЯН В.Ш., КАГРАМАНЯН Э.Р., БАБАДЖАНИЯН А.А., ПЕТРОСЯН К.О. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ В НАПРЯЖЕНИЕ С КОРОТКИМ ДИАПАЗОНОМ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА	159
ДЖАНПОЛАДОВ В.А., ПЕТРОСЯН А.А., АБАЗЯН С.С., МАРГАРЯН А.В. ВНЕДРЕНИЕ И СИМУЛЯЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК В АВТОКОРРЕКТИРУЮЩИХ СХЕМАХ	171
АРУТЮНЯН С.С., КОСТАНИЯН АКОП Т., ГРИГОРЯН М.Т., КОСТАНИЯН АРУТЮН Т., ВОСКАНЯН Г.А., АЙРАПЕТАН А.К. СХЕМА ПОМПЫ ЗАРЯДОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-ОКСИД- ПОЛУПРОВОДНИКОВ П ТИПА С ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ	181
ДАНОЯН Э.А., АЮНЦ Г.Ю. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ СМЕШАННЫМИ СПЛАЙНАМИ	188
ХАЧАТРЯН Г.Г., СИМОНЯН С.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ И ТРЕНИРОВКИ НА КОМПЬЮТЕРНОМ ТРЕНАЖЕРЕ	196
ХАЧАТРЯН Т.Б. ИНТЕГРАЦИЯ ПАРАЛЛАКСА ДВИЖЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ	205
НИКОГОСЯН К.Г., БЕДЖАНИЯН В.Т. АНАЛИЗ К-БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА И ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МУЛЬТИКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ.....	214

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., PAPOYAN R.S. INVESTIGATING THE QUENCHING PROCESS OF XFC STEEL BALLS IN AQUEOUS SOLUTION OF THE NAIRIT LATEX.....	125
SARGSYAN A.R. METALLOGRAPHIC SUBSTANTIATION OF THE PROCESS OF HOT EXTRUSION OF LAYERED POWDER COMPOSITE MATERIALS BASED ON COPPER.....	134
ANTONYAN S.V., TSATURYAN G.A., MOVSISYAN L.R. INVESTIGATING THE DIGITAL DISTORTION OF THE INPUT SIGNAL OF 5G CELLULAR POWER AMPLIFIER	144
STEPANYAN A.H., EYRAMJYAN S.G. A METHOD FOR DETERMINING THE ANTENNA PHASE CENTER.....	152
MELIKYAN V.SH., KAGRAMANYAN E.R., BABAJANYAN H.A., PETROSYAN K.O. A FREQUENCY-TO-VOLTAGE CONVERTER WITH A REDUCED DELAY TIME RANGE OF THE OUTPUT SIGNAL	159
JANPOLADOV V.A., PETROSYAN A.A., ABAZYAN S.S., MARGARYAN H.V. RANDOM FAULTS INJECTION AND SIMULATION IN AUTO-CORRECTION CIRCUITS.....	171
HARUTYUNYAN S.S., KOSTANYAN HAKOB T., GRIGORYAN M.T., KOSTANYAN HARUTYUN T., VOSKANYAN G.A., HAYRAPETYAN A.K. A RELIABLE PMOS-BASED CHARGE PUMP ARCHITECTURE	181
DANOYAN E.H., AYUNTS H.Y. IMAGE INTERPOLATION USING MIXED SPLINES	188
KHACHATRYAN H.G., SIMONYAN S.H. INVESTIGATING OF THE EFFICIENCY OF TEACHING AND TRAINING ON A COMPUTER SIMULATOR.....	196
KHACHATRYAN T.B. MOTION PARALLAX INTEGRATION INTO AUTONOMOUS SYSTEMS FOR IMAGE DEPTH IDENTIFICATION	205
NIKOGHOSYAN K.H., BEJANYAN V. T. ANALYSIS OF K-NEAREST NEIGHBOR AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR MULTICLASS CLASSIFICATION OF HIGH DIMENSIONAL DATA.....	214

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

- 1 Աբազյան Սուրեն Մասունի - Ճարտարագիտության մագիստրոս, Երևանի պետական համալսարան
Էլ. հասցե - su.abazyan@gmail.com
- 2 Աղբալյան Սուրեն Գևորգի - տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - metalsur@polytechnic.am
- 3 Այուեց Հրաչ Յուրիի - ԵՊՀ ուսանող,
- 4 Անտոնյան Մամվել Վարդանի - ուսանող, Ռադիոսարքավորումների ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - samvelantonian@gmail.com
- 5 Բաբաջանյան Հայկ Ալեքսանդրի - ՀԱՊՀ մագիստրանտ
Էլ. հասցե - babajanyan-hayk@mail.ru
- 6 Բեջանյան Վահագ Տիգրանի - ՀԱՊՀ բակալավր
Էլ. հասցե - vagbej@gmail.com,
- 7 Գրիգորյան Մանվել Տիգրանի - ՀԱՊՀ մագիստրանտ
Էլ. հասցե - manvelg@synopsys.com
- 8 Դանայան Էդվարդ Հայկազի - Ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ ԵՊՀ
- 9 Էրստմյան Սուրեն Գևորգի - տնօրեն, «SE Tech» ՍՊԸ
Էլ. հասցե - eyrsuren@gmail.com
- 10 Խաչատրյան Հրաչյա Գուրգենի - ՀԱՊՀ ասպիրանտ, ՀՀ ՊՆ
Էլ. հասցե - soft_arm@yahoo.com
- 11 Խաչատրյան Տիգրան Բագրատի - «Մինոփսիս - Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտի ուսանող, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - tigran.khachatryan1@gmail.com
- 12 Օստրոյան Գրիգոր Արմենի - ՀԱՊՀ ուսանող, Ռադիոսարքավորումների ամբիոն,
Էլ. հասցե - grigor.tsaturyan99@gmail.com
- 13 Կազարմանյան Էմիլ Ռուդոլֆի - տ.գ.թ., նախագծման ճարտարագետ մենեջեր,
Էլ. հասցե - kagraman@mail.ru
- 14 Կոստանյան Հակոբ Տիգրանի - ՀԱՊՀ մագիստրանտ
Էլ. հասցե - hakobk@synopsys.com
- 15 Կոստանյան Հարություն Տիգրանի - ՀԱՊՀ մագիստրանտ
Էլ. հասցե - harutyk@synopsys.com
- 16 Հադապետյան Անդրանիկ Կամոյի - տ.գ.թ., ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - and@synopsys.com
- 17 Հարությունյան Սերգո Սմբատի - ՀԱՊՀ ուսանող,
Էլ. հասցե - sergo@synopsys.com
- 18 Մարգարյան Հայկ Վարդանի - Ճարտարագիտության մագիստրոս, Երևանի պետական համալսարան
Էլ. հասցե - haykmargaryan97@gmail.com
- 19 Մելիքյան Վազգեն Շավարշի - Համալսարանական ծրագրերի տնօրեն, «Մինոփսիս-Արմենիա» ՓԲԸ, ՀԱՊՀ «Միկրոէլեկտրոնային սխեմաներ և համակարգեր» ամբիոնի վարիչ, տ.գ.դ. պրոֆեսոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ,
Էլ. հասցե - vazgenm@synopsys.com
- 20 Մովսիսյան Լիա Ռաֆայելի - տ.գ.թ., դոցենտ ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - lia.movesyan@gmail.com
- 21 Նիկողոսյան Կարեն Հրահատի - բակալավր ՀԱՊՀ; Develandoo, համակարգչային տեղադրության ինժեներ
Էլ. հասցե - karen.nikoghosyan.98@gmail.com
- 22 Ոսկանյան Գառնիկ Արմենի - ՀԱՊՀ ուսանող,
Էլ. հասցե - garnikv@synopsys.com

23 Պապոյան Ռոբերտ Մեթի	- ասպիրանտ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե - robertspapoyan@gmail.com
24 Պետրոսյան Արթուր Արայիկի	- ՀԱՊՀ ասպիրանտ, Էլ. հասցե - arturp@synopsys.com
25 Պետրոսյան Կամո Օլեգի	- Անալոգային և խառը ազդանշանային սխեմաների նախագծման 2-րդ կարգի ճարտարագետ Էլ. հասցե - kamo@synopsys.com
26 Զանփուլադով Վախթանգ Արտաշեսի	- ճարտարագիտության մագիստրոս, Հայ-Ռուսական համալսարան Էլ. հասցե - vakhtang.janpoladov@gmail.com
27 Սարգսյան Անի Ռուբենի	- հայցորդ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ, Էլ. հասցե - Sargsyani@hotmail.com
28 Ստեփանյան Արարատ Հենրիկի	- ուսանող, Ռադիոսարքավորումների ամբիոն, ՀԱՊՀ, Էլ. հասցե - araratstepanyan9@gmail.com
29 Սիմոնյան Սարգիս Հովհաննեսի	- տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե - simonyan@seua.am

СПИСОК АВТОРОВ

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 Абазян Сурен Сасунович | - магистр инженерных наук, ЕГУ
Эл. почта -su.abazyan@gmail.com |
| 2 Агбалин Сурен Геворкович | - д.т.н., профессор, кафедра Металлургии и материаловедения, НПУА
Эл. почта -metalsur@polytechnic.am |
| 3 Айрапетян Андраник Камоевич | - к.т.н., НПУА
Эл. почта -and@synopsys.com |
| 4 Антонян Самвел Варданович | - студент (курс 4), НПУА
Эл. почта -samwellantonyan@gmail.com |
| 5 Арутюнян Серго Смбагович | - студент, НПУА
Эл. почта -sergo@synopsys.com |
| 6 Аюнц Грач Юрикович | - студент, ЕГУ |
| 7 Бабаджанян Айк Александрович | - магистрант, НПУА
Эл. почта- babajanyan-hayk@mail.ru |
| 8 Беджаниян Вааг Тигранович | - бакалавр, НПУА, программный инженер
Эл. почта -vagbej@gmail.com, |
| 9 Восканян Гарник Арменович | - студент, НПУА
Эл. почта -garnikv@synopsys.com |
| 10 Григорян Манвел Тигранович | - Магистрант, НПУА
Эл. почта -manvelg@synopsys.com |
| 11 Даноян Эдвард Айказович, | - к.ф.-м.н., доцент, ЕГУ |
| 12 Джанполадов Вахтанг | - магистр инженерных наук, РАУ |
| Арташесович | Эл. почта -vakhtang.janpoladov@gmail.com |
| 13 Каграманян Эмил Рудольфович | - к.т.н., инженер-менеджер проектирования
Эл. почта- kagraman@mail.ru |
| 14 Костанян Акоп Тигранович | - магистрант, НПУА
Эл. Почта -hakobk@synopsys.com |
| 15 Костанян Арутюн Тигранович | - магистрант, НПУА
Эл. почта -harutyk@synopsys.com |
| 16 Маргарян Айк Варданович | - магистр инженерных наук, ЕГУ
Эл. почта -haykmargaryan97@gmail.com |
| 17 Меликян Вазген Шаваршевич | - директор университетских программ, ЗАО «Синописис Армения», зав. каф. Микроэлектронных схем и систем НПУА, проф., член-корр. НАН РА
Эл. почта- vazgenm@synopsys.com |
| 18 Мовсисян Лиа Рафаеловна | - к.т.н., доцент, НПУА
Эл. почта -lia.movsesyan@gmail.com |
| 19 Никогосян Карен Грагатович | - бакалавр НПУА, инженер Компьютерного зрения
Эл. почта -karen.nikoghosyan.98@gmail.com |
| 20 Папоян Роберт Сетович | - аспирант, кафедра Металлургии и материаловедения, НПУА
Эл. почта - robertspapoyan@gmail.com |
| 21 Петросян Артур Араикович | - аспирант, НПУА
Эл. почта -arturp@synopsys.com |

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 22 Петросян Камо Олегович | - инженер 2-й степени по проектированию схем для аналоговых и смешанных сигналов.
Эл. почта -kamo@synopsys.com |
| 23 Саркисян Ани Рубеновна | - соискатель, кафедра Металлургии и материаловедения, НПУА
Эл. почта - Sargsyani@hotmail.com |
| 24 Симонян Саркис Оганесович | - д.т.н., профессор, НПУА
Эл. почта –simonyan@seua.am |
| 25 Степанян Арарат Генрикович | - студент, НПУА
Эл. почта -araratstepanyan9@gmail.com |
| 26 Хачатрян Грачья Гургенович | - аспирант НПУА, Министерство обороны РА
Эл. почта –soft_arm@yahoo.com |
| 27 Хачатрян Тигран Багратович | - студент учебного департамента “Синописис Армения”, НПУА
Эл. почта - tigran.khachatryan1@gmail.com |
| 28 Цатурян Григор Арменович | - студент (курс 4) НПУА
Эл. почта -grigor.tsaturyan99@gmail.com |
| 29 Эйрамджян Сурен Геворгович | - директор ООО “SE Tech”
Эл. почта - eyrsuren@gmail.com |

LIST OF THE AUTHORS

- | | |
|--|--|
| 1 Abazyan Suren Sasun | - Master of Engineering, Yerevan State University
E-mail – su.abazyan@gmail.com |
| 2 Aghbalyan Suren Gevorg | - Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA
E-mail – metalsur@polytechnic.am |
| 3 Ayunts Hrach Yuri | - Student of YSU |
| 4 Antonyan Samvel Vardan | - student (4 th course), NPUA
E-mail –samwellantonyan@gmail.com |
| 5 Babajanyan Hayk Aleksandr | - Graduate NPUA by “Electronic” specialization. Research and development engineer.
E-mail – babajanyan-hayk@mail.ru |
| 6 Bejanyan Vahag Tigran | - NPUA, Bachelor; Mentor Graphics, Software Engineer
E-mail – vagbej@gmail.com, |
| 7 Danoyan Edward Haykaz | - PhD., YSU
E-mail – |
| 8 Eyrarnjyan Suren Gevorg | - Director CEO “SE Tech”
E-mail – eyrsuren@gmail.com |
| 9 Grigoryan Manvel Tigran | - Graduate student of NPUA
E-mail – manvelg@synopsys.com |
| 10 Harutyunyan Sergo Smbat | - Student of NPUA
E-mail – sergo@synopsys.com |
| 11 Hayrapetyan Andranik Kamo | - Cand. of tech. sci., NPUA
E-mail – and@synopsys.com |
| 12 Janpoladov Vakhtang Artashes | - Master of Engineering, Russian-Armenian University
E-mail – vakhtang.janpoladov@gmail.com |
| 13 Kagramanyan Emil Rudolf | - Cand. of tech. sci., Project manager engineer,
E-mail – kagraman@mail.ru |
| 14 Khachatryan Hrachya Gurgen | - Cand. of tech. sci., YSU
E-mail – soft_arm@yahoo.com |
| 15 Khachatryan Tigran Bagrat | - Student of “Synopsys Armenia” educational department, NPUA
E-mail – tigran.khachatryan1@gmail.com |
| 16 Kostanyan Hakob Tigran | - Graduate student of NPUA
E-mail – hakobk@synopsys.com |
| 17 Kostanyan Harutyun Tigran | - Graduate student of NPUA
E-mail – harutyk@synopsys.com |
| 18 Margaryan Hayk Vardan | - Master of Engineering, Yerevan State University
E-mail – haykmargaryan97@gmail.com |
| 19 Melikyan Vazgen Shavarshi | - Director of University Programs, Synopsys Armenia CJSC
Head of Microelectronic Circuits and Systems Chair of NPUA, Dr of tech. Sci., Professor, Corresponding Member of National Academy of Sciences of Armenia
E-mail – vazgenm@synopsys.com |
| 20 Movsisyan Lia Rafael | - Ph.D docent, NPUA
E-mail –lia.movsesyan@gmail.com |

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 21 Nikoghosyan Karen Hrahat | - NPUA, Bachelor; Develandoo, Computer Vision Engineer;
E-mail – karen.nikoghosyan.98@gmail.com |
| 22 Papoyan Robert Set | - Post-graduate student of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA
E-mail – robertspapoyan@gmail.com |
| 23 Petrosyan Artur Arayik | - Post graduate student, NPUA
E-mail – arturp@synopsys.com |
| 24 Petrosyan Kamo Oleg | - Second step engineer of analog and mixed signal circuit design.
E-mail – kamo@synopsys.com |
| 25 Sargsyan Ani Ruben | - Probationer of the Chair of Metallurgy and Material Science, NPUA
E-mail – Sargsyani@hotmail.com |
| 26 Simonyan Sargis Hovhannes | - Cand. of tech. sci., YSU
E-mail – simonyan@seua.am |
| 27 Stepanyan Ararat Henrik | - Student, NPUA
E-mail – araratstepanyan9@gmail.com |
| 28 Tsaturyan Grigor Armen | - student (4 th course), NPUA
E-mail – grigor.tsaturyan99@gmail.com |
| 29 Voskanyan Garnik Armen | - Student of NPUA
E-mail – garnikv@synopsys.com |

«Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. տեխնիկական գիտությունների սերիա» հանդեսում տպագրվում են տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները տեխնիկական գիտությունների հետևյալ բաժիններից՝ մեքենաշինություն, մետալուրգիա, նյութագիտություն, ընդերքօգտագործման տեխնոլոգիաներ, շինարարական կառուցվածքներ, հիդրավիկա և հիդրոտեխնիկական կառույցներ, էներգետիկա, էլեկտրատեխնիկա, գիտական սարքաշինություն և չափողական տեխնիկա, հաշվողական տեխնիկա և ինֆորմատիկա, ռադիոէլեկտրոնիկա, միկրոէլեկտրոնիկա, լազերային տեխնիկա, ավտոմատացում և կառավարման համակարգեր:

Հանդեսում լուսաբանվում են ակադեմիական և ճյուղային գիտահետազոտական ինստիտուտների, բուհերի, գիտաարտադրական միավորումների և այլ կազմակերպությունների գիտական գործունեության առավել կարևոր արդյունքները:

Հանդեսի հիմնական նպատակն է խթանել գիտատեխնիկական առաջընթացը և նպաստել արտադրության մեջ այդ արդյունքների ներդրմանը:

Հանդեսը նախատեսված է ճարտարագետների, հետազոտողների և գիտնականների լայն շրջանների համար: Լույս է տեսնում երեք ամիսը մեկ անգամ:

В журнале "Известия Национальной академии наук РА и Национального политехнического университета Армении. Серия технических наук" публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований, охватывающих основные разделы технических наук: машиностроение, металлургия, материаловедение, технологии недропользования, строительные конструкции, гидравлика и гидротехнические сооружения, энергетика, электротехника, научное приборостроение и измерительная техника, вычислительная техника и информатика, радиоэлектроника, микроэлектроника, лазерная техника, автоматизация и системы управления.

Журнал является периодическим изданием, освещающим наиболее важные результаты научной деятельности академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и др.

Основная цель журнала - пропагандировать фундаментальные и прикладные исследования в области технических наук, способствовать внедрению их результатов и ускорению научно-технического прогресса в производстве.

Журнал рассчитан на широкий круг ученых, исследователей и инженеров. Выходит один раз в три месяца.

The journal "Proceedings of the Republic of Armenia National Academy of Sciences and National Polytechnic University of Armenia. Series of Technical Sciences" publishes the results of theoretical and experimental investigations concerning the main branches of technical sciences: mechanical engineering, metallurgy, material science, mining engineering, natura utilization, building constructions, hydraulics and hydrotechnical constructions, power and electrical engineering, scientific instrument making and measuring devices, computer science and informatics, radioelectronics, microelectronics, laser eequipment, automation and control systems.

The journal is a periodical edition that presents the most important results of scientific activities at academic and branch scientific-research institutions, universities, research - industrial companies, etc.

The main task of the journal is the propaganda of fundamental and applied investigations in the field of technical sciences, and the promotion of their introduction and the acceleration of scientific and technological progress in industry.

The journal is intended for a wide range of scientists, researchers and engineers. It is published once in three months.

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐ

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով, համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի 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 Sylfaen տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերեն կամ անգլերեն լինելու դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիչը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԾԿ, ՍԾԿ), հաջորդ տողի կենտրոնում՝ գլխատառերով հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում: Հոդվածի վերնագիրը տրվում է հեղինակի ազգանվանը հաջորդող տողի կենտրոնում՝ bold, ամբողջությամբ գլխատառերով՝ 10 տառաչափով՝ հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անտառագիա) 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 500 նիշից ոչ ավելի՝ ներառյալ միջակայքերը, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Խնդրի դրվածքը 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) փակագծի մեջ:

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, «Գրականության ցանկ» արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, գլխատառերով: 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 հասցևը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գեոմեթրիկ 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 բջջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл 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 Sylfaen (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 - инициалы (И.О.) и фамилия - заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен состоять не более чем из 500 знаков, включая пробелы. 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. Словосочетание **“СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ”** располагается в центре строки заглавными 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

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 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 Sylfaen, font size 10, and the texts in by Times New Roman, in font size 10 .

2. On the top left corner, the Universal Decimal Classifier is placed in the language of the manuscript (ՀՏԴ, УДК, UDC). The initials and the surname(s) in font size 10, bold for texts in Armenian, English and Russian should be in the centre of the next line. The title should be placed in the centre of the line following the author's surname in font size 10, bold, all in capital letters for texts in Armenian, English and Russian.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. 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 summary should not exceed 500 characters including the spaces, 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 should be 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 capital letters. 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, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the authors names, 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).