

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

ISSN 0002-306 X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ՀԱՏՈՐ LXXV ТОМ

3

ԵՐԵՎԱՆ 2022 ЕРЕВАН

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 75
N 3

ԵՐԵՎԱՆ 2022

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 75
N 3

ЕРЕВАН 2022

PROCEEDINGS

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

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 75
N 3

YEREVAN 2022

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՝ Սեյրանյան 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 Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Գոնեյմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս
Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի
Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա
Ջորյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Իլյուշենկո Ա.Ֆ., Բելառուսի ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Լան Զ., 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
Հահանով Վ.Ի., Կիրառական ռադիոէլեկտրոնիկայի Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ.,
Ուկրաինա
Ղուկյան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Մանդալիկա Ս., տ.գ.թ., Հնդկաստան
Մարուխյան Ո.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ
Միխայլիչ Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Շլիխտման Ու., տ.գ.թ., Գերմանիա
Չանգ Ֆ., Թայվանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., Թայվան
Չապլիգին 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
Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ստեփանյանի 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

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:

Агбалян 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

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

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

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

Михайлевич 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

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
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
Dokic B., Sci.Dr., Bosnia and Herzegovina
Gagarinski A.Yu., Sci.Dr., Prof., Russia
Ghoneima M., Ph.D., Egypt
Ghulyan A.G., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Grimblatt V., Ph.D., 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
Lan Ch., Ph.D., China
Mandalika S., Ph.D., India
Marukhyan V.Z., Ph.D., Prof., Armenia
Mikhaylevich A.A., Sci.Dr., Prof., Belarus
Petrosyan O.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Petrosyants K.O., Sci.Dr., Prof., Russia
Sapatnekar S., Ph.D., USA
Sargsyan Yu.L., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Schlichtmann U., Ph.D., 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.D., USA

Հրատ. խմբագիր՝

Խմբագիրներ՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

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

2022

3

ՀԱՏՈՐ

ТОМ 75
VOLUME

Հրատ. Խմբագիր՝
Խմբագիրներ՝

ԺԱՆՆԱ Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ
Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ
Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 21.03.2023

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

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 8 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 71: Տպաքանակ՝ 200

Հայաստանի Ազգային
Պոլիտեխնիկական
Համալսարանի
«Պոլիտեխնիկ»
տպագրահրատարակչություն
Երևան, Տերյան 105

Типографско-
издательский центр
«Политехник»
Национального
политехнического
университета Армении
Ереван, ул. Теряна 105,

“Polytechnic” Publishing – House
National Polytechnic University of
Armenia
105 Teryan str. Yerevan

polytechpolygraph@gmail.com

Հ.Ա. ԻՍՈՒՆՑ, Ա.Հ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Վ.Շ. ԱՎԱԳՅԱՆ

**ԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ, ՈՒՂՂԱՆԿՅՈՒՆ ՀԱՏՈՒՅԹՈՎ ԵՎ
ՓՈՔՐԱԳՈՒՅՆ ԱՆԴՐԱԴԱՐՁՄԱՄԲ ԱԼԻՔՍԱՐԻ ԵՎ ԿՑԱՇՈՒՐԹԻ
ՎԱԿՈՒՄԱՅԻՆ ԶՈՂՈՒՄԸ**

Ներկայացված է փոփոխական հատկություն և փոքրագույն անդրադարձմամբ, բարձր հաճախականությամբ, երկար ալիքատարի և պղնձի հիմքով կոմպոզիտային նյութից պատրաստված կցաշտրթի վակուումային զոդման տեխնոլոգիան: Վերջինս մշակելիս կատարվել են փորձեր տարբեր ջերմաստիճանային ռեժիմներում, ինչպես նաև կիրառվել են տարբեր հատկություններով նյութեր: Որպես նյութ ալիքատարների համար ընտրված է թթվածնազերծված պղինձը: Իր հատկությունների շնորհիվ թթվածնազերծված պղինձը ավելի հեշտ է մշակվում մետաղահատ հաստոցների վրա և մեծ կիրառություն ունի արագացուցչային տեխնիկայում: Որպես զոդանյութ ընտրված է BVAg-8 մակնիշի համաձուլվածքը, որն իր բաղադրությամբ բավարարում է վակուումային զոդման գործընթացին համապատասխանող պայմանները: Զոդանյութն արծաթի և պղինձի համաձուլվածք է: Ուղղանկյուն հատկությամբ ալիքատարի և կցաշտրթի զոդումն իրականացվել է բարձր վակուումի պայմաններում, վակուումային զոդման կայանքում, որը վերականգնվել և մոդիֆիկացվել է «ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտում:

Առանցքային բառեր. վակուումային զոդանյութ, վակուումային զոդման կայանք, GlidCop-ից պատրաստված կցաշտրթ, բարձր հաճախականությամբ ալիքատար, նմուշի ջերմաստիճան, խցիկի ջերմաստիճան:

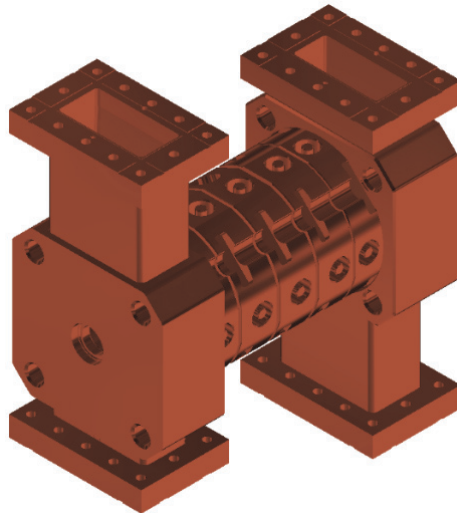
Ներածություն: Բարձր հաճախականությամբ, փոփոխական կամ հաստատուն լայնական հատկությամբ ալիքատարների և դիսպերս կարծր պղնձից պատրաստված կցաշտրթերի զոդումը նպատակահարմար է կատարել վակուումային պայմաններում, ռացիոնալ բնութագրիչ ռեժիմներում, հատուկ զոդանյութերի միջոցով: Զոդումը վակուումային պայմաններում ապահովում է նմուշի մակերևույթի մաքրությունը և զերծ է պահում պղինձը օքսիդացումից: Կարևոր է նշել, որ վերջինս հանդիսանում է խնդիր մի քանի առումներով՝

- վակուում. քանի որ հանգույցը պետք է կարողանա ապահովել գերբարձր վակուում, օքսիդացված մակերևույթը խոչընդոտում է գործընթացին,
- գազանջատում. այս գործոնը հանգեցնում է խցիկում առկա ճնշման տատանումներին,

- գոլորշու բարձր ճնշում:

[1]-ում ուսումնասիրվել է ալիքի արագացնող կառուցվածքի նախատիպը 11,994 *ՂՀ* հաճախականությամբ կոմպակտ գծային կոլայդերի համար: «ՔԵՆԴԼ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտում մշակվել է բարձր հաճախականությամբ ալիքների հանգույցի նոր մոդելը (նկ.1): Հանգույցի բարդ կազմության պատճառով այն բաղկացած է պարզ երկրաչափություն ունեցող մասերից, որոնք հնարավոր է ստանալ մետաղամշակման հաստոցի միջոցով: Վերջիններս մշակումից հետո միմյանց հետ միավորվում են (անշարժ ձևով) և դառնում մեկ միավոր: Թվածրագրային կառավարման հաստոցը HAAS TM-1P մակնիշի ուղղաձիգ ֆրեզման հաստոց է, որն ապահովում է դետալի պատրաստման ճշտությունը:

Նկ. 1-ում ներկայացված է բարձր հաճախականության ալիքների հանգույցը: Ինչպես երևում է, նման կոնստրուկցիայով և գաբարիտային չափերով հանգույցը անհնար է մշակել հաստոցների վրա: Նպատակահարմար է բարդ կոնստրուկցիան բաժանել ավելի պարզ մասերի, որոնք հետագայում կգոդվեն վակուումային պայմաններում: Զոդումը իր հերթին առաջացնում է հերմետիկության ապահովման խնդիր:



Նկ.1. Բարձր հաճախականությամբ ալիքների հանգույց

Բարձր հաճախականությամբ ալիքների հանգույցը կազմված է չորս կցաշուրթերից, որոնք գոդված են ուղղանկյուն հատույթով երկար և կարճ երկուական ալիքատարների հետ, որոնք իրենց հերթին ամրացվում են երկու միակցիչներին: Աջ և ձախ ենթահանգույցները իրար են ամրացված միակցիչների հինգ բաժականման դետալների միջոցով [2-4]: Յուրաքանչյուր բաժականման միակցիչն ունի սկավառակ:

[5]-ում ներկայացված է փոփոխական հատույթով և փոքրագույն անդրադարձամբ բարձր հաճախականությամբ ալիքատարի վակուումային զոդման տեխնոլոգիան: Վակուումային զոդումը կատարվել է BVAg-30 մակնիշի զոդանյութով, որը մշակված է հատուկ վակուումային աշխատանքների համար և նպատակահարմար է կիրառել այն աշխատանքներում, որտեղ անհրաժեշտ են մեծ մաքրություն և ճշտություն: Ստացված ալիքատարը անհրաժեշտ է զոդել կցաշուրթի հետ, բայց ոչ նույն զոդանյութով և նույն ռեժիմներում: Նույն զոդանյութի և ռեժիմների օգտագործումը կհանգեցնեք փոփոխական հատույթով և փոքրագույն անդրադարձամբ բարձր հաճախականությամբ ալիքատարի երկու մասերը միավորող զոդանյութի հալմանը, որը կհոսեր՝ առաջացնելով անցքեր և բացվածքներ զոդված կարում: Նման փորձանմուշը անուղղելի խոտան է և ենթակա չէ վերագոդման:

Ժամանակին համընթաց ստեղծվում են նոր բաղադրությամբ համաձուլվածքներ, որոնք որպես զոդանյութեր օգտագործվում են վակուումային տեխնիկայում: Նման զոդանյութերը արժանի են մանրակրկիտ ուսումնասիրության:

Առաջին հայացքից վակուումային զոդման գործընթացը բարդություն չի ներկայացնում, բայց գործնականում դժվար է հետևել ջերմաստիճանի ցուցմունքներին և կառավարել ռեժիմները [6]: Առավել ուշադրության է արժանի կայանքի անջատման գործընթացը, քանի որ նմուշի ոչ բավարար հովացումը ևս օքսիդացման պատճառ կարող է դառնալ:

Աշխատանքի նպատակը: Աշխատանքի նպատակն է մշակել փոփոխական հատույթով և փոքրագույն անդրադարձամբ, բարձր հաճախականությամբ, հատուկ զոդանյութի համար նախատեսված ակոսներով, երկար ալիքատարերի և GlidCop-ից պատրաստված ուղղանկյուն կցաշուրթերի զոդման տեխնոլոգիան, ինչպես նաև վերլուծել վակուումային զոդանյութերի վարքը տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում:

Խնդրի դրվածքը: Որպես ուղղանկյուն հատույթով ալիքատարի նյութ ընտրված է թթվածնազերծված պղինձը, որը ընտրվել է իր հատկությունների և մաքրության շնորհիվ: Կցաշուրթի նյութը դիսպերսիոն ամրացված պղինձ է՝ GlidCop AL-25 մակնիշի: Նյութի նման ընտրությունը կանխում է կցաշուրթերի՝ իրար միացման ժամանակ մնացորդային դեֆորմացիաների առաջացումը:

GlidCop AL-25-ը ըստ [7]-ի նախատեսված է բարձր էլեկտրական և ջերմային փոխանցման հատկություններ պահանջող աշխատանքների համար: Նման հատկությունների հետ մեկտեղ GlidCop-ը աչքի է ընկնում իր ամրությամբ, որը պահպանվում է նույնիսկ բարձր ջերմաստիճաններում: GlidCop-ը օժտված է բարձր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով, որը և անհրաժեշտ է կցաշուրթերի համար: Ինչպես գիտենք, կցաշուրթերը նախատեսված են երկու լիսեռանման դետալներն իրար միացնելու համար, իսկ վակուումային պայմաններում

աշխատելու դեպքում անհրաժեշտ է նաև, որ երկու կցաշուրթերն իրար միացվեն առանց բացակների՝ օդի ներհոսքը կանխարգելելու համար: Այս դեպքում նպատակահարմար չէ կցաշուրթերի պատրաստման համար որպես նյութ ընտրել, օրինակ, թթվածնազերծված պղինձը, քանի որ մեծ ոլորող մոմենտների դեպքում հեղույս-մանեկների ձգման արդյունքում կցաշուրթերը պլաստիկ կդեֆորմացվեն, և մի քանի քանդում-հավաքումից հետո դրանք պիտանի չեն լինի օգտագործման համար:

GlidCop AL-25-ը դիսպերսիոն ամրացված պղինձ է՝ ալյումինի օքսիդի քիչ քանակությամբ: Այն բաղկացած է մաքուր պղնձի մատրիցից, որը պարունակում է Al_2O_3 -ի մանրադիսպերս ենթամիկրոսկոպիկ մասնիկներ, որոնք ծառայում են որպես արգելք դիսլոկացիաների տեղաշարժման համար: Al_2O_3 -ը թերմիկ անփոփոխ է, որի շնորհիվ դանդաղեցնում է պղնձի վերաբյուրեղացումը: Հետևաբար՝ բարձր ջերմաստիճանների ազդեցության դեպքում նշանակալի փափկացումներ տեղի չեն ունենում:

Այնպիսի գոդանյութերը, ինչպիսիք են BVAg-8-ը [8] և BVAg-30-ը [9], հիմնականում օգտագործվում են արծաթե, նիկելե և պղնձե դետալների միավորման համար: Նման գոդումն իրականացնում են վերականգնողական, իներտ կամ վակուումային միջավայրերում: Նման գոդանյութերը մեծ կիրառություն ունեն նաև կերամիկան մետաղների հետ միավորման համար, որն ավելի բարդ գործընթաց է: Այդ գոդանյութերն օգտագործում են չափավոր ջերմաստիճաններում, վակուումային գոդման պայմաններում: Վակուումային համակարգերում նման գոդանյութերով գոդումը մեծ կիրառություն ունի, որը բացառում է անցանկալի անցքերի և բացակների առկայությունը:

Ընդհանուր առմամբ վակուումային գոդման գործընթացում անհրաժեշտ է կիրառել այնպիսի գոդանյութ, որում կբացակայեն անցանկալի խառնուրդները (օրինակ՝ ցինկ, ֆոսֆոր, կադմիում, նատրիում, մագնեզիում և այլն), որոնք ոչ միայն բացասաբար են ազդում գոդման կարի վրա, այլ նաև բարձր ջերմաստիճաններում մակակլանվում են վակուումային կայանքի խցիկի պատերում և առաջացնում գազանջատում: Վերջինս բացասաբար է ազդում բարձր վակուումի ստացման գործնական վրա, և խցիկի հետագա տաքացման ընթացքում մակակլանված նյութերը կարող են գոլորշիանալ և անցանկալի նստվածքներ առաջացնել արդեն գոդման ենթակա հաջորդ դետալների վրա:

BVAg-8 և BVAg-30 մակնիշի գոդանյութերը հատուկ համաձուլվածքներ են՝ վնասակար խառնուրդների ցածր քանակությամբ, որոնք նախատեսված են վակուումային գոդման համար: Ինչպես պարզվում է [8]-ից և [9]-ից, գոդանյութերում գերակշռող մասը կազմում է արծաթը: Վերջինս անդրադարձնում է լույսը (հատկապես ինֆրակարմիր), լավ հաղորդում է ջերմությունը և էլեկտրականու-

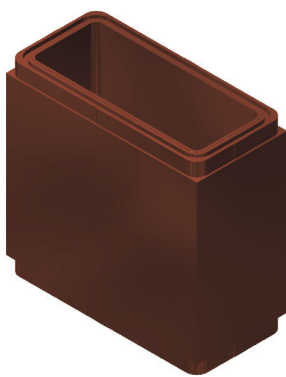
թյունը: Արծաթն ունի մեծ պլաստիկություն, քիմիապես քիչ ակտիվ է, միացություններում՝ միարժեք, երբեմն երկարժեք և եռարժեք է:

Համաձուլվածքում ըստ քանակության հաջորդը պղինձն է, որն ունի մեծ ջերմահաղորդականություն և էլեկտրահաղորդականություն: Այս հատկություններով պղինձը զիջում է միայն արծաթին: Պղինձի համաձուլվածքները մաքուր պղինձի համեմատ օժտված են ավելի ցածր հաղորդականությամբ, բայց ավելի բարձր կարծրությամբ, ինչի օրինակ է GlidCop AL-25-ը:

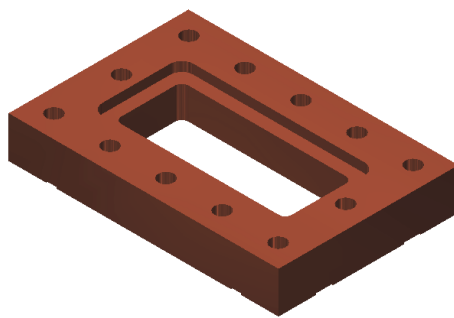
BVAg-30-ը BVAg-8-ի համեմատությամբ ունի պալադիումի 4,5...5,5% բաղադրություն, որի շնորհիվ մնացած ստանդարտ արծաթ-պղինձ համաձուլվածքների համեմատությամբ BVAg-30 մակնիշի զոդանյութը օժտված է ավելի բարձր կոռոզիակայունությամբ և օքսիդակայունությամբ: Մնացած նյութերը զոդանյութերի բաղադրության չնչին մասն են կազմում (0,001...0,002%) և գործնականում ազդեցություն չեն ունենում վակուումային զոդման գործընթացի վրա:

Նման զոդանյութերն արտադրվում են մետաղաթաղանթների, մետաղալարերի, փոշու, արտամղված մածուկների տեսքով: Առավել հաճախ վակուումային աշխատանքներում օգտագործվում են զոդանյութերի մետաղալարերի և փոշու տարբերակները: Վերջիններիս ընտրությունը կախված է կապակցվող մասերի կառուցվածքներից, ակոսների ձևից, չափերից կամ ընդհանրապես առկայությունից:

Երկար ալիքատարի երկարությունը կազմում է 81 մմ, ընդհանուր չափերը արտաքինից՝ 82x44 մմ: 44 մմ չափը ստացվում է ալիքատարի երկու մասերից, որոնցից մեկն ունի 21,75 մմ լայնություն, իսկ մյուսը՝ 22,25 մմ: Երկար ալիքատարի կցվանքների զոդումից հետո այն կրկին մշակվում է: Ալիքատարի երկու կողմերում մշակվում են ակոսներ զոդանյութի համար և կողպեքներ՝ զոդանյութի դեպի ներս հոսելը կանխարգելելու համար:



ա)

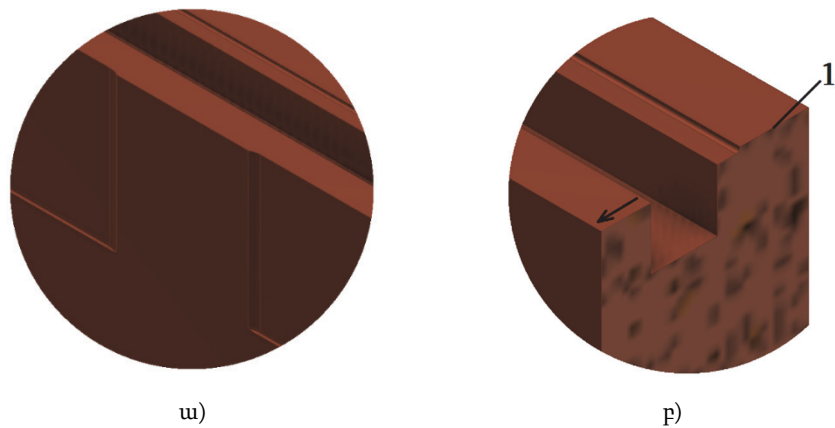


բ)

Նկ.2. Ուղղանկյուն հատույթով ալիքատարի (ա) և GlidCop-ից պատրաստված կցաշուրթի (բ) մոդելները

Ալիքատարի և կցաշուրթի շփման գոտին մշակված է այնպես, որ դրանք ավելի հերմետիկ միանան իրար, պահպանելով թույլատրելի բացակների միջակայքը: Նման ալիքատարի մոդելը ներկայացված է նկ. 2ա-ում, որը նախագծվել է Autodesk Inventor Professional ծրագրային միջավայրում: Զոդանյութի ակոսները արված են $1,6 \times 1,6$ մմ չափերով, որը մշակվել է 1 մմ տրամագծի ֆրեզով: Օգտագործվող զոդանյութը 1,57 մմ տրամագծով մետաղալար է:

Ինչպես երևում է նկ. 2բ-ից, կցաշուրթն ունի աստիճանական մաս, որտեղ ալիքատարը 4 մմ չափով մտնում է կցաշուրթի մեջ: Նկ. 3ա-ում պատկերված ուռուցիկ մասը նախատեսված է ալիքատարի և կցաշուրթի հերմետիկ և անշարժ ամրացման համար: Ուռուցիկ մասերն ունեն ընդամենը 0,1 մմ հաստություն, քանակով չորս են և տեղակայված են ալիքատարի չորս կողմերի՝ մեջտեղի մասերում: Նկ. 3բ-ում պատկերված է զոդանյութի առվակի հաստությոը: Զոդանյութը տեղակայվում է առվակում, և վակուումային զոդման ժամանակ, երբ զոդանյութը հալվում է և սկսում հոսել, կողպեքի (1) առկայությունը կանխարգելում է զոդանյութի դեպի ներս հոսքը: Զոդանյութը կարող է հոսել դեպի դուրս, սլաքով պատկերված ճանապարհով, ապահովելով թրջման երևույթը, որը առանցքային դեր է խաղում զոդման գործընթացում: Այս երկրաչափությունն ապահովում է նաև գազահեռացման ճանապարհը, քանի որ բարձր ջերմաստիճաններում զոդանյութից անջատվում են գազեր, որոնց առկայությունը զոդման գոտում բացասական ազդեցություն կարող է ունենալ:



Նկ.3. Ուղղանկյուն հաստությով ալիքատարի և կցաշուրթի ամրացման համար նախատեսված ուռուցիկ մասը (ա) և զոդման գոտում զոդանյութի առվակի հաստությոը (բ)

Հետազոտության արդյունքները: Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, վակուումային զոդման նմուշները չորսն են, որոնցից երկուսի ալիքատարները երկար են, իսկ մյուս երկուսինը՝ կարճ: Երկար ալիքատարները փոփոխական ուղղանկյուն

հատույթով են, իսկ կարճերը՝ հաստատուն ուղղանկյուն հատույթով: Դրանց զոդման գործընթացն ուսումնասիրվել է [10]-ում:

Առաջինը երկար ալիքատարով նմուշն է: Այս փորձը կրկնվել է երեք անգամ, քանի որ զոդանյութը դուրս չէր հոսել, և կարի գիծը չէր երևում: Նմուշը ենթարկվել է վակուումային հերմետիկության արատորոշման, որի արդյունքը բացասական է եղել:

Փորձերի արդյունքները ներկայացված են աղ. 1-ում, որտեղ t_1 -ը նմուշի ջերմաստիճանն է, t_2 -ը՝ խցիկի:

Աղյուսակ 1

Երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զոդման առաջին նմուշի արդյունքները

I փորձ		II փորձ		III փորձ	
t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2
790	790,7	790	789,1	790	775,7
791	786,9	792,8	789	796	778,7
792	781,2	797,5	781	800	780,5
793	775,5	797,1	769,8	806	784,6
794	769,3	798,1	769,7	810	788
794,1	767,6	805,6	776	814	790,2

Փորձերը կատարվել են BVAg-8 մակնիշի զոդանյութով: Հաշվի առնելով թերմոզույգերի չափման սխալանքները, զոդանյութի հալման ջերմաստիճանը վակուումում ընդունվել է 790°C -ը: Առաջին փորձի տևողությունը է 10 րոպե է, իրականացվել է $1,8...1,2 \cdot 10^{-5} \text{ մմ սնդ. սյան}$ վակուումի պայմաններում: Կարևորագույն բնութագրիչներից մեկը տիրիստորի բացման անկյունն է, որի արժեքը փորձի սկզբում՝ $\varphi_1=87^{\circ}$ է: Փորձի վերջում տիրիստորի բացման անկյունը աստիճանաբար նվազեցվել է մինչև $\varphi_2=82^{\circ}$: Նվազեցման պատճառը ջերմաստիճանային գոտու պահպանումն է:

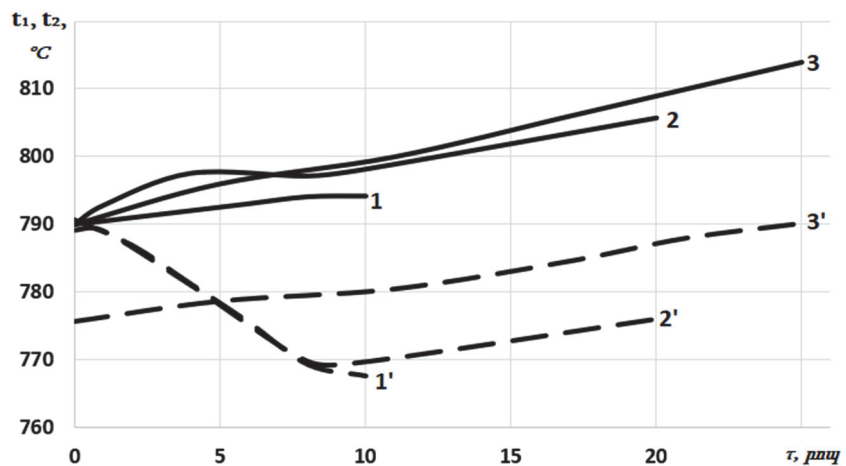
Տաքացուցչի հզորությունը փորձի սկզբում և վերջում ընդունել է համապատասխանաբար $P_1=9,3 \text{ կՎտ}$ և $P_2=9 \text{ կՎտ}$ արժեքներ: Փորձի արդյունքում զոդանյութը դուրս չէր հոսել, ինչից հասկանալի էր, որ նմուշը կունենար բացակներ:

Փորձը կրկնվել է երկրորդ անգամ, որը պահվել է 20 րոպե , նախորդի համեմատ կրկնակի անգամ ավել: Տիրիստորի բացման անկյունը փորձի սկզբում եղել է $\varphi_1=87^{\circ}$, իսկ վերջում՝ $\varphi_2=83^{\circ}$: Այս անգամ նմուշի ջերմաստիճանը բարձրացվել է մինչև $805,6^{\circ}\text{C}$ -ը, բայց խցիկի ջերմաստիճանը, այնուամենայնիվ, նվազել է: Տաքացուցչի հզորությունը փորձի սկզբում և վերջում ընդունել է համապատասխանաբար $P_1=9,5 \text{ կՎտ}$ և $P_2=8 \text{ կՎտ}$ արժեքներ: Նմուշը ենթարկվել է վակուում-

մային հերմետիկության արատորոշման: Գործընթացի աշխատանքի սկզբունքը ներկայացված է [5]-ում: Նմուշի կարն ունեցել է օդի ներհոսքի տեղեր:

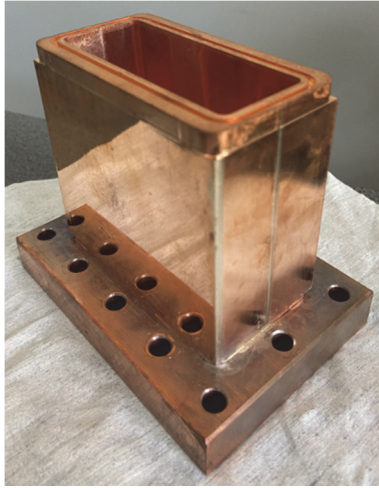
Փորձի երրորդ կրկնության ժամանակ նմուշը պահվել է 25 րոպե: Տիրիստորի բացման անկյունը փորձի սկզբում եղել է $\varphi_1=87^\circ$, իսկ վերջում՝ $\varphi_2=83,5^\circ$: Այս անգամ նմուշի ջերմաստիճանը բարձրացվել է մինչև 814°C -ը, բայց խցիկի ջերմաստիճանն աճել է: Տաքացուցչի հզորությունը փորձի սկզբում և վերջում ընդունել է համապատասխանաբար $P_1=9,5$ կՎտ և $P_2=9$ կՎտ արժեքներ: Վակուումային հերմետիկության փորձի արդյունքում նմուշը ենթարկվել է արատորոշման և ստուգվել՝ միայն բարձր վակուումի դեպքում: Նմուշը պահվել է 10^{-6} մմ սնդ. սյուն վակուումում: Կարելի է եզրակացնել, որ կարևոր է պահպանել ոչ միայն նմուշի ջերմաստիճանը, այլ նաև խցիկի, քանի որ ըստ արդյունքների՝ միայն 3-րդ անգամ զոդումից հետո վակուումային արատորոշումը դրական արդյունք տվեց: Նաև պետք է նշել, որ նպատակահարմար է փորձն իրականացնել ավելի երկար ժամանակահատվածով, որպեսզի զոդանյութը հասցնի հալվել, տարածվել և թրջել պղնձե մակերևույթները:

Նկ. 4-ում պատկերված են երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զոդման առաջին նմուշի փորձերի գրաֆիկները, որտեղ հոծ գծերով պատկերված գրաֆիկները նմուշի ջերմաստիճաններն են՝ կախված ժամանակից, իսկ ընդհատ գծերով գրաֆիկները՝ խցիկի:



Նկ. 4. Երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զոդման առաջին նմուշի փորձերի գրաֆիկները

Առաջին նմուշը պատկերված է նկ.5-ում: Թեև զոդանյութը ակնառու դուրս չի հոսել, բայց վակուումային հերմետիկության արատորոշման փորձի արդյունքը դրական է: Համարելով դրական արդյունք՝ կարող ենք ասել, որ այն կարելի է զոդել հաջորդ մասին (միակցի):



Նկ. 5. Երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զողման առաջին (ա) և երկրորդ (բ) նմուշները

Երկրորդը ևս երկար ալիքատարով նմուշն է: Այս փորձը նույնպես կրկնվել է երեք անգամ:

Փորձերը կատարվել են աղ. 2-ում ներկայացված ռեժիմներով, որտեղ P-ն ճնշումն է խցիկում, φ_1 -ը և φ_2 -ը՝ համապատասխանաբար փորձի սկզբում և վերջում տիրիստորի բացման անկյունները, P₁-ը և P₂-ը՝ համապատասխանաբար փորձի սկզբում և վերջում տաքացուցչի հզորությունը, τ -ն՝ փորձի կատարման ժամանակամիջոցը:

Աղյուսակ 2

Երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զողման երկրորդ նմուշի ռեժիմները

Փորձ	P, մմ սնդ. սյուն	φ_1 , աստ	φ_2 , աստ	P ₁ , կՎտ	P ₂ , կՎտ	τ , րոպ
I	$2,7 \dots 1,7 \cdot 10^{-5}$	87,5	83	9,8	9,4	25
II	$1,9 \dots 1,6 \cdot 10^{-5}$	89	86	10,2	9,7	14
III	$1,5 \dots 1,4 \cdot 10^{-5}$	88	84,7	10	9,6	40

Ինչպես երևում է աղ. 2-ից, նմուշը պահվել է ժամանակային տարբեր տևողություններով: Երրորդ փորձը առաջին երկու փորձերի համեմատությամբ 15 րոպեից սկսած 30 րոպե պահվել է 815 °C-ում: Փորձերի ջերմաստիճանային արդյունքները ներկայացված են աղ. 3-ում, որտեղ t₁-ը նմուշի ջերմաստիճանն է, t₂-ը՝ խցիկի:

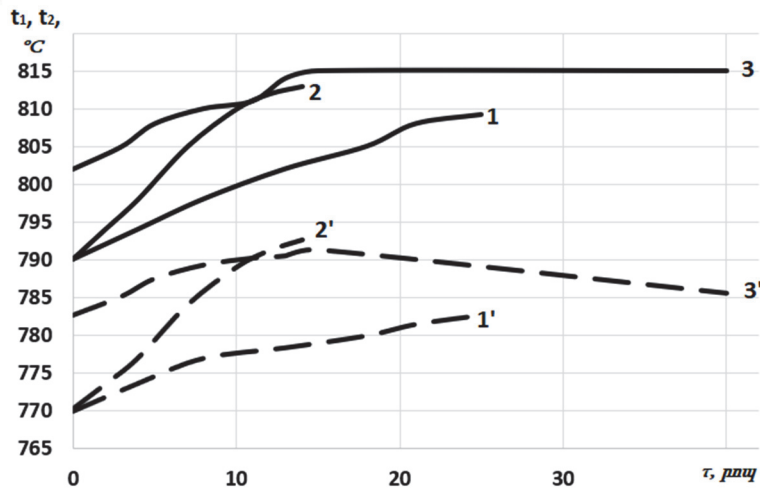
Երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զոդման երկրորդ նմուշի արդյունքները

I փորձ		II փորձ		III փորձ	
t1	t2	t1	t2	t1	t2
790	770	790	770,2	802	782,7
794	773,7	794	773,5	805	785,2
798	777	798	777	808	787,5
802	778,4	805	784	810	789,3
805	780	810	789	811	790,2
808	781,5	812	791,2	814	790,5
809,2	782,7	813	792,6	815	791,3
-	-	-	-	815	785,6

Նմուշի առաջին երկու փորձերը չեն ապահովել վակուումային հերմետիկություն, որի պատճառ կարող է հանդիսանալ միայն փորձի տևողությունը, քանի որ, դիտարկելով նախորդ նմուշի փորձերի արդյունքները, պարզ է դառնում, որ խցիկի ջերմաստիճանն է պահպանել ջերմաստիճանի աճը: Երրորդ փորձի արդյունքում վակուումային արատորոշման փորձը տվել է դրական արդյունք, թեև խցիկի ջերմաստիճանը համեմատաբար նվազել է: Հաստատապես կարելի է ասել, որ՝

- առաջնահերթ պետք է պահպանել նմուշի ջերմաստիճանի աճը,
- պետք է պահպանել խցիկի ջերմաստիճանի աճը (ըստ պայմանի՝ $t_2 > t_2'$, որտեղ t_2 -ը խցիկի սկզբնական, t_2' -ը՝ վերջնական ջերմաստիճանն է),
- կախված նմուշի գաբարիտային չափերից՝ որքան մեծ է նմուշը, այնքան երկարատև պետք է լինի բուն փորձի գործընթացը,
- փորձի երկարատևությունը, հաստատուն կամ հաստատուն փոփոխվող ռեժիմների դեպքում, նպաստում է զոդանյութի համասեռ տարածմանը, որը և ապահովում է վակուումային հերմետիկությունը: Առաջնային է այս գործոնի պահպանումը անգամ այն դեպքում, երբ ունենք խցիկի ջերմաստիճանի անկում (փորձ 3):

Նկ. 6-ում պատկերված են երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զոդման երկրորդ նմուշի փորձերի գրաֆիկները:



Նկ.6. Երկար ալիքատարի և կցաշուրթի զոդման երկրորդ նմուշի փորձերի գրաֆիկները

Դիագրամում հոծ գծերով պատկերված գրաֆիկները նմուշի ջերմաստիճաններն են՝ կախված ժամանակից, իսկ ընդհատ գծերով գրաֆիկները՝ խցիկի:

Եզրակացություն: Վերլուծելով արդյունքները՝ կարող ենք ասել.

- առանցքային պարամետրեր են ոչ միայն նմուշի ջերմաստիճանը և զոդանյութի հալման ջերմաստիճանը, այլ նաև ժամանակահատվածը և խցիկի ջերմաստիճանը,

- նմուշի ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց անհրաժեշտ է պահպանել նաև խցիկի ջերմաստիճանի աճը,

- պահպանելով ջերմաստիճանային արժեքները՝ փորձի երկարատևությունը նպաստում է կապակցվող նյութերի զոդվող մակերևույթների թրջման գործընթացին և զոդանյութի համասեռ տարածմանը:

Աշխատանքը իրականացվել է Հայաստանի Հանրապետության Գիտության կոմիտեի աջակցությամբ՝ «ՔԵՆԴԼ» ՍՀԻ-ի «Վակուումային տեխնոլոգիաներ» գիտահետազոտական, բազային լաբորատորիայի գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Design, fabrication, and high-gradient testing of an X-band, traveling-wave accelerating structure milled from copper halves / **T. Argyropoulos, N. Catalan-Lasheras, A. Grudiev, G. Mcmonagle, et al** // Physical Review Accelerators and Beams.- 7 June 2018.- 21(6):061001.- P. 1-11. doi: 10.1103/PhysRevAccelBeams.21.061001.
2. Start of operation of a standing wave deflecting cavity with the minimized level of aberrations / **V. Paramonov, K. Floettmann, V. Danielyan, et al** // Proceedings of 26th Russian Particle Accelerator Conference (RUPAC).- Provino, Russia, December 2018.- P. 388-390. doi: 10.18429/JACoW-RUPAC2018-WEPSB53.

3. Design, construction, and tuning of an RF deflecting cavity for the REGAE facility / **V. Paramonov, V. Danielyan, K. Floettmann, et al** // Journal of Physics: Conference Series.- June 2019.- Vol. 1238, no. 1.- P. 1-5. doi: 10.1088/1742-6596/1238/1/012069.
4. Some technological features for fabrication of accelerating structures / **V.Sh. Avagyan, V.A. Danielyan, V.S. Dekhtiarov, T.H. Mkrtchyan, et al** // Journal of Instrumentation.- July 2017.- P. 1-12. doi: 10.1088/1748-0221/12/07/P07025.
5. **Давтян А.А., Исунц Г.А.** Вакуумная пайка высокочастотного волновода с переменным сечением и минимальным отражением // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение.- Ереван, 2021.- №1.- С. 31-42.
6. Vacuum brazing of accelerator components / **R. Singh, K.K. Pant, Sh. Lal, D.P. Yadav, et al** // Journal of Physics: Conference Series.- 5 November 2012.- Vol. 390, no. 1.- P. 012025. doi: 10.1088/1742-6596/390/1/012025.
7. https://www.hoganas.com/globalassets/download-media/sharepoint/brochures-and-datasheets---all-documents/glidcop_glidcop-al-25-applications_0668hog.pdf
8. <https://www.brazing.com/Pdf/Silver%20Data%20Sheets/SA-BV-72.pdf>
9. <https://www.brazing.com/Pdf/Silver%20Data%20Sheets/SA-BV-68.pdf>
10. **Исунц Г.А.** Пайка короткого волновода и фланца узла высокочастотных волн в условиях высокого вакуума // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение.- Ереван, 2021.- №2.- С. 63-73.

«Քենդլ» սինքրոտրոնային հետազոտությունների ինստիտուտ, Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 29.09.2022:

Г.А. ИСУНЦ, А.А. ДАВТЯН, В.Ш. АВАГЯН

ВАКУУМНАЯ ПАЙКА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВОЛНОВОДА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ И МИНИМАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ С ФЛАНЦЕМ

Представлена технология вакуумной пайки длинного высокочастотного волновода с переменным сечением и минимальным отражением с фланцем из композитного материала на основе меди. При разработке технологии выполнены эксперименты в разных температурных режимах, а также использованы материалы с разными свойствами. В качестве материала для волноводов выбрана бескислородная медь. Благодаря своим свойствам бескислородная медь легко обрабатывается на металлорежущих станках и имеет широкое применение в ускорительной технике. В качестве припоя выбран сплав марки BVAg-8, который по своему составу удовлетворяет условиям, соответствующим процессу вакуумной пайки. Припой является сплавом серебра и меди. Пайка волновода прямоугольного сечения и фланца выполнена в условиях высокого вакуума в установке вакуумной пайки, которая восстановлена и модернизирована в Институте синхротронных исследований “КЕНДЛ”.

Ключевые слова: вакуумный припой, установка вакуумной пайки, фланец, изготовленный из GlidCor -а, высокочастотный волновод, температура образца, температура камеры.

H.A. ISUNTS, A.H. DAVTYAN, V.Sh. AVAGYAN

**VACUUM BRAZING OF A HIGH-FREQUENCY WAVEGUIDE OF A
RECTANGULAR SECTION AND MINIMAL REFLECTION WITH A
FLANGE**

The technology of vacuum brazing of a long high-frequency waveguide with variable cross-section and minimal reflection with a flange made of a composite material based on copper is presented. When developing the technology, experiments were carried out under different temperature conditions, and materials with different properties were also used. Oxygen-free copper was chosen as the material for the waveguides. Due to its properties, oxygen-free copper is easily processed on metal-cutting machines and is widely used in accelerator technology. The BVAg-8 alloy was selected as the filler, which satisfies the conditions corresponding to the vacuum brazing process with its composition. Filler is an alloy of silver and copper. Brazing of a rectangular waveguide and a flange was performed under high vacuum conditions, in a vacuum brazing unit, which was restored and modernized at the CANDLE Synchrotron Research Institute.

Keywords: vacuum filler, vacuum brazing unit, flange made of GlidCop, high-frequency waveguide, sample temperature, chamber temperature.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Վ.Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

ՄԱՐՏԵՆՍԻՏԱՅԻՆ ԾԵՐԱՑՈՂ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

Հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծության արդյունքում ուսումնասիրվել են լեգիրված մետաղափոշիների ստացման տարբեր մեթոդներ, ինչպիսիք են՝ հալոյթափշումը, կալցիումի հիդրիդի միջոցով ստացումը, ջերմադիֆուզիոն հազեցումը, կարբոնիլային գործընթացը, էլեկտրոլիզը և բարդ օքսիդների սինթեզումը՝ հետագա վերականգնմամբ: Արդյունքում պարզվել է, որ գոյություն ունեցող բոլոր մեթոդները, բացի բարդ օքսիդների սինթեզումից և հետագա վերականգնումից, նպատակարար չեն մարտենսիտային ծերացող պողպատափոշիների ստացման համար: Հալոյթափշման մեթոդը նպատակահարմար է մաքուր մետաղափոշիների ստացման դեպքում, մինչդեռ կալցիումի հիդրիդով ստացումը նպատակահարմար չէ, քանի որ մարտենսիտային ծերացող պողպատները պարունակում են թթվածնի նկատմամբ փոքր խնամակացություն ունեցող մետաղներ՝ *Fe, Ni, Co* և *Mo*, ջերմադիֆուզիոն հազեցումը հարմար չէ մետաղական փոշու օգտագործման պատճառով, կարբոնիլային գործընթացը՝ բավականին բարդ է, իսկ իրականացնելը՝ դժվար:

Համալիր հետազոտության արդյունքում ցույց է տրված, որ լավագույն կերպով գույքակցելով բարդ օքսիդների սինթեզի (\$երիտի առաջացում) և վերականգնման գործընթացները՝ հնարավոր է մշակել լեգիրված մետաղափոշիների արտադրության արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը կապահովի գերմաքուր քիմիական բաղադրություն, պահանջվող կառուցվածքի և հատկությունների ստացում:

Առանցքային բառեր. մետաղական օքսիդներ, սինթեզ, վերականգնում, մետաղափոշի, մամլում, եռակալում, տաք արտամղում, մարտենսիտային ծերացող փոշեպողպատ:

Ներածություն: Մարտենսիտային ծերացող պողպատները, որոնք առաջին անգամ մշակվել են 1960-ական թվականների սկզբին, ներկայումս ստացել են լայն տարածում՝ ի հաշիվ հատկությունների լավ համադրման: Դրանք օժտված են բարձր ամրությամբ, պլաստիկությամբ, ջերմակայունությամբ, սառցաբեկունությամբ, բավարար դիմադրությամբ փխրուն քայքայման նկատմամբ և չափերի պահպանմամբ ջերմային մշակման ընթացքում: Կոնստրուկցիոն պողպատներից պահանջվող հիմնական հատկություններն են բարձր կոշտությունը, հուսալիությունը և երկարակեցությունը: Մարտենսիտային ծերացող պողպատներն այդ հատկություններով գերազանցում են այլ կոնստրուկցիոն պողպատներին, սակայն դրանք

ավելի թանկ են [1]: Այս պողպատներն ունեն օգտագործման լայն շրջանակներ, ինչը պայմանավորված է ժամանակակից տեխնիկայի առաջադեմ ոլորտներում բարձր ամրությամբ նյութերի աճող պահանջարկով: Այդպիսի ոլորտներից են ինքնաթիռաշինությունը, հրթիռաշինությունը, տիեզերական սարքաշինությունը, կրիոգենային տեխնիկան և այլն, որտեղ պողպատն օգտագործում են՝ շնորհիվ սողքի նկատմամբ բարձր դիմադրության, որը պահանջվում է շարժիչների և շասիների որոշ դետալներից, ինչպես նաև տիեզերական սարքաշինության մեջ օգտագործվող տարբեր ամրացնող դետալներից և այլն: Տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց բարձրանում են նաև մարտենսիտային ծերացող պողպատների ներկայացվող պահանջները: Օրինակ, ինքնաթիռների շարժիչների արդյունավետության բարձրացման համար անհրաժեշտ են ավելի ջերմակայուն և հրամուր պողպատներ, ինչն արդիական խնդիր է և պահանջում է ավելի բարձր հատկություններով մարտենսիտային ծերացող պողպատների մշակում:

Մարտենսիտային ծերացող պողպատների արտադրությունը հիմնականում կատարվում է ձուլման և փոշեմետալուրգիական եղանակներով: Վերջինն ունի մի շարք առավելություններ, որոնցից կարելի է նշել մետաղական ելանյութերի ավելի արդյունավետ օգտագործումը, արտադրողականության բարձրացումը և էներգիայի ավելի արդյունավետ սպառումը: Սակայն ամենակարևոր առավելությունը թերևս այն է, որ փոշեմետալուրգիական եղանակով հնարավոր է ստանալ գերձճրիտ մաքրությամբ պողպատներ, հատկապես ածխածնի նվազագույն պարունակությամբ, որը հնարավորություն է տալիս ապահովել բարձր ջերմակայունություն և հրամրություն: Այս պողպատներն ամրացվում են ջերմամշակմամբ՝ դիսպերս կարծրացման մեխանիզմով, այսինքն միմյանք և ծերացմամբ:

Ելնելով վերոհիշյալից, աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել մարտենսիտային ծերացող փոշեպողպատների ստացման եղակները՝ բացահայտել առանձնահատկությունները և արդյունքում մշակել բարձր ամրությամբ և մաշակայունությամբ գերձճրիտ բաղադրությամբ փոշեպողպատների ստացման տեխնոլոգիա:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Մարտենսիտային ծերացող պողպատները բաժանվում են երկու խմբի՝ ըստ նշանակության և ամրության: Ըստ նշանակության բաժանվում են ընդհանուր և հատուկ նշանակության պողպատների, իսկ ըստ ամրության՝ չափավոր (1000...2000 ՄՊա), բարձրամուր (2000...3500 ՄՊա) և գերամուր (>3500 ՄՊա) պողպատների: Չափավոր ամրությամբ պողպատները ոչ թանկարժեք տարրերով լեգիրված պողպատներն են: Դրանք չեն պարունակում կոբալտ, որը համարվում է թանկարժեք լեգիրող տարր: Պարունակում են քիչ քանակությամբ նիկել և մոլիբդեն (Ni=4...12%, Mo=1...3%): Իսկ ածխածնի պարունակությունը բարձր է պահանջվող քանակից (C=0,04...0,1%): Բացի դրանցից, այս

տեսակի պողպատներում որոշակի քանակությամբ ավելացվում են նաև՝ պղինձ (1...5%), ալյումին և տիտան ($Al+Ti \leq 1,5\%$): Չափավոր ամրությամբ մարտենսիտային ձերացող պողպատների օրինակներ են՝ H12X5M3 ($\sigma_{\partial}=1200$ ՄՊա), 08X15H5Ճ2T ($\sigma_{\partial}=1300$ ՄՊա), 03X11H9M2T ($\sigma_{\partial}=1600$ ՄՊա) և այլն:

Բարձրամուր մարտենսիտային ձերացող պողպատները պարունակում են 16...19% նիկել, 8...15% կոբալտ, 4...6% մոլիբդեն և տիտան: Այս պողպատներից են H12K12M10TIO ($\sigma_{\partial}=3000$ ՄՊա), H18K12M3T2 ($\sigma_{\partial}=2400$ ՄՊա), H12K12M7B7 ($\sigma_{\partial}=2600$ ՄՊա) և այլն, իսկ գերամուր պողպատներում սովորաբար առկա են 15...18% կոբալտի և 10...14% մոլիբդենի բարձր պարունակություններ [2]:

Փոշեմետալուրգիական գործընթացում կարևորագույն քայլերից մեկն է մետաղափոշիները բովախառնուրդի պատրաստումը: Եռակալման արդյունքում ստացված պողպատների մի շարք հատկություններ կախված են կառուցվածքի համասեռությունից, այսինքն՝ որքան հավասարաչափ են բաշխված եղել փոշու բաղադրիչ տարրերը մամլվածքի մեջ: Բովախառնուրդները պատրաստվում են մետաղափոշիների մեխանիկական կամ քիմիական խառնման միջոցով:

Մեխանիկական խառնման համար օգտագործվում են հատուկ սարքեր՝ աղացներ, թմբուկներ և այլն: Այս եղանակը հնարավորություն է տալիս համտեղել մետաղափոշու ստացման և խառնման գործընթացները: Սա թերևս նրա կարևորագույն առավելություններից մեկն է: Սակայն մեխանիկական խառնման ճանապարհով դժվար է ստանալ հոմոգեն խառնուրդ, քանի որ բովախառնուրդի ստացման ժամանակ տեղի է ունենում մետաղափոշիների տարանջատում. ավելի մեծ չափսերի փոշու հատիկները տեղաշարժվում են մի կողմ, իսկ ավելի փոքր չափսերովները՝ մեկ այլ կողմ, ինչն անթույլատրելի է բարձրորակ մարտենսիտային ձերացող պողպատների ստացման ժամանակ: Տարանջատման վրա ազդում են նաև մետաղափոշիների խտությունները:

Քիմիական եղանակի հիմքում ընկած է լեգիրող տարրի նստեցումը երկաթի փոշիների հատիկների վրա: Դա, օրինակ, հնարավոր է կատարել միաժամանակ գոլորշիացնելով մետաղի և լեգիրող տարրի աղերի ջրային լուծույթները՝ ինտենսիվորեն խառնելով ստացված զանգվածը: Քիմիական եղանակն ապահովում է մետաղափոշիների ավելի համասեռ բաշխումը, որը բարձրացնում է եռակալման ընթացքում հոմոգենացման աստիճանը: Արդյունքում ստացվում է, որ յուրաքանչյուր հիմնական մետաղի փոշու հատիկ պատված է լեգիրող տարրի հատիկներով: Ներկայումս քիմիական եղանակն ավելի քիչ է տարածված, սակայն նրա առավելությունները հիմք են հանդիսանում՝ ընտրելու լեգիրված մետաղափոշու ստացման հենց այս եղանակը [3]:

Հայտնի է [4, 5], որ մարտենսիտային ձերացող պողպատները համարվում են գերմաքուր համաձուլվածքներ և բնութագրվում են հստակ քիմիական

բաղադրությամբ, խառնուկների բացակայությամբ և որոշակի կառուցվածքով: Այստեղից կարելի է պնդել, որ մարտենսիտային ծերացող պողպատների մշակման արդյունքում պետք է լուծվի երկու կարևոր խնդիր: Առաջինը՝ պետք է ստանալ լեգիրված պողպատափոշիներ (բայց ոչ տարբեր մետաղափոշիների մեխանիկական խառնուրդի տարբերակով) և երկրորդը՝ անծակոտկեն կառուցվածքով իրի ստացում՝ լեգիրված պողպատափոշիների մամլմամբ ու հետագա տաք ճնշմամբ մշակմամբ:

Խնդրի լուծման նպատակով ուսումնասիրվել են լեգիրված պողպատափոշու ստացման հետևյալ եղանակները՝ լեգիրված պողպատափոշու ստացումը հալույթափչման եղանակով, կալցիումի հիդրիդի միջոցով, ջերմադիֆուզիոն հազեցումով, կարբոնիլային գործընթացներով և բարդ օքսիդների սինթեզումով ու հետագա վերականգնումով:

Հետազոտության արդյունքները: Գոյություն ունի մետաղական հալույթների փոշիացմամբ մետաղափոշիների ստացման երեք եղանակ՝ փոշեցրում հեղուկներով, գազային հոսքով և պտտվող սկավառակով: Լեգիրված փոշեպողպատներն արտադրվում են ապաօքսիդացնող միջավայրերում, որը ստացվում է չեզոք գազերի միջավայրում հալույթների փոշիացմամբ: Փոշու հատիկի առաջացման վրա ազդում են մի շարք գործոններ՝ հալված ելանյութի շիթի ջերմաստիճանը, ջերմունակությունը և տրամագիծը, գազային հոսքի հզորությունն ու ջերմաստիճանը և հալույթի մակերևութային լարվածությունն ու մածուցիկությունը [6, 7]: Արտադրական պայմաններում փոշեցրումը կատարվում է ստորև բերված պարամետրերով, որի արդյունքում ստացվում են ընդունելի տվյալներ՝ հալույթի ջերմաստիճանը $1650...1700^{\circ}\text{C}$, մետաղի ծախսը $15...30 \text{ կգ/ր}$, էներգակրի ծախսը՝ $0,5...1,0 \text{ ս}^{\circ}/\text{կգ}$, գազի ճնշումը՝ $8...20 \text{ կգ/սմ}^2$, էներգակրի ջերմաստիճանը՝ $21...500^{\circ}\text{C}$, թթվածնի պարունակությունը էներգակրում՝ $0,005\%$ (իսկ փոշում՝ $0,01\%$):

Գազով հալույթների փոշեցրման տեխնոլոգիան լայնորեն կիրառվում է արագահատ փոշեպողպատների արտադրությունում: Փոշիացումով հնարավոր է ստանալ նաև հրամուր և չժանգոտվող պողպատներ [8-10]: Այս եղանակի հիմնական առավելությունն այն է, որ ստացված լեգիրված փոշիները համասեռ են բաղադրությամբ և կառուցվածքով:

Վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ այս եղանակով փոշիների ստացումը տնտեսապես շահավետ է, երբ որպես ելանյութ ծառայում են երկրորդային հումքը, իսկ մաքուր մետաղներից մետաղափոշիների ստացումը նպատակահարմար չէ: Դա շահավետ կարող է լինել միայն այն դեպքում, երբ նպատակ կա ստանալու գերմաքուր մալրակով համաձուլվածքներ:

Ռուսաստանյան Դաշնության ԼՀИИЧМ կենտրոնում մշակվել է համաձուլվածքների և հատկապես պողպատների փոշիների ստացման տեխնոլոգիա,

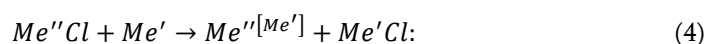
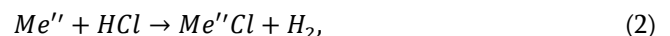
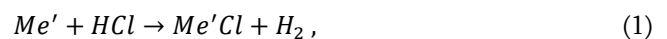
որը հիմնված է մետաղական փոշիների խառնուրդների և կալցիումի հիդրիդով օքսիդների համատեղ վերականգնման վրա [11-14]:

Բաղադրիչները և հեշտությամբ վերականգնվող օքսիդները ներմուծվում են բովախառնուրդի մեջ մետաղափոշու տեսքով, որը հնարավորություն է տալիս նվազեցնել թանկարժեք կալցիումի հիդրիդի քանակը: Բսկ դժվար վերականգնվող օքսիդները՝ Al_2O_3 , SiO_2 , MnO , V_2O_3 և այլն, վերականգնվում են կալցիումի հիդրիդի միջոցով $1150...1200^{\circ}C$ -ում:

Տարբեր մետաղական փոշիներից, օքսիդներից և կալցիումի հիդրիդից կազմված բովախառնուրդը խառնվում է հատուկ խառնիչներում: Այնուհետև այն լցվում է չժանգոտվող պողպատից կամ համաձուլվածքից պատրաստված թորանոթ՝ վերականգնելու նպատակով: Վերականգնումից հետո լեզիրված փոշուց և CaO -ից կազմված եռակաված սպունգը դուրս է հանվում թորանոթից, այնուհետև աղացներում ենթարկվում է նախնական մանրացման, որից հետո մաղման և հատուկ աղացներում՝ ջրային միջավայրում, դիսպերս մանրացման: Լեզիրված մետաղափոշին ջրազրկում են կենտրոնախույս սարքի միջոցով, այնուհետև չորացնում վակուումային վառարանում $60...70^{\circ}C$ -ում: Ներկայումս այս եղանակով արտադրում են մի շարք պողպատներ և համաձուլվածքներ, ինչպիսիք են ПХ18Н15, ПХ30, ПХ20Н80 և այլն:

Վերլուծելով հիդրիդա-կալցիումային արտադրության եղանակը, կարելի է եզրակացնել, որ այն տնտեսապես նպատակահարմար է բարձր ջերմադինամիկ ակտիվությամբ էլեմենտներ՝ Cr , Al , Ti և այլն, պարունակող փոշեհամաձուլվածքների ստացման համար: Կարելի է ենթադրել նաև, որ այն ընդունելի չէ որոշ մետաղափոշիների ստացման համար, որոնց բաղադրության մեջ առկա են թթվածնի նկատմամբ փոքր խնամակացություն ունեցող մետաղներ, ինչպիսիք են Fe -ը, Ni -ը, Co -ը, Mo -ը, W -ը և այլն: Այստեղից հետևում է, որ այս եղանակը նպատակահարմար չէ մարտենսիտային ծերացող փոշեպողպատներ ստանալու համար:

Լեզիրված մետաղափոշիների ստացման հաջորդ եղանակը հիմնված է քիմիա-ջերմային մշակմամբ մետաղապատման գործընթացի վրա [15, 16]: Այս եղանակը կիրառելի չէ Cr , Mn , Si , Ti և այլ մետաղներ պարունակող համաձուլվածքների փոշիների ստացման համար [17-19]: Ջերմադինամիկ հագեցման ընթացքում տեղի ունեցող հիմնական ռեակցիաների ընդհանուր տեսքը բերված է ստորև՝



(1)-ին և (2)-րդ ռեակցիաները բնութագրում են մետաղների քլորացումը, իսկ (3)-րդ և (4)-րդ ռեակցիաները՝ Me' և Me'' ակտիվ ատոմների առաջացման շնորհիվ փոխադարձ դիֆուզիոն հազեցումը: Այս գործընթացի տեխնոլոգիական ընթացքը բավականին պարզ է, համաձայն որի բովախառնուրդի ելանյութերը՝ Me' , Me'' և NH_4Cl , խառնվում են, այնուհետև տեղափոխվում հերմետիկացված բեռնարկը: Հետո դրանք ենթարկվում են դիֆուզիոն հազեցման $5...10$ ժ տևողությամբ, $800...1100^\circ C$ -ում, ջրածնի միջավայրում: Լեգիրող տարրերի քլորիդների ստացման համար բովախառնուրդի մեջ ավելացվում է $1...3\%$ NH_4Cl : Բացի քլորաջրածնի ստացման աղբյուր լինելուց, NH_4Cl նաև օգտագործվում է մետաղափոշու փխրեցման նպատակով: Այն արագացնում է ստացված սպունգի հեշտությամբ մանրացման գործընթացը: Այդ պատճառով NH_4Cl -ի բաղադրությունը բովախառնուրդում կազմում է $10...15\%$: Փխրեցման համար կարելի է օգտագործել նաև ամոնիումի երկկարբոնատը: Այս դեպքում $NH_4Cl + (NH_4)_2CO_3$ -ի ընդհանուր քանակությունը լինում է $10...15\%$:

Ջերմադիֆուզիոն հազեցման եղանակ է համարվում մետաղաօքսիդային տեխնոլոգիան, որը հիմնված է մետաղապատման և համակցված վերականգնման ($C+H_2$) գործընթացների վրա: Մշակվել է լեգիրված փոշիների ստացման տեխնոլոգիա $Me' + Me''O_y$ կոմպոզիցիայից, որտեղ Me' -ը մայրակ մետաղի փոշին է, իսկ $Me''O_y$ -ը՝ լեգիրող մետաղի օքսիդը [20, 21]: Ուսումնասիրվել են ֆերոմանգանային ($Fe - MnO_2$) և ֆերոքրոմային փոշիների ($Fe - Cr_2O_3$) ստացման գործընթացները, որոնք պարունակում են 6% Mn և 12% Cr : Ելանյութերը եղել են՝ մանգանի երկօքսիդը, ամոնիումի քլորիդը, $ПЖ4М2$ մակնիշի երկաթափոշին, $ОХМ$ մակնիշի քրոմի օքսիդը և $ТГМ-33$ մակնիշի մուրը: Լեգիրված մետաղափոշիների ստացման համար օպտիմալ ռեժիմներ են հանդիսանում $T = 1100 ... 1200^\circ C$ և $\tau = 3,5 ... 5,0$ ժ:

Լեգիրված մետաղափոշիների ստացման քիմիաջերմային եղանակը նպատակահարմար չէ մարտենսիտային ծերացող պողպատափոշիների ստացման համար՝ հոմոգեն կառուցվածք չապահովելու պատճառով, իսկ մետաղաօքսիդային տարբերակն ըստ էության նման է հիդրիդա-կալցումային տեխնոլոգիային:

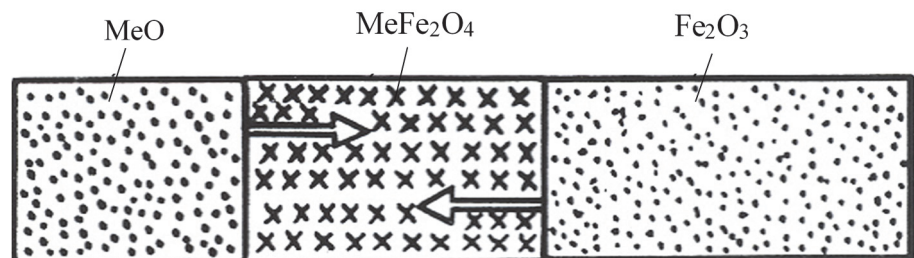
Որոշակի հետաքրքրություն են ներկայացնում նաև մետաղափոշիների ստացման էլեկտրոլիզի [22, 23] և կարբոնիլային եղանակները [24, 25], որոնք օգտագործվում են տարբեր մետաղների փոշիների ստացման զանգվածային արտադրություններում, ինչպիսիք են Sn , Ti , Ni , Fe , Co , Ta և այլն: Այս եղանակներով ստացված մետաղափոշիներն ունեն բարձր դիսպերսայնություն և քիմիական մաքրություն: Սակայն նշված եղանակները չեն օգտագործվում բազմակոմպոնենտ համաձուլվածքների փոշիներ ստանալու համար, որովհետև էլեկտրոլիզի եղանակը բավականին էներգատար է, իսկ կարբոնիլային տեխնոլոգիայի կիրառումը՝ շատ բարդ:

Վերջին տասնամյակներում լայն տարածում են գտել մետաղական օքսիդներից բարդ օքսիդների սինթեզումը (ֆերիտների ստացումը) և սինթեզված բարդ օքսիդային համակարգերի վերականգնմամբ լեգիրված մետաղափոշիների ստացումը [26-29]:

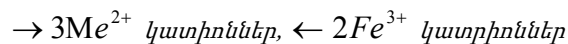
Օքսիդային միացություններից օքսիդների պինդ լուծույթ կարելի է ստանալ, եթե դրանք իզոմորֆ են, և մետաղներն ունեն միևնույն իոնային շառավիղները: Ընդհանուր տեսքով օքսիդների սինթեզը հնարավոր է իրականացնել, եթե դրանցից մեկը թթվային է (Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 , MoO_3 , Re_2O_7 և այլն), իսկ մյուսը՝ հիմնային (CuO , FeO , NiO , CoO , ZnO և այլն): Եռավալենտ մետաղի թթվային օքսիդի $\text{Me}^{III}\text{O}_3$ և երկվալենտ մետաղի հիմնային օքսիդի Me^{II}O փոխազդեցության հետևանքով առաջանում են հատուկ միացություններ՝ ֆերիտներ, ալյումինատներ, քրոմիտներ, տիտանիդներ, մոլիբդատներ և այլն:



Ֆերիտներն իոնային միացություններ են, որոնցում անիոնները թթվածինն է (O^{2-}): Բյուրեղային ցանցի հանգույցներում տեղավորված են բացասական լիցքավորված անիոնները (O^{2-}), իսկ դրական լիցքավորված կատիոնները (Me^{2+} , Fe^{3+})՝ նրա ներսում, այսինքն թափուր տեղերում: Պինդ ֆազային ռեակցիայի դեպքում տեղի է ունենում իոնների, այսինքն Me^{2+} և Fe^{3+} կատիոնների դիֆուզիա, իսկ O^{2-} անիոնները մնում են անշարժ (նկ. 1):



Նկ. 1. MeFe_2O_4 ֆերիտ-շպինելի առաջացման մեխանիզմի սխեման.



Էլեկտրաչեզոք վիճակ ստացվում է, եթե դիֆուզվում են (3Me^{2+} և 2Fe^{3+}) կատիոնների էկվիվալենտ քանակություններ: Այս ենթադրությունը հիմնավորվում է իոնային շառավիղների մեծ տարբերությամբ (աղ. 1): Քանի որ մոնոֆերիտների իոնային շառավիղները (աղ. 1) և բյուրեղային ցանցի պարամետրերը (աղ. 2) շատ մոտ են իրար, հետևապես՝ դրանք կարող են գոյացնել անսահմանափակ լուծելիություն՝ առաջացնելով պինդ լուծույթի տիպի բարդ օքսիդներ:

Աղյուսակ 1

Մետաղների իոնային տրամագծերը ($ro^{2-} = 0,14$ նմ)

Իոն (2 ⁺)	r, նմ	Իոն (3 ⁺)	r, նմ	Իոն (4 ⁺)	r, նմ
Fe	0,074	Fe	0,064	Mo	0,068
Ni	0,069	Co	0,063	Ti	0,068
C	0,070	Al	0,051	C	0,046

Աղյուսակ 2

Ֆերիտների որոշ բնութագրեր

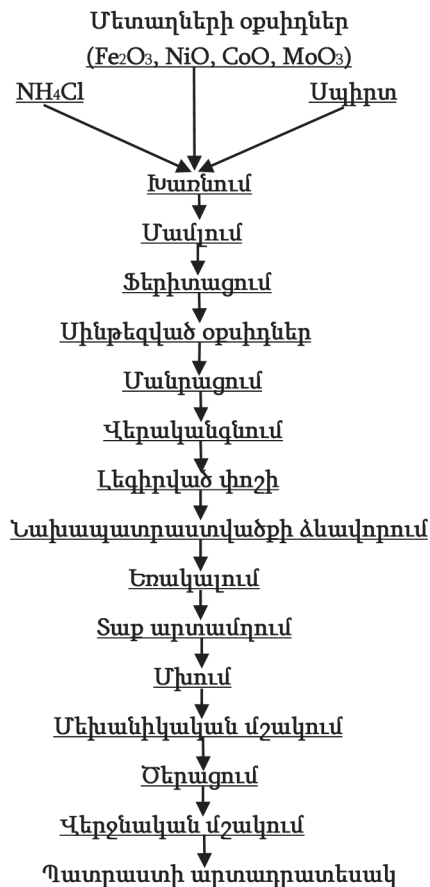
Ֆերիտներ	Կատիոնների բաշխվածությունը հանգույցներում	Ցանցի պարամետրը a , նմ	Խտությունը, g/cm^3
FeFe ₂ O ₄	Fe ³⁺ [Fe ²⁺ Fe ³⁺]O ₄	0,839	5,24
NiFe ₂ O ₄	Fe ³⁺ [Ni ²⁺ Fe ³⁺]O ₄	0,834	5,38
CuFe ₂ O ₄	Fe ³⁺ [Cu ²⁺ Fe ³⁺]O ₄	0,822	5,35
MnFe ₂ O ₄	Mn ²⁺ _{0,8} Fe ³⁺ _{0,2} [Mn ²⁺ _{0,2} Fe ³⁺ _{1,8}]O ₄	0,850	5,00

Ոչ ստեխիոմետրիկ համակարգերն ունեն գործնական մեծ նշանակություն փոշեմետալուրգիայի բնագավառում: Ըստ քիմիական բաղադրության՝ դրանք զբաղեցնում են ցածր, միջին և բարձր բաղադրությամբ լեգիրված փոշեկոմպոզիտային նյութերի գրեթե ողջ տիրույթը: Հետևապես, լավագույն ձևով զուգակցելով բարդ օքսիդների ֆերիտառաջացումը (սինթեզը) և վերականգնումը, հնարավոր է մշակել լեգիրված մետաղափոշիների արտադրության արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը կապահովի պահանջվող քիմիական բաղադրությունը և հատկությունները: Ելքային օքսիդների սինթեզը համարվում է կարևոր գործընթաց, քանի որ օքսիդների մեխանիկական խառնուրդները վերականգնվում են ընտրողական, այսինքն առանց համաձուլվածքի առաջացման [30, 31]: Հենց այս տեսանկյունից էլ դրվել և լուծվել է գերմաքուր փոշեհամաձուլվածքների փոշիների ստացման տեխնոլոգիական խնդիրը, որը կիրառելի է մարտենսիտային ծերացող պողպատների դեպքում:

Հայտնի է [26, 32-35], որ ծակոտկեն փոշենյութերի տաք մշակման մեթոդներով հնարավոր է ապահովել փոշեհամաձուլվածքների ցածր ծակոտկենությունը կամ առհասարակ դրա բացակայությունը: Այդ մեթոդներից են տաք մամլումը (ΓΠ) [32, 33], տաք դրոշմումը (ΓΙΙ) [32, 34], դինամիկ տաք մամլումը (ΔΓΠ) [35], տաք արտամղումը (ΓΘ) [26, 36] և զագաստատիկ մամլումը (ΓCΠ) [37]: Խտացման բոլոր այս մեթոդները կարելի է օգտագործել ցանկացած տեսակի փոշենյութերի համար: Իսկ բուն մեթոդի ընտրումը պետք է կատարվի՝ հաշվի առնելով դետալի աշխատանքային պայմանները և պահանջվող հատկությունները: Քանի որ մար-

տենսիտային ծերացող պաղպատներից պահանջվում է անձակոտկեն կառուցվածք, հետևապես՝ պետք է ընտրել կոմպակտավորման այնպիսի մեթոդ, որը կապահովի անձակոտկեն կառուցվածքի ստացումը: Այդպիսի մեթոդներ են գազաստատիկ մամլումը (ГСП) և տաք արտամղումը (ГЭ) [26, 34]: Հաշվի առնելով գազաստատների բացակայությունը Հայաստանի Հանրապետությունում, կոմպակտավորման գործընթացն իրականացվել է տաք արտամղման եղանակով:

Կատարված համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է մարտենսիտային ծերացող փոշեպողպատների փոշու և նրանից արտադրատեսակների ստացման տեխնոլոգիա (նկ. 2), որը ներառում է կոմպոնենտների օքսիդներից բարդ օքսիդների սինթեզման և վերականգնման, ինչպես նաև ստացված պողպատափոշուց պատրաստված ծակոտկեն մամլվածքների տաք արտամղմամբ կոմպակտավորման գործընթացը:



Նկ. 2. Մարտենսիտային ծերացող փոշեպողպատների և արտադրատեսակների ստացման տեխնոլոգիան

Եզրակացություն: Կատարվել է հայրենական և արտասահմանյան գրականության համալիր վերլուծություն մարտենսիտային ծերացող փոշեպողպատների ստացման ուղղությամբ: Ուսումնասիրվել են լեգիրված մետաղափոշիների ստացման տարբեր մեթոդներ, ինչպիսիք են՝ հալույթափչումը, կալցիումի հիդրիդի միջոցով ստացումը, ջերմադիֆուզիոն հագեցումը, կարբոնիլային գործընթացը, էլեկտրոլիզը և բարդ օքսիդների սինթեզումը՝ հետագա վերկանգնմամբ:

Հետազոտության արդյունքում պարզվել է, որ գոյություն ունեցող բոլոր մեթոդները, բացի բարդ օքսիդների սինթեզումից և հետագա վերկանգնումից, նպատակարար չեն մարտենսիտային ծերացող պողպատափոշիների ստացման համար: Ցույց է տրված, որ օպտիմալ կերպով զուգակցելով բարդ օքսիդների սինթեզի (ֆերիտի առաջացում) և վերկանգնման գործընթացները, հնարավոր է մշակել լեգիրված մետաղափոշիների արտադրության արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը կապահովի անհրաժեշտ քիմիական բաղադրությունը, կառուցվածքի ստացումը և պահանջվող հատկությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. <https://studizba.com/lectures/inzhenerija/metallovedenie-legirovannyh-stalej-i-splavov-i-ih-jekspluatacionnye-svoystva/37484-martensitnostarejuschie-stali.html>
2. http://oitsp.ru/welding_article/sostav-struktura-i-naznachenie-martensitno-stareyushchih-staley
3. <https://industrial-wood.ru/osnovy-poroshkovoy-metallurgii/12219-smeshivanie-metallicheskih-poroshkov.html>
4. **Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г.** Специальные стали: Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1985.- 408 с.
5. **Աղբալյան Ս.Գ., Մալիկովա Եվ.Ս.** Հատուկ պողպատներ և համաձուլվածքներ: Ուսումնական ձեռնարկ.- Երևան: ՀՊՃՀ, 2003.- 260 էջ:
6. **Грацианов Ю.А., Путимцев В.Н., Силаев А.Ф.** Металлические порошки из расплавов.- М.: Металлургия, 1970.- 245 с.
7. **Ничипоренко О.С., Найда Ю.И., Медведевский А.Б.** Распыленные металлические порошки.-Киев: Наукова думка, 1980.-240 с.
8. Порошковая металлургия сталей и сплавов / **Ж.И. Дзиеладзе, Р.П. Шеголева, Л.С. Голубева и др.**- М.: Металлургия, 1978.-264 с.
9. Железные порошки. Технология, состав, структура, свойства, экономика /**В.Б. Акименко, В.Я. Буланов, В.В. Рунин и др.**- М.: Наука, 1982.- 264 с.
10. **Gessinger G.H.** Powder metallurgy of Superalloys.- London, 1984.- 319 p.
11. А.с. 127029 (СССР). Способ получения порошков сплавов / **Б.А. Борок, В.И. Гаврилин, В.Г. Тепленко и др.** //Открытия. Изобретения.- 1960.- №. 6.
12. **Борок Б.А., Тепленко В.Г.** Получение порошков сплавов и сталей совместным восстановлением смесей окислов гидридом кальция.- В кн.: Порошковая металлургия.- М.: Металлургия, 1965.- С.69-81.

13. **Борок Б.А., Шеголева Р.П., Голубева Л.С.** Получение и свойства порошка нержавеющей стали // Порошковая металлургия.-1969.- №3.- С.1-5.
14. Исследование микроструктуры легированных порошков, полученных совместным восстановлением / **Р.П. Шеголева, Л.С. Голубева, Н.А. Ручьева и др.**- В. кн.: Порошковая металлургия.- М.: Металлургия, 1965.- С. 81-98.
15. **Минкевич А.Н.** Химико-термическая обработка металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1965.- 491 с.
16. **Дубинин Г.Н.** Диффузионное хромирование сплавов.- М.: Металлургия, 1964.- 451 с.
17. **Радомысльский И.Д., Напара-Волгина С.Г.** Исследование режимов получения хромированного железного порошка методом диффузионного насыщения из твердых хромосодержащих засыпок // Порошковая металлургия.- 1965.- №8.-С. 12-18.
18. **Радомысльский И.Д., Напара-Волгина С.Г., Мартюхин И.Д.** Механизм процесса диффузионного насыщения из точечных источников // Тр. XI Всесоюз. науч.-техн. конф. по металлокерамическим материалам и изделиям.- Ереван, 1973.- С. 3-8.
19. **Радомысльский И.Д., Напара-Волгина С.Г.** Получение легированных порошков диффузионным методом и их использование.- Киев: Наукова думка, 1988.- 138 с.
20. А.с. 752917 (СССР). Шихта для получения легированного порошка диффузионным насыщением / **И.Д. Радомысльский, В.Н. Клевцов, С.Г. Напара-Волгина и др.** // Открытия. Изобретения.-1965.
21. **Радомысльский И.Д., Напара-Волгина С.Г.** Термическая и химико-термическая обработка в порошковой металлургии // Сб. науч. статей по порошковой металлургии.- Киев: Наукова думка, 1969.- С. 32-43.
22. **Кудра О., Гитман Е.** Электролитическое получение металлических порошков.- Киев: Изд-во АН УССР, 1952.- 144 с.
23. **Юрьев Б.П., Суханова Л.П.** Электролитический способ непрерывного получения поликомпонентных металлических порошков // Порошковая металлургия.- 1969.- №6.-С. 12-17.
24. **Сыркин В.Г.** Химия и технология карбонильных материалов.-М.: Химия, 1973.- 240 с.
25. **Белозерский Н.А.** Карбонилы металлов.- М.: Металлургия, 1958.- 372 с.
26. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 232с.
27. Получение порошковых мартенситно-стареющих сталей / **С.Г. Агбалян, Б.Ф. Бадеян, Р.Г. Самвелян и др.** // Порошковая металлургия.- Киев, 1994.- N 9/10.- С. 7-15.
28. Формование структуры и свойств мартенситно-стареющих порошковых сталей, полученных экструзией / **С.Г. Агбалян, Б.Ф. Бадеян, С.А. Ассила и др.** // Порошковая металлургия.- Киев, 1994.- N 11/12.- С. 10-13.
29. Низколегированные порошковые стали, полученные по металлооксидной технологии / **С.Г. Агбалян, С.А. Ассила, Н.Н. Манукян и др.** // Порошковая металлургия.- Киев, 1995.- N 1/2.- С. 5-10.

30. **Тумарев А.С.** Комплексное восстановление и окисление элементов // Проблемы металлургии.- М.: Металлургия, 1953.- 33-63 с.
31. Механизм и кинетика восстановления металлов / **Г.И. Чуфаров и др.**- М.: Наука, 1970.- 399 с.
32. **Ковальченко М.С.** Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением.- Киев: Наукова думка, 1980.- 240 с.
33. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий / **Ю.Г. Дорофеев, Б.Г. Гасанов, В.Ю. Дорофеев и др.**- М.: Металлургия, 1990.-206 с.
34. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы / **Под ред. В. Шатта**; Пер. с нем.- М.: Металлургия, 1983.-520 с.
35. **Дорофеев Ю.Г.** Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок.- М.: Металлургия, 1977.- 216 с.
36. **Агбальян С.Г.** Теоретические и технологические основы формования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 382 с.
37. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов / **В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др.**; Под ред. Б.С. Митина.- М.: Металлургия, 1987.- 792 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.04.2022:

С.Г. АГБАЛЯН, В.А. СИМОНЯН

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ

В результате анализа отечественной и зарубежной литературы изучены различные способы получения легированных порошков металлов, в частности: распыление расплавов, получение при помощи гидрида кальция, термодиффузионное насыщение, карбонильные процессы, электролиз и синтез сложных оксидов с дальнейшим восстановлением. В результате оказалось, что все существующие методы, кроме синтеза и последующего восстановления сложных оксидов, не подходят для получения мартенситно-стареющих стальных порошков. Распыление расплавов сжатым воздухом подходит для получения порошков чистых металлов, а получение при помощи гидрида кальция нецелесообразно, так как мартенситно-стареющие стали содержат металлы Fe, Ni, Co и Mo с низким сродством к кислороду, термодиффузионное насыщение не подходит из-за использования металлического порошка, а карбонильный процесс довольно сложен и трудно реализуем.

Комплексные исследования показали, что, сочетая наилучшим образом процессы синтеза (ферритизации) и восстановления сложных оксидов, можно разработать эффективную технологию производства легированных порошков, которая обеспечит сверхчистый химический состав, требуемые структуру и свойства.

Ключевые слова: оксиды металлов, синтез, восстановление, металлический порошок, прессование, спекание, горячая экструзия, мартенситно-стареющая порошковая сталь.

S.G. AGHBALYAN, V.A. SIMONYAN

**SUBSTANTIATING THE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING
MARAGING STEELS**

As a result of the analysis of domestic and foreign literature, various methods for producing alloyed metal powders are studied, in particular atomization of alloys, acquisition with calcium hydride, thermal diffusion saturation, carbonyl processes, electrolysis and synthesis of complex oxides with further reduction. As a result, it was found that all researched methods, except for the synthesis and subsequent reduction of complex oxides, are not suitable for producing maraging steel powders. Atomization is suitable for producing pure metal powders, production with calcium hydride is impractical because maraging steels contain metals with a low affinity for oxygen *Fe, Ni, Co, Al, Mo*, thermal diffusion saturation is not suitable due to the use of metal powder and the carbonyl process is rather complicated and difficult to implement.

Comprehensive studies have shown that by combining the processes of synthesis (ferritation) and reduction of complex oxides in the best possible way, it is possible to develop an effective technology for production of alloyed powders, which will guarantee acquisition of an ultrapure chemical composition, required structure and properties.

Keywords: metal oxides, synthesis, reduction, metal powder, pressing, sintering, hot extrusion, maraging steel powder.

Ն.Գ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ, Գ.Հ. ԱՍՉՅԱՆ, Գ.Ն. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ,
Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Հ.Հ. ԵԶԱԿՅԱՆ

**ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ԱՐԳԵԼԱԿԱՅԻՆ ՇՓԱՆՅՈՒԹԵՐԻ
ԱՇԽԱՏՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Կատարվել է Հայաստանի Հանրապետությունում շահագործվող երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» մակնիշի մեքենաների ֆունկցիոնալ հատկություններով արգելակային շփական ներդիրների աշխատունակության համեմատական վերլուծություն: Ստենդային փորձագիտական հետազոտության են ենթարկվել ՌԴ ТИИР, АО АЗ УРАЛ և Ուկրաինայի ТРИБО ֆիրմաների արտադրած շփական ներդիրները, որոնք լայն կիրառություն ունեն «Ուրալ» մակնիշի մեքենաների արգելակներում: Կատարվել է այդ նյութերի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Շփագիտություն» բաժնի գիտահետազոտական լաբորատորիայում գիտական և որոնողական աշխատանքների արդյունքում մշակված և մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակային արգելակներում ներդրված նոր, հեղինակային իրավունքներով և պատենտներով արտոնագրված, «Բաստենիտ» ընդհանուր անվանումով ասբեստազերծ ֆունկցիոնալ հատկություններով արգելակային շփանյութերի աշխատունակության համեմատական վերլուծություն:

Հատատված է, որ արգելակման արդյունավետության, դրա կորստի և վերականգնման բնութագրերով ֆունկցիոնալ հատկություններով «Բաստենիտ-9» դասի շփանյութը ՀՀ-ում շահագործվող երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» մակնիշի մեքենաների թմբուկային արգելակային հանգույցների շահագործողական ռեժիմներով մոդելավորված ստենդային փորձարկումների արդյունքում ցուցաբերում է անհրաժեշտ աշխատունակություն և բավարարում է միջազգային SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները: Փորձարկման արդյունքները ցույց են տվել, որ «Բաստենիտ-9» շփանյութն ունի նաև համեմատաբար բարձր մաշակայունություն:

ՀՀ-ում «Բաստենիտ-9» դասի շփանյութի արտադրության կազմակերպման նպատակով առաջարկվում է Ռուսաստանի Դաշնության և Հայաստանի Հանրապետության շահագրգիռ կազմակերպությունների հետ իրականացնել համատեղ ճանապարհային փորձարկումներ:

Առանցքային բառեր. արգելակ, ֆունկցիոնալ հատկություններ, շփական ներդիր, շփման գործակից, դանդաղեցում, ասբեստազերծ կոմպոզիցիոն նյութ:

Ներածություն: ՀՀ տնտեսության տարբեր ոլորտներում շահագործվում են ՌԴ արտադրության երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» մակնիշի մեքենաներ: Դրանք 4x4, 6x6 և 8x8 անիվներով մեքենաներ են, որոնց բեռնամբարձությունը տատան-

վում է 4,2-ից մինչև 10 տոննա, և հիմնական առավելություններից են առավելագույն անցունակությունը, բազմաֆունկցիոնալությունը և բավականին բարձր արագությունը: Երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» մեքենաները հազեցած են էլեկտրոնային կառավարման համակարգով, ինչը էապես մեծացնում է ՀՀ-ում կիրառման հեռանկարները, արդյունավետությունն ու գործունակությունը: Շահագործվող ավտոմեքենաների արգելակային հանգույցներում օգտագործում են ՌԴ-ից և Ուկրաինայից ներկրվող շփական ներդիրներ (աղ.1):

Աղյուսակ 1

«Ուրալ» ավտոմեքենաների արգելակային ասբեստազերծ ներդիրների բնութագրերը

Նշանակումը	բնութագրեր	Արտադրող
Երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» ավտոմեքենաների արգելակային ասբեստազերծ ներդիրներ՝ 55571-3501105-10 	- Առավելագույն շփման ջերմաստիճանը՝ 450 °C - Շփման գործակիցի փոփոխման տիրույթը՝ 0,33...0,46	Ռուսաստանի Դաշնություն՝ ТИИР
		Ուկրաինա՝ ТРИБО
		Ռուսաստանի Դաշնություն՝ АО АЗ УРАЛ

ՀՀ-ում շահագործվող բեռնատար ավտոմեքենաների արգելակային շփական ներդիրների աշխատանքային պայմանները բնութագրվում են որպես լեռնային պայմաններում շահագործվող արգելակների պայմաններ: Այդ ավտոմեքենաների ասբեստազերծ արգելակային շփական ներդիրների ստեղծումը՝ տեղական հումքի օգտագործմամբ, համարվում է հրատապ խնդիր: Հարցն ունի պետական նշանակության կարևորություն, քանի որ այն անմիջականորեն կապված է մեր երկրի անվտանգության հետ, և կենսական պահանջ է դարձել տեղական հումքի օգտագործմամբ արտադրության կազմակերպումը հանրապետությունում:

Խնդրի դրվածքը: ՀԱՊՀ «Շփագիտություն» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում կատարված գիտական և որոնողական աշխատանքների արդյունքում մշակված և մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակային արգելակներում ներդրված են նոր, հեղինակային իրավունքներով և պատենտներով արտոնագրված «Բաստենիտ» ընդհանուր անվանումով ասբեստազերծ արգելակային շփանյութեր: Այդ շփանյութերի նախնական համեմատական փորձարկումները ցույց են տալիս, որ դրանք ունեն բավարար աշխատունակություն: Փորձագիտական հետազոտությամբ հաստատված է, որ «Բաստենիտ» դասի արգելակային շփա-

կան կոմպոզիտային նյութերն իրենց շփագիտական հատկություններով ցուցաբերում են ավելի բարձր ու կայուն արգելակային արդյունավետություն և բնութագրերով բավարարում են Եվրոպական տնտեսական խորհրդի թիվ 13 ստանդարտի (Единообразные предписания, касающиеся официального подтверждения транспортных средств в отношении торможения. Правило ЕЭК ООН N 13.- ООН, 2000 г.) պահանջները: «Բաստենիտ» ընդհանուր անվամբ ստեղծված նոր շփանյութերը հնարավորություն են տալիս կայունացնել շփման զույգի շփամաշվածքային բնութագրերը 400...600 °C մակերևութային ջերմաստիճաններում (ԽՍՀՄ գյուտի հ.վ. № 966105, ՀՀ գյուտի արտոնագիր № 753), վերացնել հպման մեջ գտնվող շփագույգի տարրերի մակերևութային արատները և ջերմային ճաքերը (ԽՍՀՄ գյուտի հ.վ. № 1094331), խոնավ աշխատանքային պայմաններում համապատասխանաբար 1,6 և 1,8 անգամ փոքրացնել մետաղական հակամարմնի և շփանյութի մաշումը (ԽՍՀՄ գյուտի հ.վ. № 1142488), բարձրացնել շփման գործակիցը 1,5 անգամ 400...600 °C մակերևութային ջերմաստիճաններում (ԽՍՀՄ գյուտի հ.վ. №1224321), պաշտպանել մետաղական հակամարմինը կոռոզիոն և ջրածնային մաշումից (ՌԴ գյուտի պատենտ №2260018, ՀՀ գյուտի արտոնագիր № 2909A), լավարկել շփագիտական բնութագրերը 400...600 °C մակերևութային ջերմաստիճաններում (ՀՀ գյուտի արտոնագիր № 2909A) [1-4]:

Բաղադրամասերի օպտիմալացման ու պատրաստման տեխնոլոգիական ընթացակարգի փոփոխման եղանակներով հնարավոր է «Բաստենիտ» շփանյութերն օգտագործել երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» ավտոմեքենաների արգելակային հանգույցներում: Հնարավորության դեպքում կապահովվի տեխնիկական և տնտեսական արդյունավետությունը:

Հետազոտության արդյունքները: Երկակի նշանակությամբ «Ուրալ» մակնիշի մեքենաների թմբուկային արգելակային հանգույցներում «Բաստենիտ» դասի շփանյութերից պատրաստված արգելակային ներդիրների օգտագործման նպատակով անհրաժեշտություն է առաջանում կատարելու լրացուցիչ ուսումնասիրություններ.

➤ փորձագիտական եղանակներով ուսումնասիրել ՌԴ-ի և Ուկրաինայի ռետինատեխնիկական գործարաններում արտադրվող արգելակային ներդիրների շփագիտական հատկությունները,

➤ շփանյութերի աշխատունակության համեմատական վերլուծության միջոցով բացահայտել «Բաստենիտ» դասի ասբեստազերծ շփանյութերի օգտագործման հնարավորությունը ռազմական նշանակությամբ բեռնատարների արգելակային հանգույցներում:

Նշված խնդիրների լուծման համար հետազոտվել է «Շփագիտություն» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում մշակված և ՀՀ գյուտի արտո-

նագրով ամրագրված բազալտե և ապակե մանրաթելերի խառնուրդ պարունակող «Բաստենիտ-9» շփանյութը:

Փորձագիտական ուսումնասիրությունների են ենթարկվել «Բաստենիտ» դասի շփանյութից և ՌԴ ТИИР, АО АЗ “УРАЛ”, ինչպես նաև Ուկրաինական ТРИБО մականիշների շփանյութերից պատրաստված փարձանմուշները: Փորձարկումները կատարվել են TC-1 իներցիոն ստենդի վրա արգելակային հանգույցների փորձարկման միջազգային SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջներին համապատասխան մեթոդակարգով՝ աղ. 2-ում բերված ռեժիմային պարամետրերով [1]:

Աղյուսակ 2

Փորձարկման ռեժիմները և փուլերը

№	Փորձարկման փուլերը	Պարամետրերը			
		արգելակման սկզբնական արագությունը $V, \text{մ/վ}$	ներդիրի ջերմաստիճանը՝ $\theta, ^\circ\text{C}$	արգելակման պարբերականությունը՝ $t, \text{վ}$	արգելակումների քանակը, Z
1	2	3	4	5	6
1	Զելում	22,2	մինչև 100°C	—	—
2	Արգելակման արդյունավետության առաջին որոշումը	11,1 22,2 31,9	սկզբնական 50°C	—	3 3 3
3	Արգելակման արդյունավետության կորստի առաջին որոշումը	31,9	սկզբնական 50°C	60	15
4	Արգելակման արդյունավետության վերականգնման առաջին որոշումը	31,9	սկզբնականը 3-րդ կետի արգելակման 15-րդ θ մինչև 100°C	50°C հովացմամբ	3 ամեն մի θ -ի դեպքում
5	Արգելակման արդյունավետության երկրորդ որոշումը	31,9	սկզբնական 100°C	60	15
6	Արգելակման արդյունավետության վերականգնման երկրորդ որոշումը	31,9	սկզբնականը 5-րդ կետի արգելակման 15-րդ θ մինչև 100°C	50°C հովացմամբ	3 ամեն մի θ -ի դեպքում

Աղյուսակ 2-ի շարունակությունը

1	2	3	4	5	6
7	Ներդիրների մաշակայունության որոշումը	31,9...13,4	սկզբնական 100 °C մինչև 200 °C	—	15
8	Արգելակման արդյունավետության կորստի երրորդ որոշումը	31,9	սկզբնական 100 °C	60	15
9	Արգելակման արդյունավետության վերականգնման երրորդ որոշումը	31,9	սկզբնականը 8-րդ կետի արգելակման 15-րդ թ մինչև 100 °C	50 °C հովացմամբ	3 ամեն մի թ-ի դեպքում
10	Արգելակման արդյունավետության երկրորդ որոշումը	11,1 22,2 31,9	սկզբնական 50 °C	—	3 3 3

Աշխատունակության հետազոտությունները TC-1 ստենդի վրա անցկացվել են ստենդային և շահագործական պարամետրերի համաձայնեցման պայմաններում (արգելակման սկզբնական արագություն, արգելակային համակարգում տեսակարար ճնշում, շփման գոտու ջերմաստիճան)՝ լիսեռի պտտման համապատասխան հաճախականության ժամանակի հաշվարկման և իներցիոն զանգվածների անհրաժեշտ քանակի տեղադրման ճանապարհով: Փորձարկման ընթացքում շփման գոտում պահպանվում է կայուն ճնշում՝ հավասար 0,6 ՄՊա (չափավոր մաշման ռեժիմ) կամ 2 ՄՊա (ուժգին մաշման ռեժիմ): Փորձարկումներից առաջ և հետո ամեն աստիճանի վրա կատարվում է շփման զույգերի զննում, անալիտիկ կշեռքով չափվում է նմուշների զանգվածի կորուստը, և հաշվարկվում է ներգետիկ մաշման ուժգնությունն ըստ հետևյալ բանաձևի՝

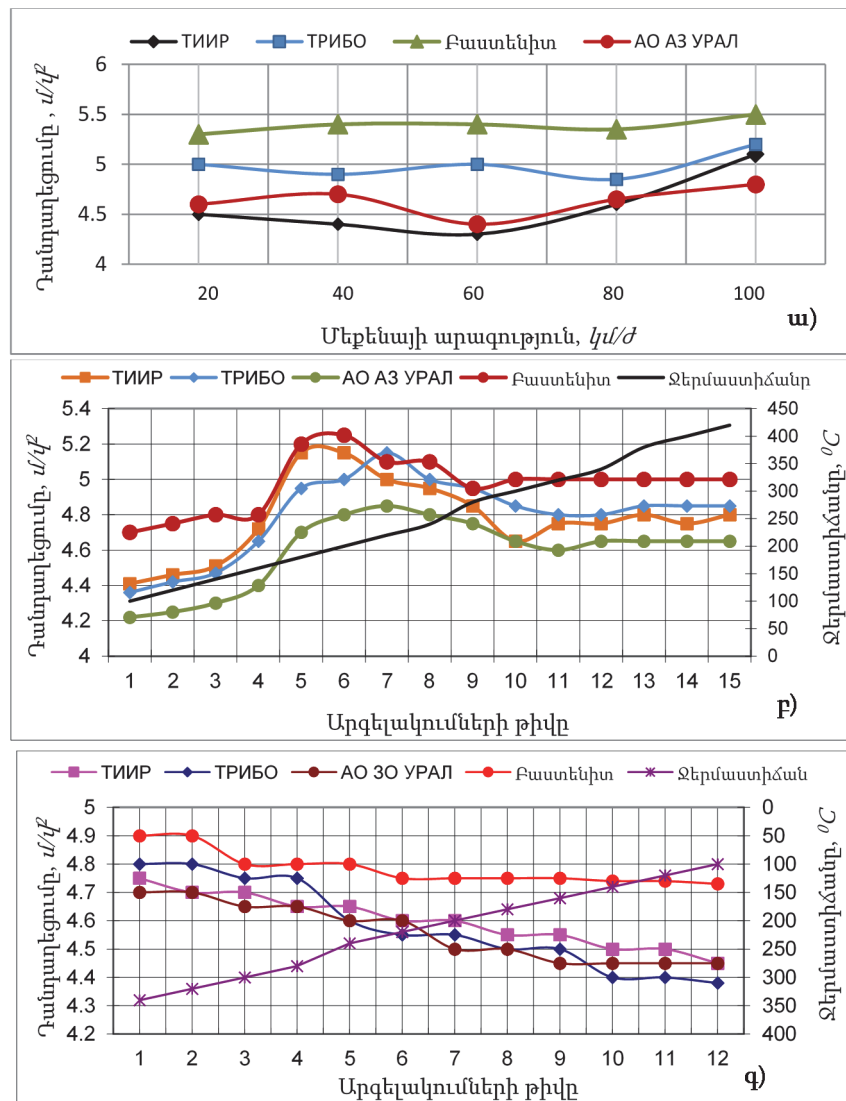
$$I_W = \Delta G / 37, 5 \cdot f_{cp} \cdot L,$$

որտեղ f_{cp} -ը տվյալ աստիճանում շփման միջին գործակիցն է, ΔG -ն՝ զանգվածի կորուստը, L -ը՝ շփման ճանապարհը:

Արգելակման արդյունավետության, դրա կորստի և վերականգնման որոշման արդյունքները բերված են նկարում:

Վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ֆունկցիոնալ հատկություններով «Բաստենիտ-9» դասի շփանյութը արգելակման արդյունավետության բնութագրերով գերազանցում է ընտրված շփանյութերին (նկ., ա): Արգելակման արդյունավետության կորստի բնութագրերով (նկ., բ) ամբողջ ջերմաստիճանային տիրույթում

«Բաստենիտ-9» դասի շփանյութը ցուցաբերում է բարձր բնութագրեր, և դանդաղեցման արժեքների ցրման դաշտը չի գերազանցում 5%, ինչը բավարարում է SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները: Արգելակման արդյունավետության կորստի վերականգնման բնութագրերով (նկ., գ) «Բաստենիտ-9» դասի շփանյութը ևս չի զիջում ընտրված շփանյութերին: Շփանյութերի գծային մաշման %-ային արժեքները բերված են աղ. 3-ում:



Նկ. Փորձարկումների համեմատական արդյունքները. ա - արգելակման արդյունավետություն, բ - արգելակման արդյունավետության կորուստ, գ - արգելակման արդյունավետության կորուստի վերականգնում

Շփանյութերի գծային մաշման գնահատականը

Հ/հ	Ներդիրի մակնիշը	Ներդիրի հաստությունը, մմ		Գծային մաշումը, %
		սկզբնական	փորձարկումից հետո	
1	ТИИР	14	13,61	2,7
2	АО “АЗ “УРАЛ”		13,56	3.1
3	ТРИБО		13,59	2,9
4	Բաստենիտ-9		13,64	2,5

Աղյուսակից երևում է, որ «Բաստենիտ-9» շփանյութն ունի համեմատաբար բարձր մաշակայունություն: Այն բավարարում է SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները:

Եզրակացություն: Արգելակման արդյունավետության, արգելակման արդյունավետության կորստի և վերականգնման բնութագրերով, ինչպես նաև մաշակայունության ֆունկցիոնալ հատկությամբ «Բաստենիտ-9» դասի շփանյութը ՀՀ-ում շահագործվող երկաթի նշանակությամբ «Ուրալ» մակնիշի մեքենաների թմբուկային արգելակային հանգույցների շահագործողական ռեժիմներով ստենդային փորձարկումների արդյունքում ցուցաբերում է անհրաժեշտ աշխատունակություն և բավարարում է միջազգային SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները: Ներդրման նպատակով առաջարկվում է Ռուսաստանի Դաշնության և Հայաստանի Հանրապետության շահագրգիռ կազմակերպությունների հետ իրականացնել համատեղ ճանապարհային փորձարկումներ:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 21T-2D012 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Фрикционные композиты на основе полимеров / **А.К. Погосян, П.В. Сысоев, Н.Г. Меликсетян и др.**- Минск: Информтрибо, 1992.- 254 с.
2. **Погосян А.К., Меликсетян Н.Г., Ламбарян Н.А.** Фрикционные безасбестовые материалы типа Бастенит // Сб. тр. 6-го Межд. науч.-техн. симп. по фрикционным изделиям и материалам Яроффри.- Ярославль, РФ, 2006.- С. 20-26.
3. **Меликсетян Н.Г.** Кинетика структурных и фазовых превращений поверхностных слоев тормозных фрикционных материалов // Проблемы механики.- Тбилиси, 2007.- № 4.- С. 28-32.

4. **Меликсетян Н.Г., Агбальян С.Г.** Трибологические исследования фрикционных тормозных материалов в Национальном политехническом университете Армении // Collection of scientific papers on materials XIV International Scientific Conference.- Los Angeles, 2021.- P. 33-41.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 26.04.2022:

**Н.Г. МЕЛИКСЕТАН, Г.О. АСЧЯН, Г.Н. МЕЛИКСЕТАН,
А.С. АГБАЛЯН, А.О. ЕЗАКЯН**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОРМОЗНЫХ ФРИКЦИОННЫХ НАКЛАДОК С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Проведен сравнительный анализ работоспособности различных тормозных фрикционных накладок с функциональными свойствами. Стендовым испытаниям были подвергнуты фрикционные тормозные накладки фирм ТИИР и АО АЗ “УРАЛ” производства РФ и фирмы ТРИБО производства Украины, которые широко используются в тормозах автомобилей марки “Урал”. Выполнен анализ работоспособности этих материалов и запатентованных в РА и РФ безасбестовых фрикционных композитов с функциональными свойствами типа “Бастенит”, созданных в базовой научно-исследовательской лаборатории “Трибология” Национального политехнического университета Армении.

В результате стендовых испытаний установлено, что по характеристикам эффективности торможения, потере эффективности торможения и параметрам восстановления материала типа “Бастенит-9” обеспечивает необходимую работоспособность и удовлетворяет требованиям международного стандарта SAE J 661 201211, а по износостойкости - превосходит аналоги.

Для организации производства фрикционных материалов типа “Бастенит” в Армении предлагается провести совместные дорожные испытания с заинтересованными организациями РФ и РА.

Ключевые слова: тормоз, функциональные свойства, фрикционная накладка, коэффициент трения, замедление, безасбестовый фрикционный композит.

**N.G. MELIKSETYAN, G.O. ASCHYAN, G.N. MELIKSETYAN,
A.S. AGBALYAN, A.H. EZAKYAN**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF BRAKE
FRICTION LININGS WITH FUNCTIONAL PROPERTIES**

A comparative analysis of the performance of various brake friction linings with functional properties. Friction brake linings of the code TIIR and JSC AZ URAL produced in the Russian Federation and TRIBO produced in the Ukraine, which are widely used in the brakes of Ural vehicles, were subjected to bench tests. A comparative analysis of the performance of these materials and asbestos-free friction composites patented in Republic of Armenia and the Russian Federation with functional properties of the Bastenite type, created in the basic research laboratory "Tribology" of National Polytechnic University of Armenia, was carried out.

As a result of bench tests on the operational simulated operating parameters of drum brakes of dual-purpose vehicles "Ural", it was found that in terms of braking efficiency, braking efficiency loss and recoverability parameters, the material of the Bastenit-9 type provides the necessary performance and meets the requirements of the international standard SAE J 661 201211. In terms of wear resistance, the material of the Bastenit-9 type is superior to its analogues.

To organize the production of friction materials of the Bastenit type in Republic of Armenia, it is proposed to conduct joint road tests with interested organizations of the Russian Federation and Republic of Armenia.

Keywords: brake, friction lining with functional properties, coefficient of friction, deceleration, asbestos-free friction composite.

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ

**40XH2M ՄԱԿՆԻՇԻ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏԻ
ՍՏԱՑՈՒՄԸ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՍԱՄԲ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱԳՈՑԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Ցույց է տրված, որ ծակոտկեն փոշեպողպատների տաք արտամղման ժամանակ բաղադրիչների դիֆուզիոն գործընթացների ակտիվացումը պայմանավորված է բաղադրիչների քիմիական ակտիվությամբ, դիֆուզիայի բազմաբևեռայնությամբ և կիրառված բարձր ճնշմամբ: Համաձայն մշակված տեխնոլոգիայի՝ Fe-Cr-Ni-Mo-C բաղադրությամբ փորձանմուշներում տաք արտամղումն առաջացնում է 75-90% դեֆորմացիա և ապահովում ստացված փոշեպողպատի բարձր մեխանիկական հատկություններ: 850°C-ից յուրում մխելուց և $t_{\text{արձ}} = 200^\circ\text{C}$ արձակումից հետո ստացվել են $\sigma_\sigma = 1800 \dots 1820 \text{ ՄՆ/մ}^2$, $\delta = 11\%$, $\psi = 50\%$, KCU = 65 Ջ/սմ², HB = 5250...5300 ՄՊա, իսկ 600°C-ում ջերմային լավացման դեպքում՝ սառեցումը յուրում. $\sigma_\sigma = 1000 \dots 1020 \text{ ՄՆ/մ}^2$, $\delta = 20\%$, $\psi = 63\%$, KCU = 155 Ջ/սմ², HB = 2750...2780 ՄՊա: Մշակված փոշեպողպատն իր քիմիական բաղադրությամբ համապատասխանում է 40XH2M մակնիշի ձուլված պողպատի բաղադրությանը՝ համաձայն որի. C = 0,42...0,45%, Cr = 0,6...0,9%, Ni = 1,25...1,65%, Mo = 0,20...0,35%:

Առանցքային բառեր. կոնստրուկցիոն նշանակությամբ փոշեպողպատ, եռակալում, տաք արտամղում, դիֆուզիա, կառուցվածքագոյացում, ամրություն, կարծրություն, մածուցիկություն:

Ներածություն: Երկաթի հիմքով կոմպոզիտային նյութերի զգալի մասը, որոնք ստացվում են փոշեմետալուրգիական մեթոդներով, բազմաբաղադրիչ են: Վերջին տարիներին մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում այնպիսի միացությունների հիման վրա ստեղծված կոմպոզիտային նյութերը, ինչպիսիք են բարդ լեգիրված կամ գերհազեցած պինդ լուծույթի կառուցվածք ունեցող փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնք ամրանում են ինտերմետաղական ֆազերով: Դա պայմանավորված է փոշեմետալուրգիայի մի շարք առավելություններով, ինչպիսիք են՝ ընտրված քիմիական բաղադրությամբ և բաղադրիչների հավասարաչափ տեղաբաշխման երաշխիքով փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման հնարավորությունները:

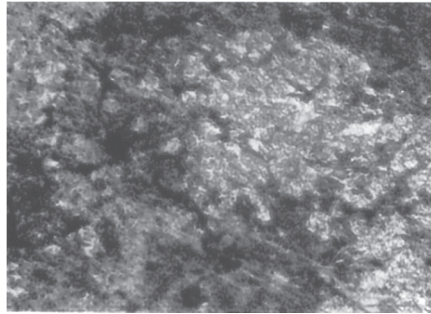
Բաղադրիչների փոխադարձ դիֆուզիայի ակտիվացման և հոմոգեն կառուցվածք ստանալու համար անհրաժեշտ է մշակել եռակալման հատուկ տեխնոլոգիաներ: Հայտնի է [1], որ փոշեմետաղական կոմպոզիտային նյութերում, առանձին մասնիկների իրար հետ համակցման գործընթացի համար, պահանջվում է

բավականին երկար ժամանակ, որի հիմնական պատճառը դիֆուզիայի փոքր արագությունն է, հատկապես եթե այն ընթանում է պինդ ֆազում: Դիֆուզիայի գործընթացն ավելի ակտիվ է ընթանում է եռակալման առաջին րոպեներին, այնուհետև այն սկսում է նվազել եռակալման տևողության մեծացմանը զուգընթաց, որը բացատրվում է ելքային բաղադրիչների ակտիվության նվազմամբ: Դիֆուզիայի առավելագույն ակտիվությունն ընթանում է փորձանմուշների մակերևութային շերտերում և առավել մեծ աստիճանով՝ դեֆորմացված հատիկների սահմաններում [1,2]: Այստեղից հետևում է, որ մետաղափոշիների բարձր ակտիվությունը և մասնիկների բյուրեղային ցանցի աղավաղումը համարվում են կոմպոզիտային նյութերի դիֆուզիոն գործընթացների ակտիվացման կարևոր պայման: Սակայն եռակալման ժամանակ հնարավոր չէ այդ պայմանի երկարատև պահպանումը, քանի որ հոմոգենացման գործընթացը պահանջում է երկարաժամկետ եռակալում, որը միշտ չէ, որ ապահովում է լիարժեք կառուցվածքագոյացում: Հատկապես տեղի է ունենում հատիկների խոշորացում, որը խիստ կերպով իջեցնում է փոշեկոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունները: Բացի դրանից, մեծ մասամբ փոշեհատիկների մակերևութային գոյություն ունեցող օքսիդային շերտերն արգելակում են դիֆուզիայի հետագա ընթացքը: Անհավասարակշիռ վիճակի պահպանման և դիֆուզիայի արագությունը մեծացնելու համար անհրաժեշտ է մշտապես ապահովել բյուրեղավանդակի աղավաղման գործընթացը: Եռակալման ջերմաստիճաններում դա հնարավոր է միայն պլաստիկ դեֆորմացման կիրառմամբ:

Ելնելով վերոհիշյալից, աշխատանքի նպատակն է մշակել 40XH2M մակնիշի կոնստրուկցիոն նշանակությամբ փոշեպողպատի ստացման տեխնոլոգիա՝ տաք արտամղմամբ, և հետագոտել կառուցվածքագոյացման գործընթացն ու մեխանիկական հատկությունները:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Հաշվի առնելով եռակալման ժամանակ 40XH2M մակնիշի ծակոտկեն փոշեպողպատի լեգիրող տարրերի ոչ լրիվ լուծվելու հանգամանքը մայրակում, ինչպես նաև ածխածնի այրվելու գործընթացը՝ 40XH2M մակնիշի փոշեպողպատի բաղադրությունը, որը, համաձայն ГОСТ 4543-71-ի, պետք է պարունակի $C = 0,37...0,44\%$, $Cr = 0,6...0,9\%$, $Ni = 1,25...1,65\%$, $Mo = 0,15...0,25\%$, $Si = 0,17...0,37\%$, $Mn = 0,50...0,80\%$ լեգիրող տարրեր, ելանյութերի քանակությունը վերցրվել է $0,25\%$ ավելի՝ $C = 0,46...0,55\%$, $Cr = 0,75...1,13\%$, $Ni = 1,56...2,06\%$, $Mo = 0,19...0,31\%$, $Si = 0,21...0,46\%$, $Mn = 0,62...1,0\%$ Խառնումը կատարվել է թմբուկային խառնիչում ~ 10 ժտևողությամբ: Համասեռ բովախառնուրդ ստանալու համար ավելացվել է $0,1\%$ տեխնիկական սպիրտ: $\Phi 30$ մ/տրամագծով և $h = 45$ մ/բարձրությամբ փորձանմուշները, որոնք մամլվել են $\theta = 20\%$ ծակոտկենությամբ, եռակալվել են $1150...1200^{\circ}C$ ջերմաստիճանում ջրածնի միջավայրում՝ 3 ժպահման տևողությամբ:

Հետազոտության արդյունքները: Եռակալված փորձանմուշների կառուցվածքները հետազոտվել են HEOΦOT-21 մակնիշի մանրադիտակով (նկ. 1):

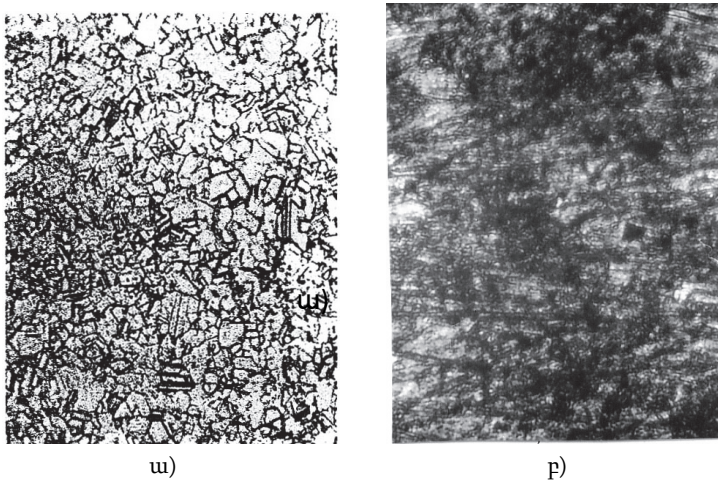


Նկ. 1. Եռակալված փոշեպողպատի միկրոկառուցվածքը. $T_{\text{տ}} = 1150 \dots 1200^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{պահ}} = 3 \text{ ժ (x 400)}$

Բացահայտվել է, որ $T = 1150 \dots 1200^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում $\tau = 3 \text{ ժ}$ պահման տևողությամբ եռակալումը բավարար չէ հոմոգեն կառուցվածքի ստացման համար: Պատճառն այն է, որ լեգիրող տարրերը լուծվում են երկաթում երկու մեխանիզմով՝ պինդ լուծույթային, ինչպիսիք են՝ α (ծավալակենտրոն խորանարդային բյուրեղավանդակով) և γ (նիստակենտրոն խորանարդային բյուրեղավանդակով) պինդ լուծույթները, և ինտերմետաղական ֆազերի առաջացմամբ, ինչպիսիք են՝ Fe_2Mo (λ -ֆազ), Fe_5Mo_3 (R -ֆազ), Fe_3Mo_2 (μ -ֆազ), ինչպես նաև FeMo և FeCr (σ -ֆազ): Առաջանում է նաև եռակի միացություն՝ $\text{Fe}_{36}\text{Cr}_{12}\text{Mo}_{10}$ (χ -ֆազ) [3]: Պինդ ֆազային դիֆուզիայի դեպքում նշված ֆազերի առաջացման և հոմոգեն կառուցվածք ապահովելու նպատակով, անհրաժեշտ է մեծացնել պահման ժամանակը մինչև 100 և ավելի ժամեր, ինչը տնտեսապես շահավետ չէ: Դիֆուզիայի արագությունը մեծացնելու, հոմոգեն և անձակոտկեն կառուցվածք ստանալու համար եռակալված նմուշները ենթարկվել են տաք արտամղման $1100 \dots 1150^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանից՝ ջրածնի միջավայրում 30 րոպե պահումից հետո, $\lambda = 4 \dots 6$ արտամղման գործակցով:

Տաք արտամղումից հետո փոշեպողպատը ստացվել է խիստ մանրահատիկ և անձակոտկեն ($\theta = 0\%$): Եռակալված և տաք արտամղված փորձանմուշների կառուցվածքների համեմատումից պարզվել է, որ երբ կառուցվածքագոյացումը սկսվում է եռակալման ժամանակ, ապա տաք արտամղման ընթացքում այն էական փոփոխությունների չի ենթարկվում: Արտամղման ժամանակ այդ փոփոխությունը ընթանում է ձողի երկարությամբ հատիկների դեֆորմացմամբ՝ երկարացմամբ (նկ. 2, բ): Տաք արտամղման ժամանակ մայրակի կոնական մասում, որտեղ առաջանում է մամլամնացորդ, ծակոտկեն մամլվածքը ենթարկվում է նվազագույն դեֆորմացման, որի պատճառով այնտեղ մնում է որոշակի ծակոտկենություն (նկ. 2, ա): Տաք արտամղման ժամանակ դեֆորմացիան ընթանում է բոլոր կողմերից հավասարաչափ սեղմման պայմաններում:

[4] աշխատանքից հայտնի է, որ տաք արտամղման ժամանակ մեծ ճնշումների ազդեցության պայմաններում տեղի է ունենում լեգիրող տարրերի դիֆուզիայի արագության մեծացում մայրակույտ, այսինքն՝ կառուցվածքագոյացման գործընթացի արագացում: Այդ է պատճառը, որ $\lambda = 4...6$ արտամղման գործակցի պայմաններում լեգիրող տարրերը պրակտիկորեն լուծվում են երկաթում կամ առաջացնում են ինտերմետաղական միացություններ: Արտամղումից հետո փոշեպողպատը մանրահատ է, իսկ հատկությունները՝ անիզոտրոպ, ինչը պայմանավորված է տաք արտամղման առանցքի ուղղությամբ հատիկների ձգվածությամբ:



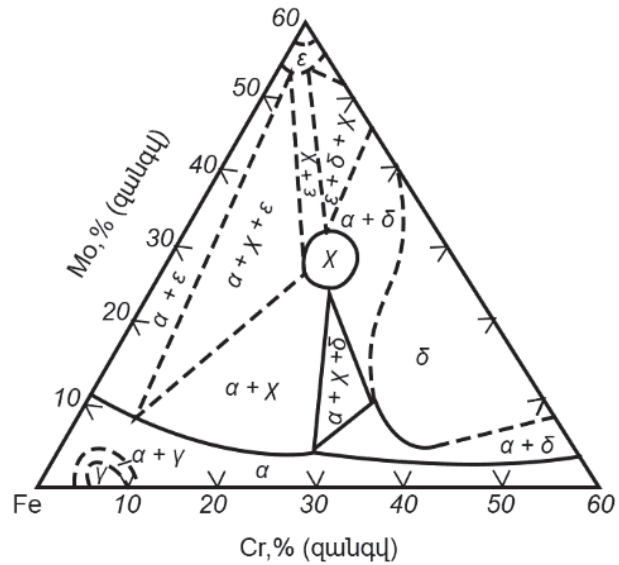
Նկ. 2. Տաք արտամղված փոշեպողպատի միկրոկառուցվածքը տարբեր աստիճանի դեֆորմացման գոտիներում ($\times 600$). ա – մամլամնացորդի միջուկում, բ – արտամղված ձողի առանցքի վրա

Հատկությունների անիզոտրոպությունը վերացնելու և կառուցվածքային հոմոգենությունը վերականգնելու նպատակով տաք արտամղմամբ ստացված ձողերը ենթարկվել են հոմոգենացնող թրծման 850°C ջերմաստիճանում երկու ժամ պահմամբ:

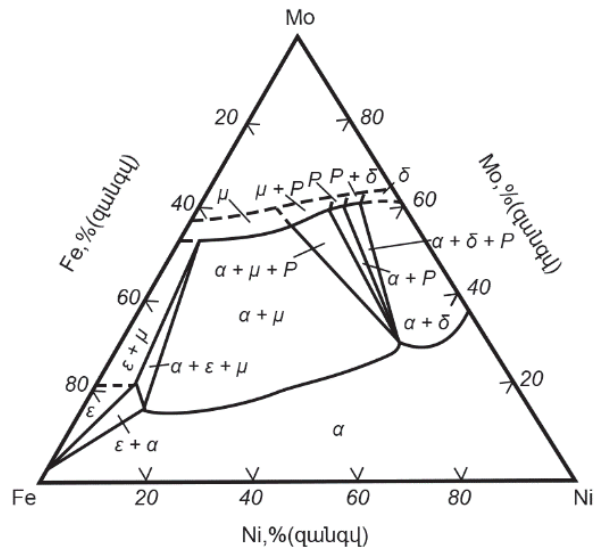
Տաք արտամղման գործընթացում բաղադրիչ տարրերի դիֆուզման գործընթացների ակտիվացման հնարավոր տարբերակներից է դրանց քիմիական ակտիվության բարձրացումը, մեխանիկական հատկությունների տարբերությունը և Fe-Cr-Ni-Mo-C համակարգում դիֆուզիայի բազմաբեռայնությունը: Իսկ տաք արտամղման ճնշման աճը նպաստում է պինդ լուծույթների և ինտերմետաղական ֆազերի առաջացմանը:

Ինչպես երևում է Fe-Mo-Cr (նկ. 3) և Fe-Mo-Ni (նկ. 4) համաձուլվածքների վիճակի դիագրամների իզոթերմիկ կտրվածքներից, Cr = 0,75...1,13%, Mo = 0,19...0,31 %՝ մնացածը Fe և Mo = 0,19...0,31 %, Ni = 1,56...2,06 %՝ մնացածը Fe

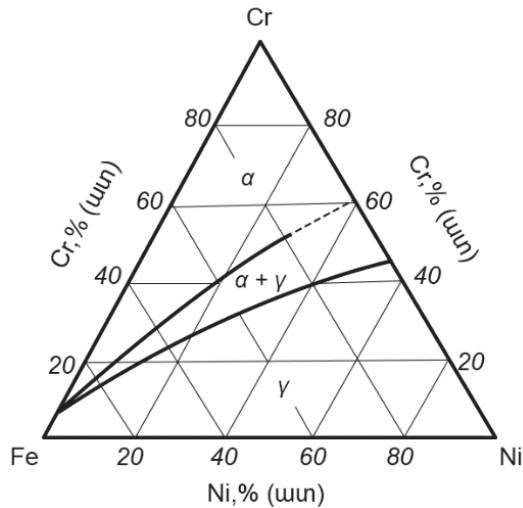
համակարգերը համապատասխանաբար 900°C-ում և 1200°C-ում միաֆազ են, և կառուցվածքները բաղկացած են α պինդ լուծույթից: Միաֆազ γ պինդ լուծույթի կառուցվածք է ստացվում $\text{Cr}=0,75\ldots 1,13\%$, $\text{Ni}=1,56\ldots 2,06\%$ մնացածը՝ Fe համակարգում (նկ. 5):



Նկ. 3. Fe-Mo-Cr համակարգի իզոթերմիկ կտրվածքը 900°C-ում [3]



Նկ. 4. Fe-Mo-Ni համակարգի իզոթերմիկ կտրվածքը 1200°C-ում [3]



Նկ. 5. Fe-Cr-Ni համակարգի իզոթերմիկ կտրվածքը 1300°C-ում [3]

Վերը նշված ինտերմետաղական ֆազերի առաջացումը 40XH2M մակնիշի փոշեպողպատում միանշանակ է, որովհետև լեգիրող տարրերի բաշխվածությունը անհամասեռ է, որի արդյունքում ինչպես տաք արտամղման, այնպես էլ հետագա ջերմամշակման ժամանակ առաջանում են նշված ֆազերը, որոնք հնարավորություն են տալիս այս փոշեպողպատի ջերմակայունությունը բարձրացնել մինչև 450°C:

Այսպիսով, համաձայն առաջարկվող տեխնոլոգիայի՝ Fe-Cr-Ni-Mo-C բաղադրությամբ փոշեպողպատներում տաք արտամղումն ապահովում է բարձր աստիճանի դեֆորմացիա (75...90%) և անձակոտկեն կառուցվածքի ստացում: Հոմեգենացնող թրծումից հետո փորձանմուշները ենթարկվել են ջերմային մշակման՝ միտում 850°C-ից յուղում, արձակումը՝ $t_{\text{արձ}}=200^\circ\text{C}$ սառեցումը օդում, ինչպես նաև կատարվել է ջերմային լավացում՝ միտում 850°C-ից յուղում, արձակումը՝ $t_{\text{արձ}}=600^\circ\text{C}$ -ից սառեցումը յուղում:

Արդյունքում ստացվել են հետևյալ մեխանիկական հատկությունները. միման և ցածր ջերմաստիճանային արձակման դեպքում. $\sigma_{\delta} = 1800...1820 \text{ ՄՆ/սմ}^2$, $\delta = 11\%$, $\psi = 50\%$, KCU = 65 Ջ/սմ², HB = 5250...5300 ՄՊա, ջերմային լավացման դեպքում. $\sigma_{\delta} = 1000...1020 \text{ ՄՆ/սմ}^2$, $\delta = 20\%$, $\psi = 63\%$, KCU = 155 Ջ/սմ², HB = 2750...2780 ՄՊա:

Ինչպես երևում է փորձի արդյունքներից, ստացված փոշեպողպատը, որն իր քիմիական բաղադրությամբ համապատասխանում է 40XH2M մակնիշի պողպատին, իր հատկություններով չի զիջում, իսկ որոշ դեպքերում գերազանցում է ձուլմամբ ստացված պողպատի հատկություններին:

Եզրակացություն: Համալիր փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքում ցույց է տրված, որ ծակոտկեն փոշեպողպատների տաք արտամղման ժամանակ բաղադրիչների դիֆուզիոն գործընթացների ակտիվացումը պայմանավորված է բաղադրիչների քիմիական ակտիվությամբ, դիֆուզիայի բազմաբևեռայնությամբ և կիրառված բարձր ճնշմամբ, իսկ բարձր մեխանիկական հատկությունները՝ անծակոտկեն և մանրահատիկ կառուցվածքի ստացմամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Федорченко И.М., Иванова С.С., Фушич О.И.** Исследование влияния диффузионных процессов на спекание металлических порошков: Сообщение 1 // Порошковая металлургия. – Киев, 1970. – №1. – С. 30-36.
2. **Иванова И.И., Демидюк А.Н.** Разработка технологии получения беспористых порошковых сплавов системы никеля – молибдена // Порошковая металлургия. – Киев, 2001. – № 5/6. – С. 50-56.
3. Диаграмма состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / **О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова** и др. – М.: Металлургия, 1986. – 440 с.
4. **Агбалиян С.Г.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов: Автореф. дис. ...д.т.н.- Ереван, 1992.- 33 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 26.04.2022:

Ա.Տ. ПЕТРОСЯН, В.С. ГУКАСЯН

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ МАРКИ 40ХН2М ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИЕЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Показано, что при горячей экструзии пористых порошковых сталей активация диффузионных процессов компонентов связана с химической активацией компонентов, многополюсной диффузией и применяемым высоким давлением. Согласно разработанной технологии, при составе образцов Fe-Cr-Ni-Mo-C горячая экструзия обеспечивает 75...90% деформации полученных порошковых сталей и высокие механические свойства. В случае закалки в масле при температуре 850⁰С и отпуска при температуре $t_{от}=200^0\text{C}$ получены следующие значения: $\sigma_{в}=1800...1820 \text{ МН/м}^2$, $\delta=11\%$, $\psi=50\%$, $KCU=65 \text{ Дж/см}^2$, $HV=5250...5300 \text{ МПа}$, а в случае термического улучшения при температуре 600⁰С охлаждение в масле: $\sigma_{в}=1000...1020 \text{ МН/м}^2$, $\delta=20\%$, $\psi=63\%$, $KCU=155 \text{ Дж/см}^2$, $HV=2750...2780 \text{ МПа}$. Разработанная порошковая

сталь по своему химическому составу соответствует составу литейной стали марки 40XH2M, согласно которому $C = 0,42...0,45\%$, $Cr = 0,6...0,9\%$, $Ni = 1,25...1,65\%$, $Mo = 0,20...0,35\%$.

Ключевые слова: порошковая сталь конструкционного назначения, спекание, горячая экструзия, диффузия, структурообразование, прочность, твердость, вязкость.

H.S. PETROSYAN, V.S. GHUKASYAN

OBTAINING OF 40XH2M CONSTRUCTIONAL POWDER STEEL BY HOT EXTRUSION AND STUDYING THE STRUCTURIZATION AND MECHANICAL PROPERTIES

It is shown that the activation of diffusion processes during the hot extrusion of porous powders is due to the chemical activity of the components, the multipolarity of the diffusion and the applied high pressure. According to the developed technology, in the samples with the Fe- Cr-Ni-Mo-C composition, the hot extrusion provides 75-90% deformation and high mechanical properties of powder steel. After hardening at $850^{\circ}C$ and annealing at $t_{ann}=200^{\circ}C$, the following properties are obtained: $\sigma_t = 1800...1820 \text{ MN/m}^2$, $\delta = 11\%$, $\psi = 50\%$, $KCU=65 \text{ J/sm}^2$, $HB = 5250...5300 \text{ MPa}$, and after the thermal improvement at $600^{\circ}C$ and cooling in oil, the following properties are obtained $\sigma_t = 1000...1020 \text{ MN/m}^2$, $\delta = 20\%$, $\psi = 63\%$, $KCU=155 \text{ J/sm}^2$, $HB = 2750...2780 \text{ MPa}$. The chemical composition of the obtained powder steel matches the composition of the 40XH2M alloyed metal where $C=0,42...0,45\%$, $Cr=0,6...0,9\%$, $Ni=1,25...1,65\%$, $Mo=0,20...0,35\%$.

Keywords: constructional powder steel, sintering, hot extrusion, diffusion, structure formation, durability, hardness, viscosity.

ՀՏԴ 621.312

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

DOI: 10.53297/0002306X-2022.v75.3-372

Մ.Ք. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Դ.Վ. ԴԱՎԹՅԱՆ

**ԵՌԱՅԱԶ ՍԻՆԽՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՈՉ ՍԻՄԵՏՐԻԿ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ
ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ**

Վերլուծվել են սինխրոն մեքենայի մոնիթորինգի և անսարքությունների հայտնաբերման հնարավորությունները: Հիմնավորվել է ֆազային կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի ասիմետրիկ ռեժիմների մոնիթորինգի իրականացման համար մեծաթիվ տվյալների վերլուծման հնարավորություն ապահովվող առավել արդյունավետ ալգորիթմի կիրառման անհրաժեշտությունը: Մշակվել են սինխրոն մեքենայում ոչ սիմետրիկ ռեժիմների առաջացման մոնիթորինգի ալգորիթմը և համակարգի կառուցվածքային սխեման:

Առանցքային բառեր. ֆազային կարճ միացում, մոնիթորինգ, ալգորիթմ, ներդրանգ, սինխրոն մեքենա:

Ներածություն: Էլեկտրամեխանիկական համակարգերում առաջացող վթարներից խուսափելու համար կարևոր են համակարգի տարբեր հանգույցներում զարգացող անսարքությունների ժամանակին բացահայտումն ու կանխումը: Բարդ համակարգերում ցանկացած անսարքություն կարող է ազդել ամբողջ համակարգի վարքագծի վրա: Արտադրական գործընթացում առաջացող պարզ անսարքությունը կարող է հանգեցնել պահանջվող բնութագրերին չհամապատասխանող արտադրանքի թողարկմանը, շահագործման ծախսերի մեծացմանը, շրջակա միջավայրի վնասների և այլն: Գործող առանձին համակարգում փոքր անսարքության անտեսումը կարող է հանգեցնել աղետալի հետևանքների: Սինխրոն էլեկտրական մեքենաները լայն կիրառություն ունեն արդյունաբերության տարբեր ճյուղերում, և դրանց անվտանգ ու հուսալի շահագործմանը վերաբերող խնդիրների լուծումը առանձնակի գիտագործնական հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Դիտարկվել են սինխրոն մեքենաների անսարքությունների հայտնաբերման մի շարք մոտեցումներ:

Հաստատուն մագնիսով սինխրոն մեքենայի վերլուծական մոդելը թույլ է տալիս մոդելավորել շարժիչի անվանական և անսարք վարքագիծը: Այն ի վիճակի է մոդելավորելու ստեղծված աղավաղումների մի քանի փուլ: Դրանք չեն պահանջում լրացուցիչ նյութ կամ տվիչներ, քանի որ հիմնված են մեքենայի կառավարման համար արդեն վերահսկվող ազդանշանների վրա [1]:

[2] աշխատությունը նկարագրում է հաստատուն մագնիսով շարժիչի էլեկտրական և էլեկտրամագնիսական անսարքությունները և դրանց բացահայտման ընթացակարգը: Մշտադիտարկվում են միայն ֆազային հոսանքները, և vDS-զգայուն դաշտային տրանզիստորների միջոցով հնարավորություն է ստեղծվել՝ ապահովելու ուժային սարքերի պաշտպանությունը: Անսարքության մասին ինֆորմացիան հաղորդվում է կարգավորիչին, և իրականացվում է անսարքության նույնականացման ռեժիմը: Ֆազային հոսանքների մոնիտորինգը թույլ է տալիս ճանաչել սահմանված արժեքներից շեղումները: Անսարք հայտնաբերված ֆազն անջատվում է, և եռաֆազ մեքենան անցնում է երկփուլ աշխատանքային ռեժիմի:

Հայտնի է սինխրոն գեներատորի խափանումների հայտնաբերման անորոշ համակարգի վրա հիմնված սխեման [3]: Այս դեպքում ուղիղ և հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքներն օգտագործվում են որպես անսարքության բացահայտման ցուցիչներ և որպես մուտքային տվյալներ տրվում են անսարքության դետեկտորին: Ստեղծվում է ելքային համակարգ, և գնահատվում է կանոնների բազան՝ բացահայտելով ընթացիկ բաղադրիչը անսարքությունների տեսակի դեպքում:

Գիտական հետաքրքրություն է ներկայացնում [4] հողվածում առաջարկվող եռաֆազ սինխրոն շարժիչի աշխատանքային վիճակի հետազոտման մոդելը: Մոդելն իրականացված է MATLAB ծրագրային միջավայրում, էլեկտրամեխանիկայում լայն կիրառություն ստացած Պարկ-Գորնի հավասարումների հիմքով: Անցումային երևույթների ժամանակ գնահատվել են շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի, ստատորի a,b,c ֆազային հոսանքների, ինչպես նաև ուղիղ և հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքների հարաբերակցությունների փոփոխությունները: Հաստատվել է, որ ցանցի սնման լարման և տեխնոլոգիական մեխանիզմի բեռի մոմենտի փոփոխման պայմաններում ստատորի ֆազային փաթույթներում առաջանում են հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքներ:

Վերջին տարիներին արհեստական նեյրոնային ցանցերի հնարավորություններն ավելի հաճախ են կիրառվում անսարքությունների հայտնաբերմանը վերաբերող խնդիրների լուծման համար [5-8]:

Արհեստական նեյրոցանցի կիրառմամբ էլեկտրամեխանիկական համակարգերի տեխնիկական վիճակների արատորոշման առավել ընդհանրական մոտեցումներ են առաջարկվել [5] աշխատությունում: Համակարգի արատորոշման հիմնական ապարատային տարրը նեյրոնային ցանցային սարքն է, որի ելքից վերցվում են էլեկտրամեխանիկական համակարգի տեխնիկական վիճակների վերաբերյալ որոշումները: Սահմանվել է տեխնիկական պայմանների ներկառուցված արատորոշման համակարգերում նեյրոչիպերի օգտագործման նպատակահարմարությունը: Հիմնավորվել է նեյրոհամակարգիչ և հաղորդիչ հաշվողական

համակարգերի օգտագործման նպատակահարմարությունը այն դեպքում, երբ կո-դավորման, փոխանցման, էլեկտրամեխանիկական համակարգի տեխնիկական պայմանների վերահսկման համար խմբային ազդանշանի հավաքման բլոկը և տեխնիկական վիճակի հսկման, առաջնային մշակման, ապափաթեթավորման և նեյրոնային ցանցի վերլուծության համար խմբային ազդանշան ստանալու բլոկը բաժանված են երկու գոտու: Կատարվել է ուսումնասիրություն բարդ էլեկտրամե-խանիկական համակարգերի արատորոշման համար նեյրոնային ցանցերի ծրագ-րային տարբերակների օգտագործման հնարավորության վերաբերյալ [5]:

Սույն աշխատությունում սինխրոն մեքենայի մոնիթորինգի համար առաջ-նորդվել ենք նրանով, որ ոչ սիմետրիկ ռեժիմները ստատորի փաթույթներում առա-ջացնում են հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքներ, որոնք հանգեցնում են անցանկալի և վթարավտանգ երևույթների առաջացմանը [4]:

- հանգստացնող փաթույթի կամ ռոտորի զանգվածային մասերի կորուստ-ների մեծացում և տաքացում,

- ստատորի և ռոտորի հոսանքների բարձր հարմոնիկներ,

- հոսանքների և լարումների ոչ սինուսոիդալություն՝ պայմանավորված ռոտորի մագնիսական և էլեկտրական ոչ սիմետրիկությամբ:

Եռաֆազ սինխրոն մեքենաներում ոչ սիմետրիկ ռեժիմներն առաջանում են ցանցին հզոր միաֆազ սպառիչի միացման, ինչպես նաև ֆազի կտրման և միա-ֆազ կամ երկֆազ կարճ միացումների դեպքերում [9-11]:

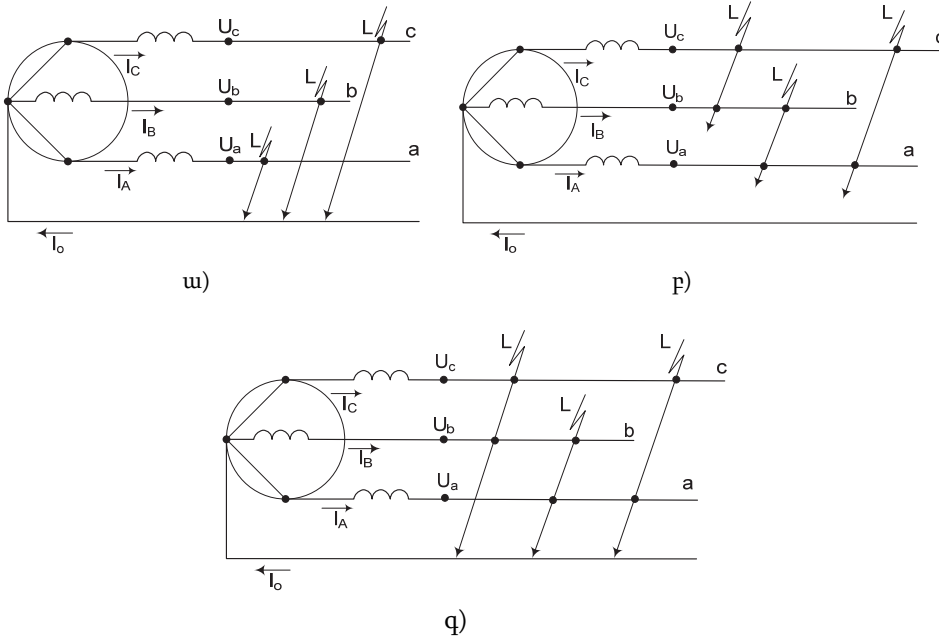
Չնայած նրան, որ միաֆազ և եռաֆազ կարճ միացումները հիմնականում առաջացնում են կարճատև ոչ սիմետրիկություն, այնուամենայնիվ, դրանք ծան-րացնում են էլեկտրական մեքենայի աշխատանքը և կարող են զանազան վթար-ների պատճառ դառնալ:

Կատարված վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ տարբեր տեխնոլո-գիական գործընթացներում օգտագործվող էլեկտրական մեքենաներում առաջա-ցող վթարների կանխմանը միտված հետազոտությունը գիտական հետաքրքրու-թյուն է ներկայացնում, ինչին էլ ուղղված է սույն աշխատանքը:

Աշխատանքի նպատակն է մշակել մոնիթորինգի ալգորիթմ, որը հնարա-վորություն կտա ֆազային կարճ միացումների դեպքում հայտնաբերել եռաֆազ սինխրոն մեքենայի ստատորի փաթույթներում առաջացած ոչ սիմետրիկությունը:

Հետազոտության արդյունքները: Սինխրոն մեքենայի աշխատանքի ընթաց-քում առավել հաճախ ֆազերի բեռի ոչ սիմետրիկությունն առաջանում է ցանցի գծերի միաֆազ և զրոյական լարի միջև, ինչպես նաև երկֆազ կարճ միացումների դեպքում: Սույն աշխատությունում դիտարկվում են եռաֆազ սինխրոն մեքենայի ստատորի փաթույթի աստղաձև միացման համար ուղիղ (I_1), հակառակ (I_2) և զրոյական (I_0) հոսանքները միաֆազ, երկֆազ կարճ միացումների դեպքում:

Նկ. 1-ում ներկայացված են a, b և c ֆազերում միաֆազ և երկֆազ և չեզոքի վրա երկֆազ կարճ միացումների ուսումնասիրման սխեմաները:



Նկ. 1. ա) միաֆազ, բ) երկֆազ, գ) չեզոքի վրա երկֆազ կարճ միացումների հետազոտման սխեմաները

Աղ. 1-3-ում բերված են կարճ միացումների դեպքում ուղիղ, հակառակ և զրոյական հոսանքների հավասարումները:

Աղյուսակ 1

Միաֆազ կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի խարսխի փաթույթի բնութագրական առնչությունները

Միաֆազ կարճ միացումները	Ֆազային հոսանքները և լարումները	I_1, I_2, I_0 հոսանքների հավասարումները
a ֆազում	$I_b = I_c = 0, I_a = 3I_0, U_a = 0$	$I_1 = I_2 = I_0 = I_a/3$
b ֆազում	$I_a = I_c = 0, I_b = 3I_0, U_b = 0$	$I_1 = I_2 = I_0 = I_b/3$
c ֆազում	$I_b = I_a = 0, I_c = 3I_0, U_c = 0$	$I_1 = I_2 = I_0 = I_c/3$

Երկֆազ կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի խարիսխի փաթույթի բնութագրական առնչությունները

Երկֆազ կարճ միացումները	Ֆազային հոսանքները	I_1, I_2, I_0 հոսանքների հավասարումները
cb ֆազերի միջև	$I_b = -I_c, I_a = 0$,	$I_1 = j \frac{I_b}{\sqrt{3}}, I_2 = -j \frac{I_b}{\sqrt{3}}, I_0 = 0$
ba ֆազերի միջև	$I_a = -I_b, I_c = 0$	$I_1 = j \frac{I_a}{\sqrt{3}}, I_2 = -j \frac{I_a}{\sqrt{3}}, I_0 = 0$
ac ֆազերի միջև	$I_c = -I_a, I_b = 0$	$I_1 = j \frac{I_c}{\sqrt{3}}, I_2 = -j \frac{I_c}{\sqrt{3}}, I_0 = 0$

Չեզոքի վրա երկֆազ կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի խարիսխի փաթույթի բնութագրական առնչությունները

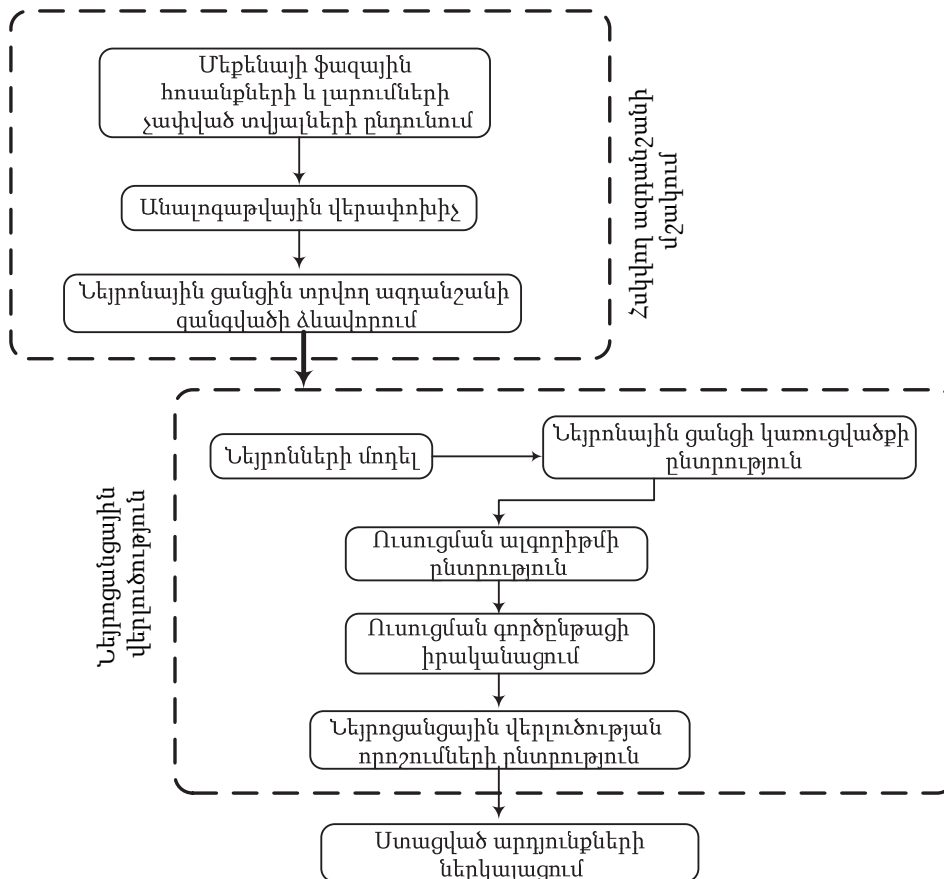
Երկֆազ չեզոքի վրա կարճ միացումները	Ֆազային լարումները և հոսանքները	U_1, U_2, U_0 լարումների հավասարումները
cb ֆազերի միջև	$U_b = U_c = 0, I_a = 0$,	$U_a = 3U_0, U_1 = U_2 = U_0 = \frac{U_a}{3}$
ba ֆազերի միջև	$U_b = U_a = 0, I_c = 0$	$U_c = 3U_0, U_1 = U_2 = U_0 = \frac{U_c}{3}$
ac ֆազերի միջև	$U_a = U_c = 0, I_b = 0$	$U_b = 3U_0, U_1 = U_2 = U_0 = \frac{U_b}{3}$

Աղ.1-3-ում ստացված արդյունքներից հետևում է, որ ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակին բացահայտման համար անհրաժեշտ է իմանալ ֆազային հոսանքների և լարումների արժեքը, ինչը հնարավոր է իրականացնել համապատասխան տվիչների միջոցով: Նեյրոնային ցանցերի օգտագործումը էլեկտրամեխանիկական համակարգի արատորոշման խնդիրներում հեռանկարային է՝ պայմանավորված այն հանգամանքով, որ դրանք կարող են ոչ միայն բացահայտել անսարքությունները, այլ նաև վերահսկել համակարգի աշխատանքը [5-8]: Աշխատանքում առաջարկվող սինխրոն մեքենայի ֆազային կարճ միացումների ստեղծած հետևանքների մոնիթորինգն իրականացվում է նեյրոցանցի կիրառմամբ:

Ստորև ներկայացվում է առաջարկվող մոնիթորինգի համակարգի իրականացման ալգորիթմը:

1. Մինիստրն մեքենայի ֆազային հոսանքների և լարումների չափման համար տեղակայված տվիչներից ստացվող ազդանշանների հավաքագրում:
2. Ստացված անալոգային ազդանշանի թվայնացում և նեյրոցանցային փոխանցման համար պահանջվող ազդանշանի ձևավորում:
3. Նեյրոցանցի կառուցվածքի ընտրություն, հաշվի առնելով, որ նեյրոցանցի մուտքային շերտը պետք է ընդգրկի հսկվող պարամետրերի քանակին համապատասխան նեյրոններ:
4. Նեյրոցանցի ուսուցման ալգորիթմի ընտրություն և իրականացում:
5. Հսկման արդյունքի վերաբերյալ որոշումների ընդունում:
6. Ստացված արդյունքների ներկայացում:

Նկ. 2-ում բերված է ներկայացված ալգորիթմի իրականացման կառուցվածքային սխեման:



Նկ. 2. Մինիստրն մեքենայում ոչ սիմետրիկ ռեժիմների առաջացման մոնիթորինգի համակարգի կառուցվածքային սխեման

Եզրակացություն: Մշակված ալգորիթմը թույլ է տալիս հավաքագրել, գնահատել, դասակարգել սինխրոն մեքենայի ոչ սիմետրիկ ռեժիմները բնութագրող գործոնները և դրանց վարժեցման արդյունքում ընդունել համակարգի վիճակի մասին որոշումներ: Ստացված արդյունքները կարող են հաջողությամբ կիրառվել նաև էլեկտրաբանեցման համակարգի կառավարման համակարգի անխափան աշխատանքի ապահովման համար:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 21T-2B195 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Garance Vinson, Michel Combacau, Thomas Prado.** Synchronous Machine Faults Detection and Diagnosis for Electro-mechanical Actuators in Aeronautics. - 2014. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00925501>
2. **Krautstrunk A.** Fault Detection and Identification for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives/ Synopsis of paper PCIM'99 within topic number IM 7.3.
3. **Selvaganesan N. and Saraswathy Ramya R.** Fuzzy Fault Detection for Permanent Magnet Synchronous Generator // ICTACT Journal on Soft Computing: Special Issue on Fuzzy in Industrial and Process Automation. - 2011. - Vol. 02, issue 1. – P. 224-232.
4. **Baghdasaryan M.K., Ulikyan A.T.** Study of the operating state of a synchronous motor electric drive by means of changes estimation of the stator current behavior // International Review of Electrical Engineering. – 2022. - Vol. 17, N2. - P. 177-184.
5. **Палюх Б.В., Шпрехер Д.М., Богатилов В.Н.** Диагностирование электромеханических систем на основе нейросетевых технологий // Программные продукты и системы. - 2015. - № 3 (111). - С. 5-11.
6. **Горева Т.И., Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А.** Нейросетевые модели диагностики технических систем//Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. - 2012. – Вып. 1(4). - С. 31–43.
7. **Шпрехер Д.М.** Создание программно-аппаратного комплекса для нейросетевой системы диагностирования электромеханических систем горных машин // Изв. вузов: Горный журнал. - 2012. - № 5. - С. 98–101.
8. **Tanvir A.A., Merabet A.** Artificial Neural Network and Kalman Filter for Estimation and Control in Standalone Induction Generator Wind Energy DC Microgrid // Energies.- 2020. – 13. – P.1743.
9. Theoretical Analysis of the Voltage Unbalance Factor to Characterize Unbalance Problems in Induction Motors / **E.C. Quispe, V.S. Santos, I.D. López, et al** // International Review Of Electrical Engineering. - 2021. - Vol. 16, № 1. - P. 8-16.
10. **Pruski P.** Analysis of asymmetrical operating conditions of a power system for different models of synchronous generators // ITM Web Conf. – 2019. - Vol. 28. - P.1-2.

11. **Campbell M., Arce G.** Effect of Motor Voltage Unbalance on Motor Vibration: Test and Evaluation // IEEE Transactions on Industry Applications. - 2018. - Vol. 54, № 1. - P. 905–911.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն: 04.10.2022:

М.К. БАГДАСАРЯН, А.Г. АРАКЕЛЯН, Д.В. ДАВТЯН

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Анализируются возможности мониторинга и выявления неисправностей синхронной машины. Обоснована необходимость применения наиболее эффективного алгоритма, который обеспечивает возможность анализа большого числа данных для реализации мониторинга асимметричных режимов синхронной машины в случае фазных коротких замыканий. Разработаны алгоритм мониторинга возникновения асимметричных режимов в синхронной машине и структурная схема системы.

Ключевые слова: фазное короткое замыкание, мониторинг, алгоритм, нейронная сеть, синхронная машина.

M.K. BAGHDASARYAN, A.G. ARAKELYAN, D.V. DAVTYAN

THE ALGORITHM FOR MONITORING THE ASYMMETRIC MODES OF A THREE-PHASE SYNCHRONOUS MACHINE

The possibilities of monitoring and detecting malfunctions of a synchronous machine are analyzed. The necessity of using the most effective algorithm, which provides the possibility of analyzing a large number of data for monitoring the asymmetric modes of a synchronous machine in the case of phase short circuits is substantiated. An algorithm for monitoring the occurrence of asymmetric modes in a synchronous machine and a block diagram of the system have been developed.

Keywords: phase short circuit, monitoring, algorithm, neural network, synchronous machine.

Կ.Հ. ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ԲԱԿՈՒՆՑ

**ՌԵԼԻԵՖԱՑԻՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԱՆՀՐԱԺԵՇՏ
ԱՆԱԼԻՏԻԿԱԿԱՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ**

Դուրս են բերված այն ձևափոխության անալիտիկ բանաձևերը, որի միջոցով տարածության ցանկացած օբյեկտը (բնօրինակը) ճշտորեն արտապատկերվում է իր ռելիեֆային հեռանկարին (կերպարին): Այդ բանաձևերով կապ է հաստատվում բնօրինակի յուրաքանչյուր կետի և կերպարի վրա այդ կետին համապատասխանող կետի դեկարտյան կոորդինատների միջև:

Առանցքային բառեր. պրոյեկտիվ արտապատկերում, ձևափոխություն, անիսկական կետեր, կերպար, հարթություն, ճառագայթ, կրկնակի տարրեր:

Ներածություն: Մեր երկրի տնտեսության մակարդակը բարձրացնելու համար այսօր որպես առաջնահերթ խնդիր է դիտվում ինֆորմատիկայի, հաշվողական տեխնիկայի հնարավորությունների լայն կիրառումը և ավտոմատացումը գործունեության բոլոր բնագավառներում: Այս խնդրի լուծման համար անհրաժեշտ է արագացնել գիտահետազոտական և փորձարարական-կոնստրուկտորական աշխատանքների տեմպերը և ավելի արդյունավետ դարձնել գիտության ձեռքբերումների ներդրումը տնտեսության մեջ:

Վերոհիշյալ խնդրի լուծման ուղղություններից մեկը ավտոմատացված նախագծման և արտադրության համակարգերի ստեղծումն է, որը հնարավոր չէ պատկերացնել՝ առանց կիրառելու համակարգչային գրաֆիկայի ձեռքբերումներն ու ժամանակակից հնարավորությունները: Ներկայումս նախագծերի ստեղծման համար նախագծողների աշխատանքի հիմնական լեզուն կամ միջոցը գրաֆիկական մոդելն է, լինի դա կառուցված թղթի վրա, թե համակարգչի էկրանին: Նախագծման գործընթացում ստեղծվում են օբյեկտների մոդելներ, որոնք նախագծման տարբեր փուլերում կարող են իրարից տարբերվել իրենց բովանդակային մակարդակներով: Սակայն ինչպիսի բովանդակություն էլ վեցնելու լինենք, միևնույնն է, տվյալների ներկայացման ամենալավ եղանակը գրաֆիկականն է: Դժվար է պատկերացնել նախագծման այնպիսի բնագավառ, որտեղ նախագծողը չի օգտագործում գրաֆիկական այս կամ այն միջավայրը:

Նախագծման միջավայրի փոփոխությունը՝ գրաֆիկական ինֆորմացիայի մշակման ավանդական միջոցներից համակարգչայինին անցումը, ծնում է

աշխատանքի նոր տեխնոլոգիաներ: Նախ և առաջ դա օբյեկտի մոդելի գործնական-
նորեն ակնթարթային հասանելիությունն է և նախագծման տարբեր փուլերում
այդ մոդելի ամենահարմար ներկայացման ձևի ընտրության հնարավորությունը:
Օրինակ, օբյեկտի ձևը նախագծելիս փոխհարաբերության ամենալավ եղանակը
կլինի աշխատանքը օբյեկտի եռաչափ մոդելով, քանի որ այս դեպքում հնարավո-
րություն է ընձեռվում օբյեկտը դիտարկել զանազան դիտակետերից, ներառելով
նաև նրա գույնը, նյութը, որոնք նպաստում են ճշտորեն որոշելու օբյեկտը բնու-
թագրող առանձնահատկությունները:

Գրաֆիկական ինֆորմացիայի մշակման համակարգչային եղանակի կարևո-
րագույն առանձնահատկությունն այն է, որ այս դեպքում հնարավոր է ավտոմատ
ռեժիմում ձևափոխել նախագծվող օբյեկտի երկրաչափական մոդելը՝ ավտոմա-
տացված նախագծման այս կամ այն համակարգի տարբեր ենթահամակարգերում
այն արտապատկերելու և օգտագործելու նպատակով:

Այս հնարավորությունը թույլ է տալիս՝ անցնելու նախագծման համակար-
գերի, արտադրության տեխնոլոգիական նախապատրաստման և բուն արտադրու-
թյան համատեղման նոր, հեռանկարային մեթոդաբանությանը՝ միասնական
տվյալների բազայի հիման վրա, որի կենտրոնում է գտնվում նախագծվող և ար-
տադրվող օբյեկտի մոդելը, որի բովանդակությունն են կազմում գրաֆիկական կամ
երկրաչափական տվյալները:

Ավտոմատացված նախագծման համակարգերում կարելի է առանձնացնել
գրաֆիկական համակարգերի կառուցման երկու ձևեր.

- գծագրի վրա կողմնորոշված,
- օբյեկտի վրա կողմնորոշված:

Գծագրի վրա կողմնորոշված համակարգերն ապահովում են գծագրա-կոնստ-
րուկտորական փաստաթղթերի ստեղծման համար անհրաժեշտ բոլոր պայման-
ները: Այսպիսի համակարգերում ստեղծվում է ոչ թե օբյեկտը (մոդելը), այլ գրա-
ֆիկական փաստաթուղթը:

Ավտոմատացված նախագծման համակարգերի գրաֆիկական համակար-
գերի էվոլյուցիան այսօր հանգեցրել է նրան, որ գծագրի վրա կողմնորոշված հա-
մակարգերն աստիճանաբար կորցնում են իրենց նշանակությունը: Իսկ օբյեկտի
վրա կողմնորոշված համակարգերը հեռանկարային են համարվում այն ավտո-
մատացված նախագծման համակարգերի համար, որոնք ունեն անմիջական ելք
դեպի ավտոմատացված արտադրությունը:

Ներկայումս օբյեկտի վրա կողմնորոշված գրաֆիկական համակարգերում,
որոնց շուկան բավականին լայն է, հիմնականում լուծված են օբյեկտի երկրաչա-
փական, ինչպես նաև նյութական և գունեղանգային մոդելավորման խնդիրները:
Լուծված են նաև մոդելների տարբեր տեսքերի, այդ թվում՝ նաև հեռանկարային

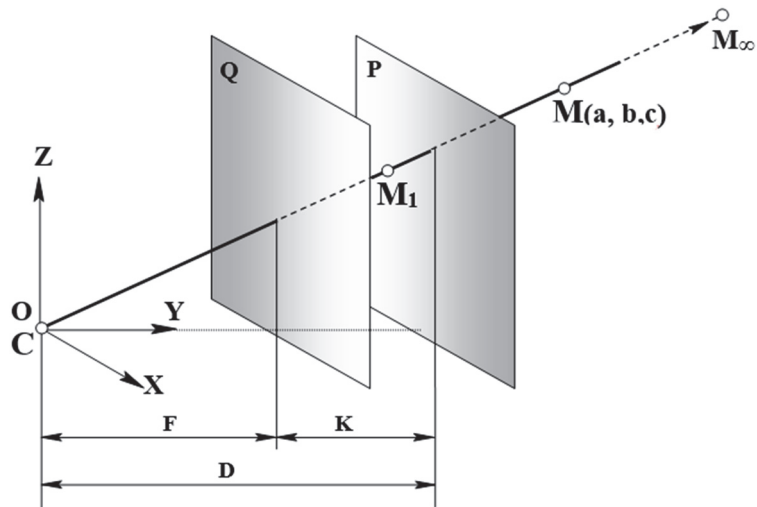
տեսքերի ստացման հետ կապված խնդիրները: Մասամբ լուծված են մոդելի ձևափոխման խնդիրները: Մոդելը կարելի է տեղաշարժել, պտտել, փոփոխել նրա մասշտաբը, սեղմել և ձգել: Սրանք գծային աֆինական ձևափոխություններ են:

Մասնավորապես լուծված չէ այն խնդիրը, որը թույլ կտար ստանալու օբյեկտի այսպիսի ծավալային եռաչափ մոդելը, որը տեղավորվեր տարածության նախապես առաջադրված երկու մակերևույթներով սահմանափակված նեղ շերտի մեջ և տարածության որևէ կետում գտնվող դիտողի մեջ առաջացներ իրական օբյեկտի տպավորությունը:

Օբյեկտի այսպիսի ծավալային (ռելիեֆային) կերպարը կոչվում է ռելիեֆային հեռանկար, որը կարելի է ստանալ օբյեկտի կենտրոնական պրոյեկտիվ երկրաչափական ձևափոխության միջոցով:

Կոորդինատների ձևափոխության բանաձևերը: Բանաձևերի դուրսբերման համար նախ օգտվենք ռելիեֆային հեռանկարի սահմանումից (դրան ներկայացվող պահանջներից):

Դեկարտյան կոորդինատների սկզբնակետը համատեղենք C դիտակետի հետ, իսկ Y առանցքը դասավորենք ուղղահայաց այն Q և P հարթություններին, որոնցով սահմանափակված տարածության շերտում պետք է ստացվի ռելիեֆային հեռանկարը (նկ.1):



Նկ. 1. Ռելիեֆային հեռանկարի կառուցումը դեկարտյան համակարգում

Դիտարկենք տարածության կամայական $M(a, b, c)$ կետը: Այս կետի M_1 կերպարը պետք է տեղավորվի Q և P հարթությունների միջև և դասավորվի դիտակետով անցնող CM ճառագայթի վրա (բնօրինակը և նրա կերպարը դիտողի մեջ պետք է առաջացնեն նույն տպավորությունը):

SM ճառագայթի բոլոր կետերը, այդ թվում՝ նաև նրա **M_∞** անիսկական (անվերջ հեռու) կետը, կարելի է նկարագրել **a, b, c** մեծություններով՝ մեկ փոփոխական **U** պարամետրի միջոցով (**a, b, c, U**): Այդ կետերի դեկարտյան կոորդինատները կորոշվեն հետևյալ բանաձևերով՝

$$x = \frac{a}{U}, Y = \frac{b}{U}, Z = \frac{c}{U}, \quad (1)$$

որտեղ **U** պարամետրը փոփոխվում է **0 ... ∞**: Այս պարամետրի **0** արժեքի դեպքում որոշվում է **CM** ճառագայթի **M_∞** անիսկական կետը, իսկ **∞** արժեքի դեպքում՝ **C** սկզբնակետը:

M կետի **M₁** կերպարը նկարագրենք **U₁** պարամետրի միջոցով՝ (**a, b, c, U₁**): Նրա դեկարտյան կոորդինատները կորոշվեն հետևյալ բանաձևերով՝

$$x_1 = \frac{a}{U_1}, Y_1 = \frac{b}{U_1}, Z_1 = \frac{c}{U_1}, \quad (2)$$

որտեղ պարամետրը ևս կարող է փոփոխվել **0 ... ∞**:

M և **M₁** կետերի համապատասխանության օրենքը (կամ, որ նույնն է, տարածության ձևափոխությունը) կարելի է հաստատել՝ առաջադրելով **U** և **U₁** պարամետրերի միջև կապ հաստատող **U₁ = f(U)** ֆունկցիան: Քանի որ արդեն գիտենք, որ ռելիեֆային հեռանկարի ստացման համար կիրառվող ձևափոխությունը պետք է զծային լինի, ուստի այս ֆունկցիան կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$U_1 = mU + n: \quad (3)$$

Այս ֆունկցիայի **m** և **n** գործակիցները որոշելու համար պետք է օգտագործել ռելիեֆային հեռանկարի ստացման համար անհրաժեշտ նախնական պայմանները: Դիտարկենք նախնական պայմանների առաջադրման երկու դեպք.

1. Տրվում են ռելիեֆի շերտի սահմանային **P** հարթության **D** հեռավորությունը **C** դիտակետից և շերտի **K** հաստությունը (նկ. 1):

Անշարժ կետերի **α** հարթության հեռավորությունը դիտակետից կլինի՝

$$F = D - K: \quad (4)$$

Այս դեպքում տարածության անիսկական կետերի (**U = 0**) կերպարները պետք է դասավորվեն **β** հարթության մեջ, այսինքն՝ **U = 0** - ի դեպքում **Y₁ = D**,

և (2) - ից ստանում ենք՝ **U₁ = $\frac{b}{D}$** :

Պարամետրերի այս արժեքները տեղադրելով (3) -ի մեջ, ստանում ենք՝

$$n = \frac{b}{D}: \quad (5)$$

Եթե բնօրինակ-կետը դասավորված է Q հարթության մեջ՝ $Y = F$ և $U = \frac{b}{F}$,
 ապա այս դեպքում նրա կերպարը համընկնում է այդ կետին՝ $Y_1 = F$ և $U_1 = \frac{b}{F}$:
 Պարամետրերի այս արժեքները տեղադրելով (3) –ի մեջ, ստանում ենք՝

$$\frac{b}{F} = m \frac{b}{F} + \frac{b}{D}, m = \frac{D-F}{D} \text{ կամ } m = \frac{K}{D},$$

և գործակիցների արժեքները տեղադրելով (3) – ի մեջ՝ ստանում ենք որոնելի ֆունկցիայի վերջնական տեսքը՝

$$DU_1 = KU + b : \quad (6)$$

(1), (2) և (6) – ից ստանում ենք որոնելի ձևափոխության հետևյալ անալի-
 տիկ բանաձևերը՝ արտահայտված դեկարտյան կոորդինատներով.

Բնօրինակ $\rightarrow$ կերպար Կերպար $\rightarrow$ բնօրինակ

$$\begin{cases} X_1 = \frac{DX}{Y+K} \\ Y_1 = \frac{DY}{Y+K} \\ Z_1 = \frac{DZ}{Y+K} \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} X = \frac{KX_1}{D-Y_1} \\ Y = \frac{KY_1}{D-Y_1} \\ Z = \frac{KZ_1}{D-Y_1} \end{cases}: \quad (8)$$

(7) հավասարումներից բխում է, որ կերպարի Y_1 կոորդինատը սահմանա-
 փակ մեծություն է և չի գերազանցում D մեծությանը: Իրոք՝

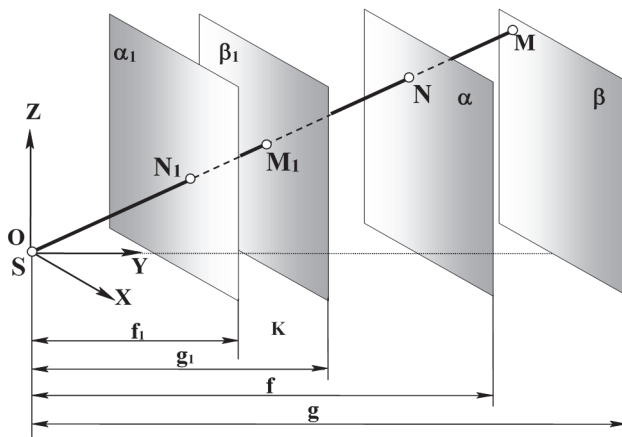
$$\text{Եթե } Y \rightarrow \infty, \text{ ապա } Y_1 = \frac{DY}{Y+K} = \lim_{Y \rightarrow \infty} \frac{D}{1 + \frac{K}{Y}} = D :$$

Սա նշանակում է, որ տարածության ցանկացած օբյեկտի ռելիեֆային հեռա-
 նկարն իրոք տեղավորվում է նախապես առաջադրված K հաստությամբ շերտի մեջ:

(8) հավասարումներից բխում է, որ $Y_1 = D -$ ի դեպքում բնօրինակի բոլոր
 կոորդինատները հավասարվում են անվերջության: Սա նշանակում է, որ իրոք
 տարածության բոլոր անիսկական կետերի կերպարները դասավորվում են β սահ-
 մանային հարթության մեջ:

(7) և (8) հավասարումներից կարելի է համոզվել, որ $Y = (D - K) = F$ դեպքում ստացվում է $Y_1 = Y$: Այսինքն բնօրինակ-օբյեկտի բոլոր այն կետերը, որոնք դասավորված են Q հարթության մեջ, ձևափոխության ժամանակ մնում են իրենց տեղերում:

2. Տրվում են բնօրինակ-օբյեկտի երկու զուգահեռ հարթությունների (α և β) հեռավորությունները դիտակետից (g և f) և դրանց կերպարների (α_1 և β_1) հեռավորությունները (g_1 և f_1) նույն դիտակետից (սկ. 2):



Նկ. 2. Բնօրինակ-օբյեկտների և դրանց կերպարների կառուցումը

Այս դեպքում ձևափոխությունը որոշող հավասարումները ստանալու համար բավական է (7) հավասարումներում առկա K և D մեծություններն արտահայտել g, g_1, f և f_1 մեծություններով: Դրա համար բավական է տեղադրել $Y = g \rightarrow Y_1 = g_1$ և $Y = f \rightarrow Y_1 = f_1$ արժեքները (7) – ի երկրորդ հավասարման մեջ:

$$\text{Լուծելով} \begin{cases} g_1 = \frac{Dg}{g+K} \\ f_1 = \frac{Df}{f+K} \end{cases} \text{ համակարգը, ստանում ենք } D \text{ և } K \text{ մեծությունների}$$

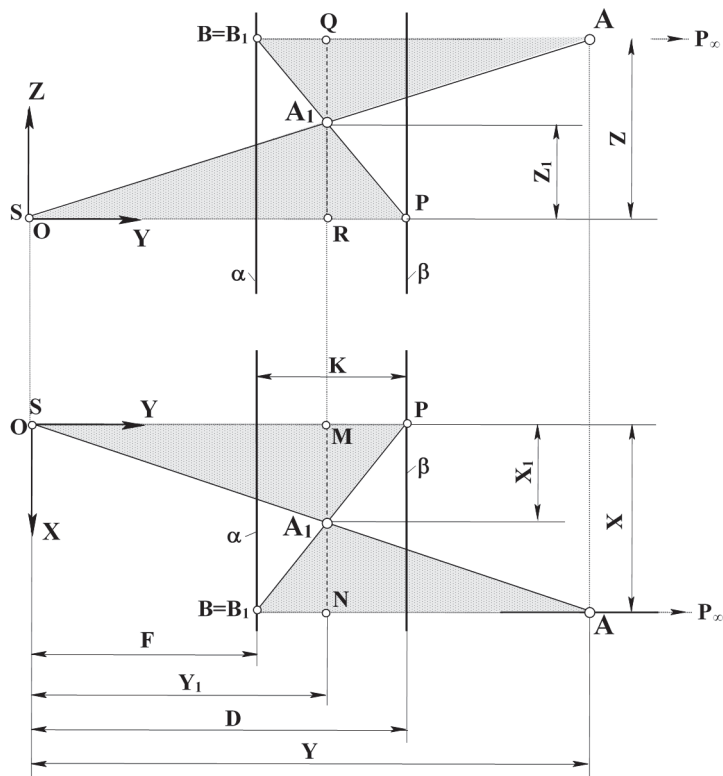
հետևյալ արժեքները, որոնք արտահայտված են տվյալ դեպքի համար անհրաժեշտ և նախապես առաջադրված g, g_1, f, f_1 մեծություններով՝

$$K = \frac{fg(f_1 - g_1)}{fg_1 - f_1g}, D = \frac{f_1g_1(f - g)}{fg_1 - f_1g} : \quad (9)$$

Այսպիսով, դիտարկվող դեպքում անհրաժեշտ ձևափոխությունն իրականացնելու համար բավական է օգտագործել (7) և (8) հավասարումները՝ նրանցում տեղադրելով D և K մեծությունների արժեքները, որոնք որոշվում են (9) հավասարումներով [1-3]:

Այժմ ռելիեֆային հեռանկարի ստացման համար անհրաժեշտ կոորդինատների ձևափոխման վերևում դուրսբերված բանաձևերի ճշտությունը ստուգելու նպատակով ստանանք այդ նույն բանաձևերը՝ օգտագործելով երկրաչափական ալգորիթմը:

Տարածության կամայական A կետի ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման երկրաչափական ալգորիթմը պատկերենք երկու տեսքերի (պրոյեկցիաների) միջոցով (նկ. 3):



Նկ. 3. Կետի ռելիեֆային հեռանկարի կառուցումը տեսքերի միջոցով

Հորիզոնական պրոյեկցիայի վրա դիտարկենք SMA_1 և ANA_1 եռանկյունները: Ելնելով այս եռանկյունների նմանությունից՝ ստանում ենք.

$$\frac{SM}{AN} = \frac{MA_1}{A_1N}, \text{ կամ } \frac{Y_1}{Y-Y_1} = \frac{X_1}{X-X_1} : \quad (10)$$

Դիտարկելով SPA_1 և AA_1B եռանկյունների նմանությունը, ստանում ենք՝

$$\frac{SP}{AB} = \frac{MA_1}{A_1N}, \text{ կամ } \frac{D}{Y-F} = \frac{X_1}{X-X_1} : \quad (11)$$

Հորիզոնական պրոյեկցիայի վրա դիտարկենք **ABA₁** և **SPA₁** եռանկյունները: Ելնելով այս եռանկյունների նմանությունից՝ ստանում ենք.

$$\frac{AB}{SP} = \frac{QA_1}{A_1 R}, \text{ իսկ } \frac{Y-F}{D} = \frac{Z-Z_1}{Z_1} : \quad (12)$$

(10), (11), (12) հավասարումները համատեղ լուծելով, ստանում ենք ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման համար անհրաժեշտ կոորդինատների ձևափոխման հետևյալ անալիտիկ բանաձևերը [4-6].

Բնօրինակ $\rightarrow$ կերպար՝

$$\begin{cases} X_1 = \frac{DX}{Y+k} \\ Y_1 = \frac{DY}{Y+k} \\ Z_1 = \frac{DZ}{Y+K} \end{cases}, \quad (13)$$

Կերպար $\rightarrow$ բնօրինակ՝

$$\begin{cases} X = \frac{KX_1}{D-Y_1} \\ Y = \frac{KY_1}{D-Y_1} \\ Z = \frac{KZ_1}{D-Y_1} \end{cases}: \quad (14)$$

Եզրակացություն: Այսպիսով, ստացված բանաձևերը համընկնում են (7) և (8) բանաձևերի հետ, որոնք դուրս էին բերված անկախ ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման երկրաչափական ալգորիթմից: Սա նշանակում է, որ դուրս բերված բանաձևերը կարելի է օգտագործել եռաչափ տարածության օբյեկտների ռելիեֆային հեռանկարների կառուցման գործընթացի ավտոմատացման համար:

Անհրաժեշտ է նշել նաև, որ դուրս բերված բանաձևերը հանդիսանում են սովորական հարթ գծային հեռանկարի ստացման համար կիրառվող բանաձևերի ընդհանրացումը: Հարթ գծային հեռանկարի կառուցման բանաձևերը ստացվում են այստեղ դուրս բերված (13) և (14) բանաձևերից, եթե դրանցում մասնակից **K** մեծությունը (ռելիեֆային հեռանկարի անշարժ և սահմանային հարթությունների հեռավորությունը, կամ, որ նույնն է, ռելիեֆի հաստությունը) հավասարվում է զրոյի:

K մեծությանը կարելի է վերագրել նաև բացասական արժեքներ: Այդ դեպքում ռելիեֆի սահմանային հարթությունը կդասավորվի դիտողին ավելի մոտ, քան անշարժ կետերի հարթությունը, և արդյունքում կստանանք հակադարձ (սիմետրիկ) հեռանկար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Согомонян К.А.** Линейно-конструктивные методы формообразования (геометрическое моделирование). – Ереван: Айастан, 1990. – 214 с.
2. **Глаголев Н.А.** Проективная геометрия. – М.: Высшая школа, 1963. – 268с.
3. **Джапаридзе И.С.** Конструктивные отображения проективных преобразований пространства. – Тбилиси: Изд-во ГПИ, 1964. – 327 с.
4. **Берже М.** Геометрия: Пер. с франц. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. - 560 с.
5. **Берже М.** Геометрия: Пер. с франц. – М.: Мир, 1984. – Т. 2. - 368 с.
6. **Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т.** Современная геометрия: Методы и приложения. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 760 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 16.07.2022:

К.А. СОГОМОНЯН, М.Г. БАКУНЦ

ПОЛУЧЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ

Выведены аналитические формулы преобразования, посредством которых любой объект в пространстве (оригинал) точно передается в его рельефную перспективу (изображение). С помощью этих формул устанавливается связь между каждой точкой оригинала и декартовыми координатами соответствующей точки на фигуре.

Ключевые слова: проективное изображение, преобразование, несобственные точки, образ, плоскость, луч, двойные элементы.

K.H. SOGHOMONYAN, M.G. BAKUNTS

OBTAINING THE NECESSARY ANALYTICAL FORMULAE FOR THE CONSTRUCTION OF A RELIEF VIEW

Let us derive the analytical formulae of the transformation through which any object in space (the original) is accurately rendered to its relief perspective (the image). With the help of these formulae, a connection is established between each point of the original and the Cartesian coordinates of the corresponding point on the image.

Keywords: projective reflection, transformation, pointless points, image, plane, ray, double elements.

Ա.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒՂԱՎԵՐՂՅԱՆ

ԲԶՋԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԲԱՇԽԻՉ ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ԳԾԵՐԻ ՎՐԱ
ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Առաջարկվել է բջջային կապի համակարգերի էներգածախսի և էներգաարդյունավետության գնահատման մաթեմատիկական մոդել, որը հաշվի է առնում բաշխիչ տրանսպորտային գծերի վրա հնարավոր էներգետիկական կորուստները: Ցույց է տրվել, որ այդ կորուստները կախված են ազդանշանների հաղորդման կիրառվող տեխնոլոգիայից (օպտիկամանրաթելային, միկրոալիքային), տոպոլոգիական լուծումներից (աստղաձև, ծառաձև, օղակաձև) և համակարգի թողունակությունից:

Առանցքային բառեր. բջջային կապ, բազային կայան, էներգածախս, էներգաարդյունավետություն, տրանսպորտային գիծ:

Ներածություն: Պատմականորեն հեռահաղորդակցական բնագավառում մեծ տեղ է հատկացվել բջջային հեռախոսակապի համակարգերի այն խնդիրներին, որոնք միտված են մատուցվող ծառայությունների որակի բարձրացմանը, պահանջարկի ապահովմանը և ընկերությունների շահույթի մեծացմանը: Այդ իսկ պատճառով իրականացվող ներդրումները, նորարարական աշխատանքները և գիտակիրառական հետազոտությունները հիմնականում ուղղված էին համակարգի այն ֆունկցիոնալ պարամետրերի բարելավմանը, որոնք ապահովում էին մեծ ծավալով տվյալների հաղորդում, առավելագույն սպեկտրային արդյունավետություն և փոքր հապաղման ժամանակներ: Մյուս կողմից՝ ժամանակակից բջջային հեռախոսակապի համակարգերի շահագործման ընդհանուր ծախսերի մեջ էներգածախսի մեծ կշիռը (15...20%), ինչպես նաև էներգառեսուրսների գնի և էներգածախսի շարունակական աճը, էներգաարդյունավետության խնդիրը դարձրել են արդիական [1, 2]:

Բջջային հեռախոսակապի համակարգերի ընդհանուր էներգածախսը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [3].

$$P_{total} = \sum_i^m n_i P_{BS_i} + P_{BH}, \quad (1)$$

որտեղ m -ը բազային կայանների (BS) տիպերի քանակն է համակարգում, n_i -ն՝ i տիպի BS-ների քանակը, P_{BS_i} -ն՝ i տիպի BS-ների էներգածախսը, P_{BH} -ն՝ բաշխիչ տրանսպորտային գծերի (Backhaul) վրա էներգետիկական կորուստները:

Էներգաարդյունավետության գնահատման համար կիրառվում է ծածկույթի «մակերեսի էներգածախս» (Area Power Consumption) ցուցանիշը [4-6].

$$APC_{total} = \frac{P_{total}}{\sum_i^m n_i A_{C_i}}, \quad (2)$$

որտեղ A_{C_i} -ն i տիպի BS-ների ծածկույթի (ազդեցության գոտու) մակերեսն է:

Գրականությունում բջջային հեռախոսակապի համակարգերի ընդհանուր էներգածախսը և էներգաարդյունավետությունը գնահատելիս, որպես կանոն, անտեսվում են տրանսպորտային զծերով պայմանավորված էներգետիկական կորուստները [7-11]: Դա բացատրվում է այն հանգամանքով, որ խոշոր BS-ների (macroBS) դեպքում տրանսպորտային զծերի ներդրումը ընդհանուր էներգածախսում աննշան է: Մյուս կողմից՝ ժամանակակից բջջային հեռախոսակապի համակարգերում, մասնավորապես, հետերոգեն ցանցերում (Heterogeneous Network - HetNet), բազմաքանակ փոքր BS-ների (microBS, picoBS, femtoBS) կիրառումը կարող է հանգեցնել նշված էներգետիկական կորուստների զգալի մեծացմանը:

Աշխատանքում վերլուծվել է բջջային հեռախոսակապի համակարգերի էներգաարդյունավետությունը՝ հաշվի առնելով բաշխիչ տրանսպորտային զծերի վրա էներգետիկական կորուստները:

Հաշվարկային մոդելը: BS-ների էներգածախսը գնահատվել է ստորև բերված հաշվարկային արտահայտությամբ [8].

$$P_{BS} = N_S \frac{\frac{N_{Tx} P_{out}}{\eta_{PA}(1-\delta_F)} + N_{Tx} P_{RF} + f P_{BB}}{(1-\delta_{MS})(1-\delta_{Cool})} + \frac{P_{AC-DC}}{\eta_{AC-DC}} + \frac{P_{DC-DC}}{\eta_{DC-DC}} + P_{PS}, \quad (3)$$

որտեղ N_S -ը և N_{Tx} -ը համապատասխանաբար սեկտորների և ալեհավաքների թվաքանակն է, P_{RF} -ն, P_{BB} -ն, P_{AC-DC} -ն և P_{DC-DC} -ն՝ համապատասխանաբար հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգի, թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման, լարման փոխակերպիչի և կարգավորիչի դրվածքային հզորությունները, P_{PS} -ն՝ փոփոխական հոսանքի սպառիչների գումարային հզորությունը, δ_{MS} -ն և δ_{Cool} -ը՝ համապատասխանաբար հաղորդման զծերի վրա և լրացուցիչ հովացմամբ պայմանավորված կորուստները, η_{AC-DC} -ն և η_{DC-DC} -ն՝ համապատասխանաբար լարման փոխակերպիչի և կարգավորիչի օ.գ.գ.-ները, f -ը բնութագրում է թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման թվաքանակը մեկ սեկտորում ($f \in [N_{Tx}, 1]$):

Դիտարկվել է ազդանշանների հաղորդման երկու տեխնոլոգիա՝ միկրոալիքային (Microwave – MW) և օպտիկամանրաթելային (Fiber – Fib): Առաջին դեպքում էներգածախսի (1) բանաձևը կունենա այսպիսի տեսք.

$$P_{total} = \sum_i^m n_i P_{BS_i} + P_{BH}^{MW}, \quad (4)$$

որտեղ P_{BH}^{MW} բաղադրիչը կարող է մոդելավորվել հետևյալ կերպ.

$$P_{BH}^{MW} = P_{Sink} + \sum_j^{N_{BS}} P_j^{MW}. \quad (5)$$

Այս արտահայտությունում P_{Sink} -ը ընդունիչ (Sink) հանգույցի էներգածախսն է, P_j^{MW} -ն՝ միկրոալիքային տրանսպորտային զծերով j -րդ BS-ի վերահաղորդման գործողությունների իրականացման համար էներգածախսը, N_{BS} -ը՝ տարբեր տիպի BS-ների ընդհանուր քանակը: P_j^{MW} -ն կարող ենք արտահայտել երկու բաղադրիչով՝ կախված միկրոալիքային ալեհավաքների N_j^{Tx} քանակից և միկրոալիքային տրանսպորտային զծերով հաղորդվող $\mathbf{x}_j$ թրաֆիկի մեծությունից.

$$P_j^{MW} = P_{j,agg}(\mathbf{x}_j) + P_{Switch}(N_j^{Tx}, \mathbf{x}_j), \quad (6)$$

որտեղ

$$P_{j,agg}(\mathbf{x}_j) = \begin{cases} P_{Low}, & \text{երբ } \mathbf{x}_j \geq T h_{Low}, \\ P_{High}, & \text{երբ } \mathbf{x}_j < T h_{Low}, \end{cases}$$

$$P_{Switch}(N_j^{Tx}, \mathbf{x}_j) = \begin{cases} 0, & \text{երբ } N_j^{Tx} = 1, \\ P_s \left[\frac{\mathbf{x}_j}{\mathbf{x}_{Switch}^{Max}} \right], & \text{երբ } N_j^{Tx} > 1: \end{cases}$$

Այստեղ $P_{j,agg}(\mathbf{x}_j)$ -ը դիտարկվում է թրաֆիկի 2 ծայրահեղ վիճակի դեպքում ($T h_{Low}$ -ից ցածր և բարձր), իսկ $P_{Switch}(N_j^{Tx}, \mathbf{x}_j)$ -ում հաշվի է առնված կոմուտատորի էներգածախսը՝ P_s : Բնականաբար, վերջինս կիրառվում է այն դեպքերում, երբ միկրոալիքային ալեհավաքների թվաքանակը երկու և ավելի է:

Նմանատիպ դատողություններով էլ որոշվում է ընդունիչ հանգույցի էներգածախսը՝

$$P_{Sink} = P_{Sink,agg}(\mathbf{x}_{Sink}) + P_{Sink.Switch}(N_{Sink}^{Tx}, \mathbf{x}_{Sink}), \quad (7)$$

որտեղ

$$P_{Sink,agg}(\mathbf{x}_{Sink}) = \begin{cases} P_{Low}, & \text{երբ } \mathbf{x}_{Sink} \geq T h_{Low}, \\ P_{High}, & \text{երբ } \mathbf{x}_{Sink} < T h_{Low}; \end{cases}$$

$$P_{Sink.Switch}(N_{Sink}^{Tx}, \mathbf{x}_{Sink}) = \begin{cases} 0, & \text{երբ } N_{Sink}^{Tx} = 1, \\ P_s \left[\frac{\mathbf{x}_{Sink}}{\mathbf{x}_{Sink}^{Max}} \right], & \text{երբ } N_{Sink}^{Tx} > 1: \end{cases}$$

Օպտիկամանրաթելային տրանսպորտային զծերի դեպքում էներգածախսի (1) բանաձևը կունենա այսպիսի տեսք.

$$P_{total} = \sum_i^m n_i P_{BS_i} + P_{BH}^{Fib}, \quad (8)$$

որտեղ P_{BH}^{Fib} բաղադրիչը, համաձայն [3] աշխատանքի, կարող է մոդելավորվել հետևյալ կերպ.

$$P_{BH}^{Fib} = \left[\frac{1}{N_{Switch}^{Max}} (\sum_i^m n_i) \right] P_s + (\sum_i^m n_i) P_{dl} + N_{ul} P_{ul}: \quad (9)$$

Այստեղ P_{dl} -ը տրանզիտային “ի վար” թրաֆիկի ընդունման համար կոմուտատորի էներգածախսն է, N_{ul} -ը և P_{ul} -ը՝ “ի վեր” ինտերֆեյսերի համապատասխանաբար թվաքանակը և դրանց էներգածախսը:

Էներգաարդյունավետության գնահատման համար ծածկույթի մակերեսը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [9].

$$A_{c_i} = \frac{3\sqrt{3}}{2} r_{max_i}^2, \quad (10)$$

որտեղ r_{max} -ն i տիպի BS-ների ծածկույթի առավելագույն շառավիղն է:

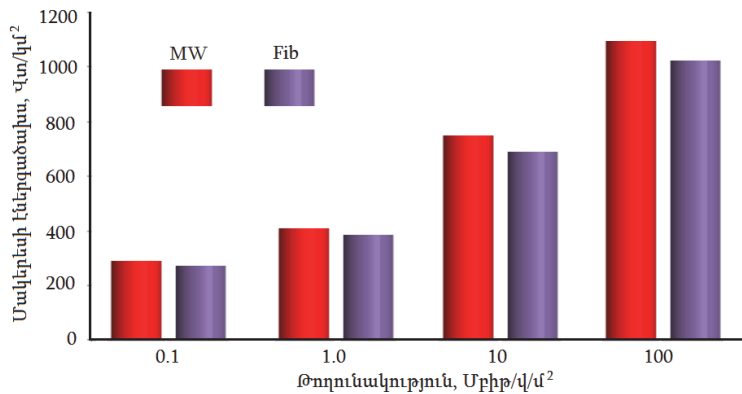
Վերլուծության արդյունքները: Դիտարկվել է միևնույն թողունակություն և ծածկույթ ապահովող երկու իրավիճակ: Առաջինի դեպքում բջջային հեռախոսակապի համակարգը կառուցված է միայն macroBS-ներով, իսկ երկրորդ դեպքում այն ընդգրկում է macro, micro և pico-BS-ներ: Յուրաքանչյուր իրավիճակի համար կայանների քանակը որոշվել է՝ ելնելով տվյալ ծածկույթի համար անհրաժեշտ թողունակության ապահովելու պահանջից՝ «Atoll» լիցենզավորված ծրագրային հարթակի միջոցով [12]:

Որպես ելակետային դիտարկվել են [8] աշխատանքում բերված macro, micro և pico-BS-ների տեխնիկական ցուցանիշները և էներգածախսը, իսկ այդ կայանների ծածկույթի շառավիղը ընդունվել են համապատասխանաբար $r_{max}=4000, 1000$ և 300 մ: P_{BH}^{MW} -ի և P_{BH}^{Fib} -ի հաշվարկի համար օգտագործվել են Ericsson ընկերության բջջային կապի համակարգերի հետևյալ տվյալները [13].

- միկրոալիքային տրանսպորտային գծերի դեպքում. $Th_{Low}=500$ Մբ/ս/վ, $N_{Switch}^{Max}=36$ Գբ/ս/վ, $P_{Low}=36$ Վտ, $P_{High}=92.5$ Վտ, $P_s=53$ Վտ,

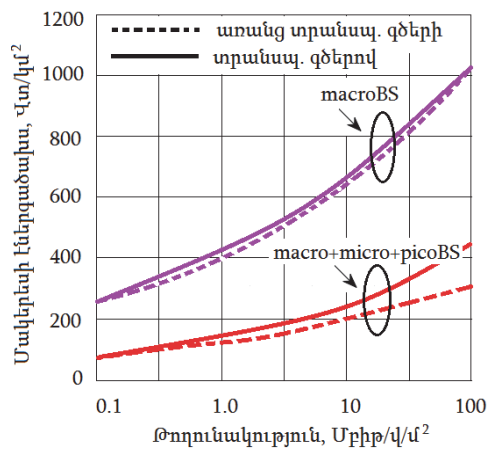
- օպտիկամանրաթելային տրանսպորտային գծերի դեպքում. $P_s=300$ Վտ, $P_{ul}=2$ Վտ, $P_{dl}=1$ Վտ, $N_{Switch}^{Max}=24$ Գբ/ս/վ:

Նկ. 1-ում բերված են APC-ի գնահատման արդյունքները macroBS-ներով կառուցված տարբեր տրանսպորտային գծերով և թողունակությամբ համակարգերի դեպքում: Երևում է, որ օպտիկամանրաթելային տրանսպորտային գծերով համակարգերը նկատելիորեն էներգաարդյունավետ են՝ հատկապես մեծ թողունակությունների դեպքում (ունեն փոքր APC): Դա պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ օպտիկամանրաթելային տրանսպորտային գծերով համակարգերի յուրաքանչյուր BS ունի առանձնացված երկկետային միացում ընդունիչ հանգույցի հետ:



Նկ. 1. Ծածկույթի մակերեսի էներգածախսը տարբեր տրանսպորտային զծերով և թողունակությամբ համակարգերի դեպքում

Նկ. 2-ում բերված են macroBS-ներով և macro+micro+picoBS-ներով կառուցված բջջային համակարգերի APC -ի կախվածությունները թողունակություններից՝ առանց և օպտիկամանրաթելային տրանսպորտային զծերի վրա էներգակորուստների հաշվառմամբ:



Նկ. 2. Ծածկույթի մակերեսի էներգածախսը macroBS-ներով և macro+micro+picoBS-ներով կառուցված բջջային համակարգերի դեպքում՝ կախված դրանց թողունակությունից՝ առանց և օպտիկամանրաթելային տրանսպորտային զծերի վրա էներգակորուստների հաշվառմամբ

Կարող ենք փաստել հետևյալ առանձնահատկությունները.

- macro+micro+picoBS-ներով կառուցված համակարգերը, մասնավորապես HetNet-ը, ավելի քան 2 անգամ էներգաարդյունավետ են միայն խոշոր BS-ներ ընդգրկող համակարգերից,

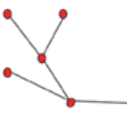
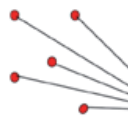
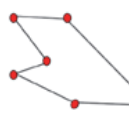
- 4G (թողունակությունը՝ ոչ փոքր 0.1 Մբ/վ/մ²-ից) և 5G (թողունակությունը՝ ոչ փոքր 10 Մբ/վ/մ²-ից) բջջային համակարգերի դեպքում, անկախ ազդանշանների հաղորդման տեխնոլոգիայից, տրանսպորտային գծերի ներդրումը ընդհանուր էներգաարդյունավետությունում աննշան է:

Միկրոալիքային տրանսպորտային գծերով համակարգերի համար վերլուծվել է գծերի երեք ճարտարապետություն (տոպոլոգիա)՝ «աստղ», «ծառ» և «օղակ»: Անկախ տոպոլոգիայի ձևից՝ բոլորն էլ ունեն կենտրոնական հանգույց (Hub), որը թրաֆիկն ուղղորդում է ընդունիչ հանգույցին: Հետևաբար, կենտրոնական հանգույցների քանակը կախված կլինի BS-ների քանակից և տոպոլոգիայի չափսերից: Հեշտության համար ընդունենք, որ տոպոլոգիայում յուրաքանչյուր BS կարող է հանդես գալ որպես կենտրոնական հանգույց:

Աղյուսակում խմբավորված են macro+micro+picoBS-ներով կազմված համակարգերի APC-ի գնահատման արդյունքները միկրոալիքային տրանսպորտային գծերի տարբեր ճարտարապետությունների համար երկու թողունակության դեպքում:

Աղյուսակ

Մակերեսի էներգածախսը, Վտ/կմ²

Թողունակությունը, Մբ/վ/մ ²	Առանց տրանսպ. գծերի	«Ծառ»	«Աստղ»	«Օղակ»
				
10	265	304	286	328
100	384	485	457	522

Ինչպես երևում է աղյուսակից, առավել էներգածախսատար են «Օղակ» ճարտարապետությամբ տրանսպորտային գծերը: Դա հիմնականում պայմանավորված է երկու գործոնով: Նախ՝ օղակաձև աշխատանքը ապահովելու համար յուրաքանչյուր BS պետք է համալրված լինի կոմուտատորով: Բացի այդ, տրանզիտ կապուղիները միշտ գործում են մեծ թողունակության ռեժիմում՝ միջանցիկ թրաֆիկի մեծ ծավալի պատճառով: Մյուս կողմից՝ օղակաձև տոպոլոգիայի դեպքում որևէ կապուղու հնարավոր խափանման ժամանակ աշխատանքը կարելի է կարգավորել, ինչը բացառվում է էներգաարդյունավետության տեսակետից գերադասելի «Աստղ» ճարտարապետությամբ տրանսպորտային գծերի դեպքում: Այս հանգամանքն ընդգծում է փոխգիջումի կարևորությունը էներգասպառման և խանգարումակայունություն միջև: Էներգաարդյունավետության տեսակետից ծառաձև տոպոլոգիան միջանկյալ տեղ է զբաղեցնում մյուս երկու տոպոլոգիաների նկատմամբ:

Այս դեպքում միակ BS-ը, որը պետք է ունենա կոմուտատոր և մեծ թողունակություն, կենտրոնական հանգույցն է:

Ստացված արդյունքներից հետևում է, որ գերբարձր թողունակությամբ HetNet կամ նմանատիպ ճարտարապետությամբ բջջային ցանցերի դեպքում տրանսպորտային գծերով պայմանավորված էներգետիկական կորուստները կդառնան զգալի՝ խնդիրը դարձնելով արդիական: Անհրաժեշտ է նշել, որ առկա բջջային հեռախոսակապի համակարգերը, դրանց տեխնոլոգիաները և ճարտարապետությունը հիմք են հանդիսանալու առնվազն մեկ տասնամյակ հետո բջջային կապի հաջորդ՝ վեցերորդ (6G) սերնդի ի հայտ գալուն: 2018թ.-ին ITU-ի կողմից արդեն իսկ կազմավորվել է ֆոկուս-խումբ (Focus Group Technologies for Network 2030 - FG NET-2030), որը սկսել է զբաղվել բջջային կապի ցանցերի զարգացման հարցերով մինչև 2030 թ.-ը և հետո [14]: Ակնկալվում է, որ ծառայությունների մատուցման հիմնական ուղղություններն են լինելու հոլոգրաֆիկ կապը, ծայրահեղ վիճակներում արագ արձագանքի կապը և ուղղահայաց զարգացող շուկաների բարձր ճշտությամբ կապը: Ենթադրվում է, որ այդ ցանցերը կսկսեն գործել առնվազն 1 *Գբիթ/վ* թողունակությամբ [14, 15], իսկ դա կհանգեցնի BS-ների խտության շեշտակի ավելացմանը, հետևաբար, կմեծանան տրանսպորտային գծերին առնչվող սարքերի և հանգույցների քանակը և դրանց վրա էներգետիկական կորուստները:

Եզրակացություն: Իրականացվել է բջջային հեռախոսակապի համակարգերի էներգաարդյունավետության իրավիճակային վերլուծություն՝ հաշվի առնելով բաշխիչ տրանսպորտային գծերի վրա էներգետիկական կորուստները: Դիտարկվել են ազդանշանների հաղորդման տարբեր տեխնոլոգիաներով, թողունակությամբ և ճարտարապետությամբ համակարգեր: Ցույց է տրվել, որ բոլոր դեպքերում ազդանշանների հաղորդման օպտիկամանրաթելային տեխնոլոգիան նկատելիորեն էներգաարդյունավետ է միկրոալիքային տեխնոլոգիայից: Ստացված արդյունքները միանշանակ փաստում են բջջային հեռախոսակապի համակարգի ընդհանուր էներգաձախսում տրանսպորտային գծերով պայմանավորված էներգետիկական կորուստների հաշվառման անհրաժեշտությունը ժամանակակից գերբարձր թողունակությամբ HetNet կամ ապագա նմանատիպ ճարտարապետությամբ բջջային համակարգերի դեպքում:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 10-4/22AA-2B001 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Shurdi O., Ruci L., Biberaj A., Mesi G.** 5G Energy Efficiency Overview // European Sci. J.- 2021. –V. 17(3).- P. 315327.
2. **Wu Q., Li G.Y., Chen W., Schober R.** An Overview of Sustainable Green 5G Networks // IEEE Wireless Comm.- 2017.- V. 24(4).- P. 72-80.

3. Impact of Backhauling Power Consumption on the Deployment of Heterogeneous Mobile Networks / **S. Tombaz, P. Monti, Wang Kun**, et al // Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference. - 2011.- P. 83-87. DOI: 10.1109/glocom.2011.6133999.
4. **Yuli Zhang, Yuhua Xu, Youming Sun, Qihui Wu**. Energy Efficiency of Small Cell Networks: Metrics, Methods and Market // IEEE Access.- 2017.-V. 5.- P. 5965 – 5971.
5. **Hamdoun H., Loskot P., O'Farrell T., He J.** Survey and Applications of Standardized Energy Metrics to Mobile Networks // Ann. Telecommun. -2012.- V. 67.- P. 113–123.
6. Environmental Engineering (EE); Metrics and Measurement Method for Energy Efficiency of Wireless Access Network Equipment. ETSI ES 202 706-1 V1.6.1 (2021) [Առգիծ]. Հասանելի է https://etsi.org/deliver/etsi_es/202700_202799/20270601/01.06.01_60/es_20270601v010601p.pdf [Մատչելի էր 01.10. 2022].
7. **Deruyck M., Tanghe E., Joseph W., Martens L.** Characterization and Optimization of the Power Consumption in Wireless Access Networks by Taking Daily Traffic Variations into Account // EURASIP J. on Wireless Communications and Networking.- 2012.- N 1.- P. 1-12.
8. **Այվազյան Ա.Գ., Խուդաբերդյան Ս.Խ.** Բջջային կապի ցանցերի բազային կայանների էներգաձախսի գնահատումը // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2021.- Շ. LXIX, № 1.- Էջ 173-181:
9. **Айвазян А.Г., Худавердян С.Х.** Анализ энергоэффективности базовых станций сотовой связи // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2021.- N1.- С. 94-103.
10. **Premalatha J., Nisha S.A.** Energy Competence of Base Station in Cellular Network // Int. J. of Recent Techn. and Eng.- 2019.- V.8 (2). – P. 2020-2023.
11. **Sharma D., Singhal S., Rai A., Singh A.** Analysis of Power Consumption in Standalone 5G Network and Enhancement in Energy Efficiency using a Novel Routing Protocol // Sustainable Energy, Grids and Networks.-2021.- V. 26.- P. 100427. DOI: 10.1016/j.segan.2020.100427.
12. Atoll Radio Planning Software Overview [Առգիծ]. Հասանելի է <https://www.forsk.com/atoll-overview> [Մատչելի էր 01.10.2022]:
13. Ericsson Microwave Networks Portfolio. [Առգիծ]. Հասանելի է <https://ericsson.com/en/portfolio/networks> [Մատչելի էր 01.10.2022]:
14. Network 2030. A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond. Written by FGNET-2030. – ITU, 2019. – [Առգիծ]. https://itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf [Մատչելի էր 01.10.2022]:
15. **Jiang W., Han B., Habibi M.A., Schotten H.D.** The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey // IEEE Open J. of Comm. Soc.- 2021.- 2.- P. 334–366. DOI: 10.1109/ojcoms.2021.3057679.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.10.2022:

А.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

**ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА ТРАНСПОРТНО-
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ**

Предложена математическая модель оценки энергопотребления и энергоэффективности систем мобильной связи, учитывающая возможные энергетические потери на транспортно-распределительных линиях. Показано, что эти потери зависят от применяемой технологии передачи сигнала (оптоволоконная, микроволновая), топологических решений (звезда, дерево, кольцо) и пропускной способности системы.

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, энергопотребление, энергоэффективность, транспортно-распределительная линия.

A.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

**ASSESSING THE ENERGY LOSSES ON BACKHAUL OF CELLULAR
COMMUNICATION SYSTEMS**

A mathematical model is proposed for assessing the energy consumption and energy efficiency of cellular communication systems, taking into account the possible energy losses on backhaul. It is shown that these losses depend on the applied technology options (fiber, microwave), topology solutions (star, tree, ring), and the area throughput.

Keywords: cellular communication system, base station, energy consumption, energy efficiency, backhaul.

N.D. YEZAKYAN, A.E. YESAYAN, J-M. SALLESE

VERILOG_A IMPLEMENTATION OF NANOWIRE JUNCTIONLESS ISFET COMPACT MODEL AND READ-OUT CIRCUIT DESIGN

In this paper, we implement nanowire (NW) junctionless (JL) ISFET model in Verilog-A hardware language. The Verilog-A implementation would allow the NW ISFET integration with signal processing circuits. The simulated by the code pH values are compared with the corresponding data from COMSOL simulations, and a good agreement is observed. The readout circuit based on amperometric switched- capacitors schemes is designed. The readout circuit has introduced good linearity in pH values range from 3 to 7.

Keywords: Nanowire, ISFET, PH-sensor, readout circuit.

Introduction. Since the first application of Ion-Sensitive Field Effect Transistors (ISFET) as bio-chemical sensors [1], the technological evaluation of ISFETs has passed from planar to 1D (e.g. nanowire) geometries [2-4]. Nanowire (NW) geometry is very attractive for sensor applications as the high surface to volume ratio and comparable to biomolecule sizes, result in very high sensitivity [2,3]. The fabrication of NW does not require complicated technologies making the NW-based sensor production more reliable and commercially attractive [3,4].

In line with experimental realization of these new generation of ISFETs, the compact analytical modelling is essential for the device optimization. A uniformly doped NW ISFET can be treated as junctionless (JL) NW ISFET and this modeling approach has been presented in [5,6]. The ISFET model is based on JL NW FET model presented in [7], which was later explicitly formulated in [8]. The developed NW JL ISFET model allows an accurate description of the influence of physical and geometrical parameters on device pH sensitivity [9]. In this paper, we implement the explicitly formulated NW JL ISFET model introduced in [6] in Verilog-A, to run it in circuit simulator and present readout circuit design for the first level realization.

Methodology: Implementation of JLNW ISFET Compact model in a circuit simulator. The SIMetrix simulator core is chosen for our simulations, since it gives the possibility of coding and modeling in real time. This tool gives flexibility to make modifications in the code, and to use the same model again. The software offers simulation languages, such as PSPICE, HSPICE, and Verilog-A,

etc [10]. We implement the model in Verilog-A hardware language as it is less error prone, support for buses, optional parameter range checking; always-faster evaluation speed required in the NR loop, always-lower memory footprint is required.

1. Analytical explicit model. For the sake of clarity, at first, we will introduce the NW JL ISFET model main equations in an analytical form. The semiconductor NW charge and current calculations are based on the NW JL FET model presented in [7,8], and generalized for NW JL ISFET in [5,6]. The NW JL ISFET structure and band diagram are presented in Fig. 1.

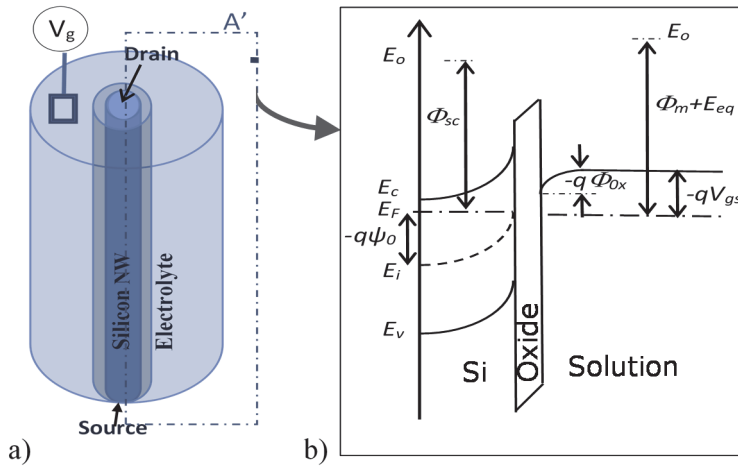


Fig. 1. The structure of the NW JL ISFET (a), and the energetic diagram of vertical cut (b)

The relationship between the bulk pH in electrolyte and the gating potential on the oxide surface (Φ_G) is given by the following equation:

$$2.3 (\text{pH}_{\text{zpc}} - \text{pH}) = \frac{\Phi_G}{U_T} \frac{V_{\text{gs}}^*}{U_T} \text{arcsinh} \left(\frac{C_{\text{eff}}(\Phi_G - V_{\text{gs}}^*) - Q_{\text{sc}}}{qN_s \delta} \right), \quad (1)$$

where Q_{sc} is the total charge density in the semiconductor, $\Phi_G = V_{\text{gs}}^* + \Phi_{\text{ox}}$, where Φ_{ox} is the potential drop across the electrolyte (see Fig. 1(b)), and V_{gs}^* is the effective gate voltage applied to the reference electrode inserted in the electrolyte. All other parameters in equations (1)-(3) are well defined in [6].

The increase of pH in the bulk electrolyte causes the depletion of the semiconductor channel, consequently, for $\text{pH} > \text{pH}_{\text{zpc}}$, the JL ISFET will operate in depletion if $V_{\text{gs}}^* \leq V_{\text{FB}}$, where $V_{\text{FB}} = U_T \cdot \ln \left(\frac{N_D}{n_i} \right)$. Once the device operates in depletion, we can use the explicit charge [8]:

$$Q_{SC}(\Phi_G, V) = -C_n + Q_D^* \sqrt{1 - \frac{8Q_D C_{Si} U_T}{Q_D^{*2}} \ln \left(1 + \exp \frac{\Phi_G - V - V_T + f_{sm} \cdot V_{\delta}}{U_T} \right)}. \quad (2)$$

By substituting (3) into (2), the bulk pH is explicitly defined for a given Φ_G , whereas Φ_G will be defined from the drain current equation by substituting the drain current value measured by the sensor.

The explicit drain current equation for the NW JLFET is:

$$I_{Dep}(\Phi_G, V_D, V_S) = \frac{\pi R}{L} \mu \left\{ \left(\frac{1}{8C_{Si}} - \frac{1}{4C_{ox}} \right) Q_{sc}^2 \Big|_{V_S}^{V_D} - \frac{1}{12Q_d C_{Si}} Q_{sc}^3 \Big|_{V_S}^{V_D} + \left(\frac{Q_d}{2C_{ox}} + 2U_T \right) Q_{sc} \Big|_{V_S}^{V_D} - U_T Q_d \ln \left(1 + \frac{Q_{sc}}{Q_d} \right)^2 \Big|_{V_S}^{V_D} \right\}. \quad (3)$$

The Verilog-A code of NW JL ISFET model starts with the initialization of “disciplines.vams” and “constants.vams” libraries, then constants such as geometrical and physical parameters, as well as variables used in the model are defined. Finally the main part of the model starts. For clarity, two pieces from the model code are presented in Appendix 1.

By measuring the sample, we fix the measured current, therefore, in SIMetrix simulator the drain current value is considered to be known. We have validated pH values calculated at a given drain current by the circuit simulator with the corresponding data from COMSOL simulations. The comparison is illustrated in Fig. 2, and indeed very good agreement is observed. The difference between the data from these simulations is less than 0.01 for PH range from 3 to 8.

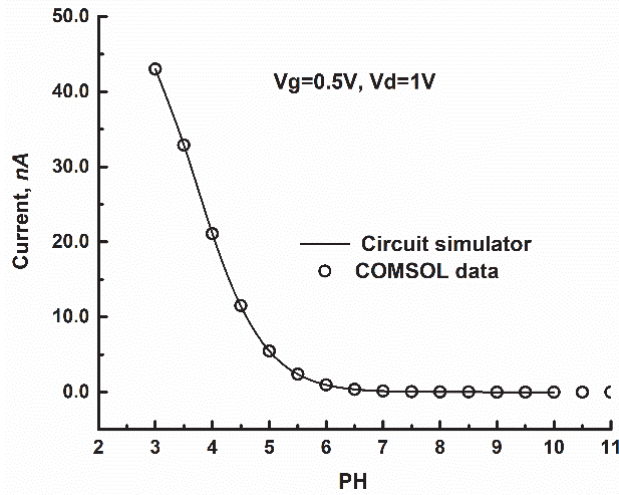


Fig. 2. Current dependence on pH calculated from COMSOL and SIMetrix

2. Readout circuit for NW JL ISFET. The next step is to design a readout circuit for the NW JL ISFET. There are different readout circuit types: (i) potentiometric; (ii) amperometric; and (iii) impedance-based [11, 12]. Amperometric techniques require three electrodes, namely “working” (sensor), “reference”, and “auxiliary” electrodes, consequently as we use three-electrode configuration (reference, drain, and source), the amperometric measurement configuration is the correct choice.

A classic switched-capacitors reset mechanism, that also performs correlated-double sampling circuit, we choose as a reference for designing our amperometric measurement circuit [11, 13].

The designed readout circuit is presented in Fig. 3. The circuit consists of the following blocks: 1) NW_JL ISFET model configuration circuit; 2) The first stage current amplification; 3) The second stage current amplification; 4) Current to voltage converter circuit. We have used two stage current amplification circuits, namely 3 LM7171 op-amps, which are known as very high speed, high output current, and voltage feedback amplifiers [14]. For simplicity, op-amp voltage supply sources are not shown here.

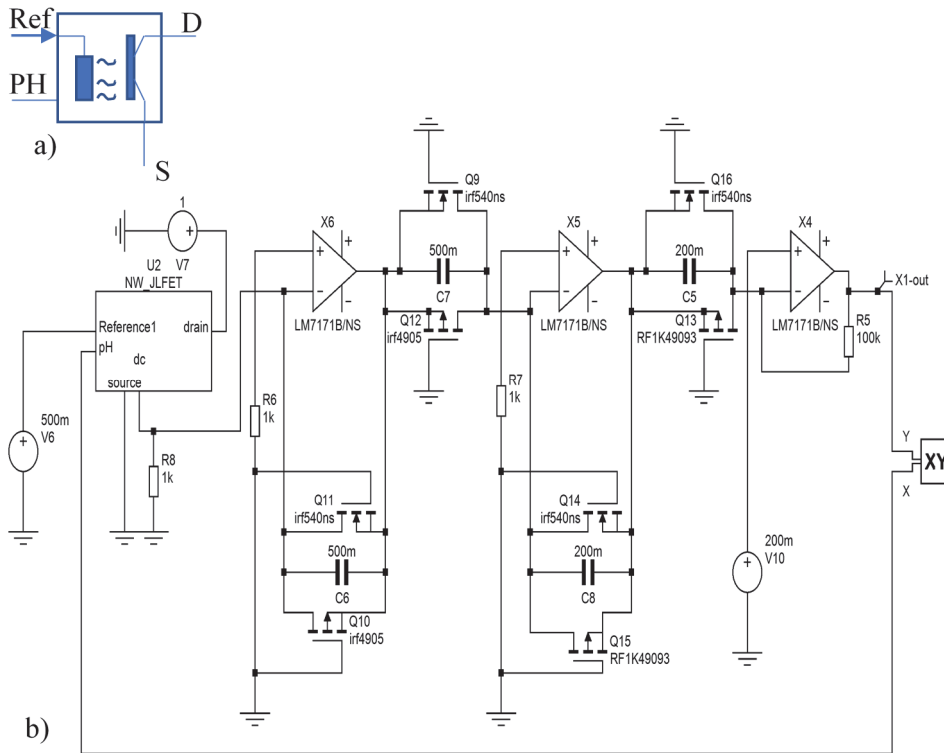


Fig. 3. (a) Sub-circuit block of JLFET, (b) Amperometric switched-capacitors circuit

The sub-circuit, illustrated in Fig. 3 (a), consists of: Reference (Ref), Drain (D-) and Source (S) electrodes and (pH)-solution pH value. In Reference and Drain pins we set 0.5V and 1 V DC power supplies respectively. The first block (U2 block) simulates the NW JL ISFET model written in Verilog-A. The measured drain current is given to dc output pin of U2 -NW_JLFET block (see Fig. 4 (b)). The calculated PH value is set to pH pin.

In addition, we calculate the circuit output voltage versus the output current in dc pin. The current data correspond to pH values varying from 3 to 7. The calculations are presented in Fig. 4. It is seen that the designed circuit exhibits a good linearity.

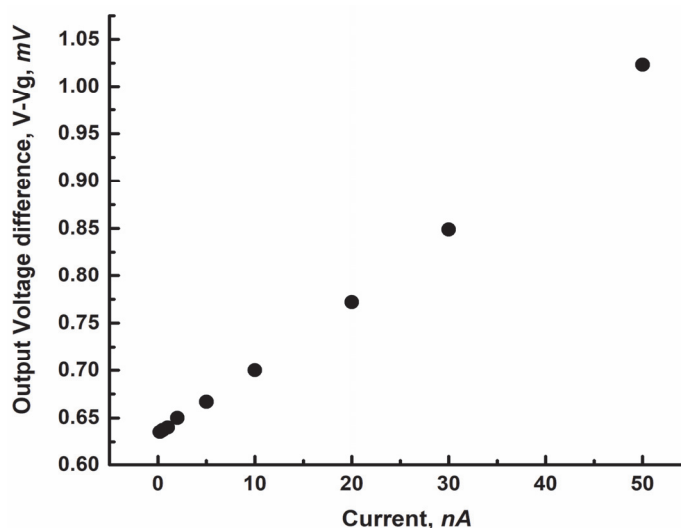


Fig. 4. The circuit current to output voltage conversion

Conclusion. The analytical compact model of the NW JL ISFET has been implemented in Verilog-A, and the measuring circuit of ISFET has been designed. The sensing readout circuitry of ISFET has been developed on the basis of switched-capacitors amperometric schemes. The pH sensor circuit exhibits good linearity.

Acknowledgements. The work was supported by the Science Committee of RA, in the frames of the research project № 21T-2B321. In addition, the authors would like to acknowledge Seed Funding Grant (UNIGE).

Appendix 1.

Here are presented two main pieces of Verilog_A code.

//Libraries are called and the main parameters are already defined.

```

for (i=0; i<20; i=i+1)
begin
k=0;
for (i=1;i<2000; i=i+1)
begin

    fsmss    =    0.5-0.5*tanh (0.2 * (FIG-V(source)-VT)/UT)  ;
    fsmdd    =    0.5-0.5*tanh (0.2 * (FIG-V(drain)-VT)/UT)  ;

    QDeps    =    -QD*Cn + QDa* sqrt
                    (

    QDepd    =    -QD*Cn +
    QDa* sqrt(1-8*(1/(QDa*(1+Cn))*Csi*UT*ln

    Idep = pi*R/LSi * u * ((1/(8*Csi)-
    FIG=FIG - 5E-4;
    I(drain)<+ Idep;
    if (abs(Idep-ID)<0.6*pow(10,-n))
    begin
        k=k+1;
        Av = 0.072;
        VGeff = V(Referencel) - Av;
        PH = -(
    if (k==1)
    begin
        $strobe ("FIG=",,FIG);
        //$strobe ("flatband=", ,VFB);
        $strobe ("ID=",,Idep);
        $strobe ("pH",,PH);
        $strobe ("none",, );
    end
end
end

```

// equations are shown in short form

```

for (i=0; i<20; i=i+1)
begin

    if (k<0.1) n=n+1;
    k= 10 *k;
    end

    for (i=1;i<2000; i=i+1)
    begin

        fsms    =    0.5-0.5*tanh (0.2 * (FIG-
        fsmd    =    0.5-0.5*tanh (0.2 *

            QDeps    =    -QD*Cn + QDa* sqrt
                        (

            QDepd    =    -QD*Cn + QDa* sqrt(1-

            Idep = pi*R/LSi * u * ((1/(8*Csi)-
            Av    =    0.072;
            VGeff    =    V(Referencel, source)
                        - Av;
            PH    =    -(
            FIG =FIG - 5E-4;
            if (abs(Idep-ID)<1*pow(10,-n))
            begin
                k1=k1+1;

                if (k1==1)
                begin

            end
            //PH= PH+0.5;
        end
    end

```

REFERENCES

1. **Hal R.V., Eijkel J., and Bergveld P.** A novel description of ISFET sensitivity with the buffer capacity and double-layer capacitance as key parameters // *Sens. Actuators B, Chem.*-1995.- 24. -P.201–205.
2. **Patolsky F., and Lieber C.M.** Nanowire nanosensors // *Mater. Today*.-2005.- 8(4).- P.20–28.
3. **Ramgir N.S., Yang Y., Zacharias M.** Nanowire-Based Sensors // *Small*.-2010.- 6(16).-P.1705–1722.
4. Junctionless gate-all-around nanowire field-effect transistors with an extended gate in biomolecule detection / **C.W. Chen, R.Z. Lin, L.C. Chiang, et al** // *Jpn. J. Appl. Phys.*.-2019.-58(2).-P.027001.
5. **Yesayan A., Jazaeri F., and Sallese J.-M.** Analytical Modeling of Double-Gate and Nanowire Junctionless ISFETs // *IEEE Trans. on Electron Devices*.-2020.-67.-P.1157-1164.
6. **Yesayan A., and Sallese J. -M.** Compact Analytical Model of Nanowire Junctionless ISFET // 28th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System.- Krakow, Poland, June 2021.-P. 31-34.
7. A common core model for junctionless nanowires and symmetric double-gate FETs / **J.M. Sallese, F. Jazaeri, L. Barbut, et al** // *IEEE Trans. Electron Devices*.-2013.- 60(12).-P. 4277–4280.
8. **Yesayan A., Prégaldiny F., and Sallese J.M.** Explicit drain current model of junctionless double-gate field-effect transistors // *Solid. State. Electron.*.-2013.-89.- P.134–138.
9. **Yesayan A., Petrosyan S., Papiyan A., Sallese J.-M.** Theoretical Studies of Nanowire Ion-Sensitive Field Effect Transistor // *J. Contemp. Phys.*- 2021. -56. -P. 324–331. <https://doi.org/10.3103/S1068337221040071>
10. **O'Halloran, P.** Verilog-A in SPICE//MOS-AK, December 2014.- Berkeley, CA, 2014.
11. CMOS Interfaces for Internet-of-Wearables Electrochemical Sensors: Trends and Challenges / **M. Dei, J. Aymerich, M. Piotto, et al** // *Electronics*.-2019.-8.-P.150.
12. ISFET-based sensors for (bio)chemical applications: A review / **S. Cao, P. Sun, G. Xiao, et al** // *ELSA*.-2022.-P.e2100207.
13. Ultra-low-noise CMOS current preamplifier from DC to 1 MHz / **G. Ferrari, M. Farina, F. Guagliardo, et al** // *Electronics letters*.-2009.-45 (25).
14. LM7171 SNOS760C–May 1999–revised September 2014,
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7171.pdf>

Institute of Radiophysics and Electronics NAN RA, Yerevan State University. The material is received on 01.10.2022.

Ն.Դ. ԵԶԱԿՅԱՆ, Ա.Է. ԵՍԱՅԱՆ, Ժ-Մ. ՍԱԼԼԵՅ

**ՆԱՆՈՒԱՐԱՅԻՆ ԱՆ-ԱՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ISFET ՄՈԴԵԼԻ VERILOG-A ԻՐԱՅՈՒՄԸ
ԵՎ ԿԱՐԴԱՑՈՂ ՇՂԹԱՅԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ**

Իրականացվել է նանոլարային ան-անցումային իոնազգայուն դաշտային տրանզիստորի մոդելի իրացումը Verilog-A լեզվով: Մոդելի Verilog-A իրացումը թույլ է տալիս իոնազգայուն տրանզիստորի ազդանշանի մշակման սխեմաների միմյանց ինտեգրում: Ստացված pH արժեքները համեմատվել են COMSOL մոդելավորման համապատասխան տվյալների հետ, և նկատվել է տվյալների լավ համաձայնություն: Նախագծվել է ընթերցման սխեմա՝ հիմնված ամպերաչափիչ անջատիչ կոնդենսատորներով սխեմաների վրա: Ընթերցման սխեման ցուցաբերել է լավ գծայնություն pH-ի 3-ից 7 արժեքների միջակայքում:

Առանցքային բառեր. նանոլար, իոնազգայուն ԴՏ, PH – տվիչ, ընթերցող շղթա:

Н.Д. ЕЗАКЯН, А.Э. ЕСАЯН, Ж-М. САЛЛЕЗ

**РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПАКТНОЙ МОДЕЛИ НАНОПРОВОЛОЧНОГО
БЕСПЕРЕХОДНОГО ISFET НА ЯЗЫКЕ VERILOG-A И
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ**

Реализована модель нанопроволочного беспереходного ионно-чувствительного транзистора на языке Verilog-A, что позволяет проводить его интегрирование со схемами обработки сигналов. Сопоставление полученных значений pH с соответствующими данными расчетов COMSOL показало хорошее совпадение. Спроектирована схема считывания на основе амперометрических схем с переключаемыми конденсаторами. Данная схема считывания обеспечивает хорошую линейность в диапазоне значений pH от 3 до 7.

Ключевые слова: нанопроволока, ионно-чувствительный транзистор, pH-сенсор, схема считывания.

Ն.Վ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ն.Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ա.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

**ԿԱՊԱԶԵՐՄԱՆ ՈՒՆԱԿԱՐԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՄԱՍԱՆ ԴՈՂԵՐՈՒՄ ԴԻՆԱՄԻԿ ԼԱՐՄԱՆ ԱՆԿՄԱՆ
ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ԵՎ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ
ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Ներկայացված է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդ, որը դասական մոտեցման համեմատ ինտեգրալ սխեմայում ~14%-ով ավելացնում է դրանց քանակը, ինչի արդյունքում սխեմայում դինամիկ լարման անկումը նվազում է ~25%-ով: Մեթոդը նախնական փուլում նվազեցնում է ինտեգրալ սխեմայի ստատիկ էներգասպառումը, ինչի հաշվին էլ հենց հնարավոր է լինում հավելյալ կապագերծող ունակությունների ավելացումը: Կատարվել են որոշակի ինտեգրալ սխեմաների մոդելավորումներ ծերացված տրամաբանական բջիջների մոդելներով: Ստացված ստատիկ ժամանակային վերլուծության արդյունքները, ինչպես նաև էներգասպառման տվյալները ցույց են տալիս, որ առաջարկված մեթոդի կիրառումը չի ազդում ինտեգրալ սխեմայի երկարակեցության վրա: Առաջարկված մեթոդը առանց որևէ խափանման կարելի է ինտեգրել խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաների ավտոմատացված նախագծման գործընթացում:

Առանցքային բառեր. ինտեգրալ սխեմա, էներգասպառում, դինամիկ լարման անկում, կապագերծող ունակություններ, հուսալիություն:

Ներածություն: Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՄ) տեխնոլոգիական չափերի շարունակական մասշտաբավորումը, ինչպես նաև էլեկտրոնային համակարգերում դյուրակիր մարտկոցների պահանջարկի ավելացումը վերջին մի քանի տարիների ընթացքում առաջնային են դարձրել ԻՄ-երում էլեկտրաէներգիայի կառավարման խնդրի ուսումնասիրությունը: Ուստի ներկայումս ձգտում են ԻՄ-երի նախագծման այնպիսի համակարգային լուծումների, որոնք կապահովեն վերջինիս փոքր էներգասպառումը: Էլեկտրաէներգիայի կառավարումը նպատակ ունի բարելավելու սարքի հուսալիությունը:

ԻՄ-երի հուսալիությանն առնչվող խնդիրներից են՝ ինքնատաքացումը, ծերացումը, էլեկտրամիգրացիան, սնման դողերում լարման անկումները և այլն [1,2]: Թվարկված բոլոր խնդիրները անմիջական կախվածության մեջ են ԻՄ-ի էներգասպառման հետ:

ԻՄ-երի նախագծման արդի գործընթացում սնման դոդերում լարման անկման խնդրի լուծման համար օգտագործվում են մեծ քանակով կապագերծող ունակություններ, ինչը զգալի կերպով մեծացնում է ԻՄ-ի էներգասպառումը՝ բացասաբար անդրադառնալով հուսալիության մյուս խնդիրների բարելավման վրա: Ուստի կարևոր է դառնում սնման դոդերում լարման անկման խնդրի լուծման այնպիսի մեթոդի մշակումը, որը հնարավորինս քիչ կանդրադառնա ԻՄ-ի էներգասպառման վրա:

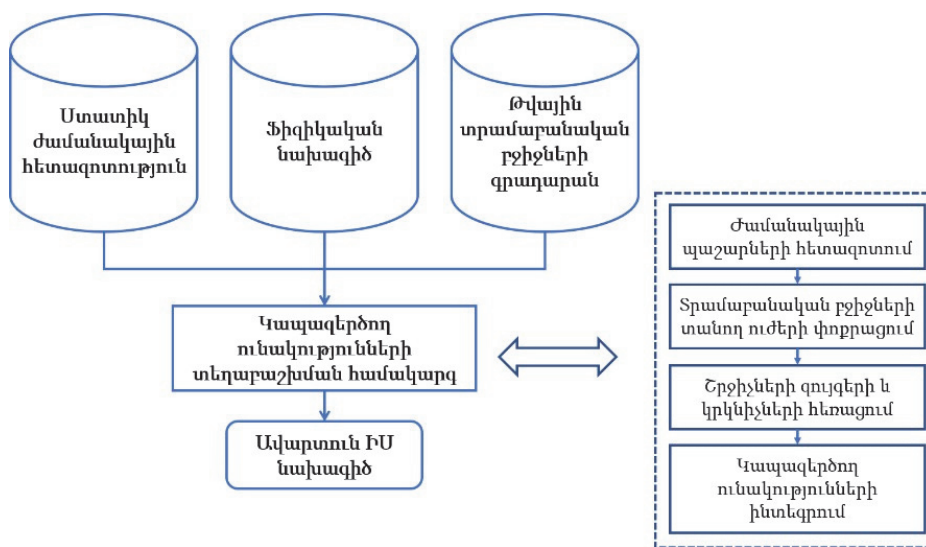
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Սնման դոդերում լարման անկման ազդեցությունը շատ արագ աճում է ԻՄ-երի տեխնոլոգիական չափերի մասշտաբավորմանը զուգընթաց:

Սնման դոդերում լարման անկման խախտումների շտկման հնարավոր լուծումներից է ԻՄ-ում հավելյալ սնման դոդերի ավելացումը: Մեթոդը ԻՄ-ում ապահովում է սնման ցանցի ավելի մեծ ծածկողականություն, ինչը նվազեցնում է սնման հոսանքը տեղային հատվածի վրա և, որպես հետևանք, նվազեցնում նաև լարման անկումը տվյալ հատվածում: Այս մեթոդի թերությունն այն է, որ ավելացված սնման դոդերը ԻՄ-ում զբաղեցնում են միջմիացումների հավելյալ ռեսուրս, ինչը սահմանափակում է նշված մեթոդի կիրառումը խիտ միջմիացումների դեպքում: Նշված թերությունից խուսափելու համար կան մշակված որոշակի մեթոդներ, որոնցից են, օրինակ, ԻՄ-ի նախագծման սկզբնական փուլում ավելի նոսր սնման ցանցի օգտագործումը, և նախագծի վերջնական փուլում՝ բացահայտված խախտումների շրջակայքում, տեղային սնման դոդերի միջմիացման իրականացումը՝ միջմիացման հանգույցների (via) միջոցով [3] կամ խախտումների շրջակայքից տակտային ազդանշանի ծառի բաղադրիչ մաս հանդիսացող, մեծ հզորության ծախս պահաջող բջիջների տեղաբաշխման իրականացումը [4]: Սակայն նշված մեթոդների թերությունն այն է, որ դրանցով իրականացվում է խնդրի տեղային լուծում, ինչպես նաև նշված լուծումները չունեն այնպիսի բաղադրիչ, որը կազդի ընդհանուր սխեմայի էներգասպառման բարելավման վրա:

Մեկ այլ մեթոդի հիմքում ընկած է անցանկալի փոխանջատումների նվազեցման մեթոդաբանությունը [5,6]: Դինամիկ հզորության ծախսի և դինամիկ լարման անկման հիմնական պատճառը հենց տրամաբանական բջիջների մուտքային ազդանշանների ոչ ցանկալի փոխանջատումներն են: Դրանց նվազեցման համար կիրառվող հիմնական մեթոդներից է տրամաբանական բջիջների տարբեր մուտք-էլք հանգույցների միջև թույլատրելի ժամանակային շեղման առաջացումը: Նշված շեղումը հնարավոր է լինում ապահովել տրամաբանական բջիջների մոդելավորման գործընթացում հավելյալ տրանզիստորների կամ բեռների, ինչպես նաև պատրաստի մոդելավորված տրամաբանական բջիջների մուտքերին փոխանցման փականների կիրառմամբ: Նշված մեթոդների թերությունն այն է, որ երկարում է տրամաբանական բջիջների նախագծման գործընթացը:

Կապագերծող ունակությունների կիրառումը նույնպես լայն տարածում ունեցող մեթոդ է [7]: Դա հիմնականում կիրառվում է ԻՄ-ի այն հատվածներում, որտեղ տեղակայված են մեծ հզորության ծախսով տրամաբանական բջիջներ: Այս մեթոդի թերությունն այն, որ մեծ քանակությամբ կապագերծող ունակությունների կիրառումը ԻՄ-ում առաջացնում է մեծ էներգասպառում:

Առաջարկվում է սնման դոդերում դիսամիկ լարման անկման նվազեցման համար կիրառվող մեթոդ, որի հիմքում ընկած է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխումը: Մեթոդը ներկայացված է նկ. 1-ում բերված բլոկ-սխեմայի տեսքով:



Նկ.1. Ալգորիթմի բլոկ-սխեման

Կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի համար մուտքային տվյալներ են հանդիսանում ԻՄ-ի ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքները, ԻՄ-ի ֆիզիկական նախագիծը և թվային տրամաբանական բջիջների գրադարանը: Առաջարկվող մեթոդում ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների հիման վրա կատարվում է ժամանակային պաշարների հետազոտում, որի հիման վրա իրականացվում է տրամաբանական բջիջների տանող ուժերի փոքրացում, տվյալների ուղիներում հավելյալ պաշար ստեղծող շրջիչների գույգերի և կրկնիչների հեռացում և վերջնական փուլում՝ լրացուցիչ կապագերծող ունակությունների ինտեգրում:

Նկ. 1-ից երևում է, որ կիրառված մեթոդը թույլ է տալիս ԻՄ-ում ավելացնել կապագերծող ունակությունների քանակը՝ չափելով վերջինիս էներգասպառման վրա: Հետազոտության ընթացքում կատարվել է նաև ԻՄ-ի էներգասպառման դիտարկում՝ տրամաբանական բջիջների ծեղանկով մոդելների կիրառմամբ:

Հետազոտության արդյունքները: Վերը նկարագրված մեթոդների, ինչպես նաև առաջադրված կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի կիրառման առավելությունները և թերությունները հստակ տարանջատելու համար իրականացվել են մոդելավորումներ տարբեր քանակի տրամաբանական բջիջներ պարունակող ԻՄ-երի վրա:

Չափումների արդյունքները ներկայացված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

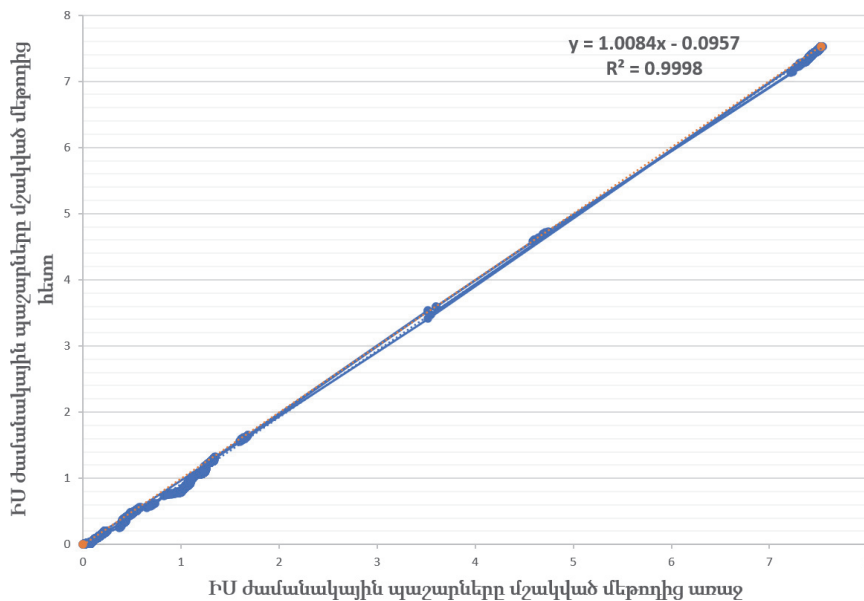
Չափումների արդյունքները

Մեթոդ Պարամետր	Մուտքյան ցանցի նոսրացում [3]	Բարձր հաճախականային տրամաբանական բջիջների վերաբաշխում [4]	Անցանկալի փոխանցատուների նվազեցման մեթոդ [5,6]	Կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխում [7]	Ներկայացված ազդրիք
Դինամիկ լարման անկում, Վ	0,009	0,005	0,0067	0,009	0,0041
Կապագերծող ունակությունների քանակ	32324	32324	32324	31791	36345
Ծրագծման երկարություն, մկմ	209,1	183,4	189,6	186,7	197,6

Աղ. 1-ում երևում է, որ նշված մեթոդը նպաստում է ԻՄ-երի ստատիկ էներգասպառման և դինամիկ լարման անկման նվազմանը, ինչպես և ենթադրվում էր: Մակայն մեթոդի ընդհանուր նկարագրից երևում է, որ ստատիկ էներգասպառման և դինամիկ լարման անկման դրական տեղաշարժերը դիտվում են ի հաշիվ ԻՄ-ում եղած ժամանակային պաշարների:

Նկ. 2-ում ցույց է տրված վերը դիտարկված ԻՄ1-ի վրա իրականացված ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների համեմատությունը կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի աշխատանքից առաջ-հետո: Արդյունքում պարզ է դառնում, որ մշակված մեթոդը թողնում է փոքր ազդեցություն ԻՄ-ի ժամանակային պաշարների վրա:

Նմանարկումները կատարվել են նաև տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով, քանի որ հայտնի է, որ ժամանակի ընթացքում տրամաբանական բջիջների թողունակությունը նվազում է, ուստի և նվազում է դրանց ստատիկ էներգասպառումը, ինչպես նաև մեծանում է հապաղումը: Աղ. 2-ում ներկայացված են վերը դիտարկված ԻՄ-ների էներգասպառման տվյալները տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով՝ 10 տարվա հաշվարկով:



Նկ. 2. Ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների համեմատություն

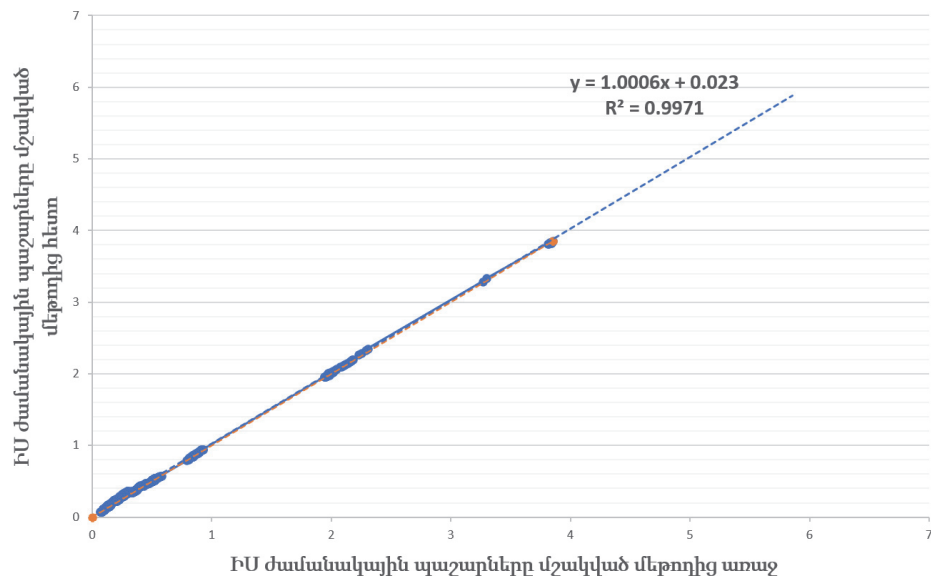
Աղյուսակ 2

ԻՍ-ների էներգասպառման տվյալները տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով՝ 10 տարվա հաշվարկով

ԻՍ	Չափման միավոր, մՎտ
1	0,5
2	0,03
3	0,026

Նկ. 3-ում ներկայացված է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդի կիրառումից հետո ԻՍ1-ի վրա իրականացված տրամաբանական բջիջների ծերացված մոդելներով և դասական մոդելներով ստատիկ ժամանակային վերլուծության տվյալների համեմատությունը:

Պարզ է դառնում, որ կիրառված կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդը չի ազդում ԻՍ-ի կյանքի տևողության վրա:



Նկ. 3. Ստատիկ ժամանակային հետազոտության արդյունքների համեմատություն

Եզրակացություն: Աշխատանքում ներկայացված է կապագերծող ունակությունների տեղաբաշխման մեթոդ, որը դասական մոտեցման համեմատ ԻՍ-ում կապագերծող ունակությունների քանակը ավելացնում է միջին չափով 14%-ով՝ ԻՍ-ում եղած ժամանակային պաշարների հաշվին: Մշակված մեթոդը նպաստում է նաև ԻՍ-ում ստատիկ էներգասպառման նվազեցմանը՝ միջին չափով 38%-ով: Ներկայացված մեթոդի կիրառման արդյունքում ԻՍ դինամիկ լարման անկումը նվազել է միջին չափով 25%-ով: Աշխատանքում կատարված ծերացման հետազոտությունները փաստում են, որ առաջարկված մեթոդը չի ազդում ԻՍ հուսալիության վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Lorenz D.** Aging Analysis of Digital Integrated Circuits: Dissertation 2012 Chair of Design Automation of Technical University of Munich.- 2012.- 150p.
2. Self-heating on bulk FinFET from 14nm down to 7nm node / **J. Doyoung, et al** //2015 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM).- Washington, DC, USA, Dec. 2015 .- P. 11.6.1- 11.6.4.
3. **Mamikonyan N., Melikyan N., and Musayelyan R.** IR Drop Estimation and Optimization on DRAM Memory using Machine Learning Algorithms // 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Varna, Bulgaria, 2020.- P. 1-4.
4. **Lee D., Hwang H., Oh.H., and Ban Y.J.** Mitigating IR-Drop with Design Technology Co- Optimization for Sub-Nanometer Node Technology // 2021 18th International SoC Design Conference (ISOCC).- Republic of Korea, 2021.- P. 1-2.

5. **Raja T., Agrawal V. D., and Bushnell M.L.** Variable Input Delay CMOS Logic for Low Power Design // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – 2009.- P. 1534 - 1545.
6. **Kumar B.V. P.V., Sharma N.S.M., Kishore K.L., and Rajakumari A.** Variable input delay CMOS logic for dynamic IR drop reduction // 2012 Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics.- India, 2012.- P. 79-84.
7. **Yeh C. and Merek-Sadowska M.** Timing-Aware Power-Noise Reduction in Placement // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 2007.- P. 527-541.

Երևանի պետական համալսարան: «Մինոփսիս Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.09.2022:

Н.В. МЕЛИКЯН, Н.А. АВАКЯН, А.А. КАЗАРЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БУФЕРНЫХ ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ШИНАХ ПИТАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Представлен метод распределения буферных емкостей, который увеличивает их количество в интегральной схеме (ИС) на ~14% по сравнению с классическим подходом, в результате чего динамическое падение напряжения в схеме уменьшается на ~25%. На начальном этапе метод снижает статическое энергопотребление ИС, за счет чего возможно увеличение дополнительных буферных емкостей. Проведено моделирование некоторых ИС с использованием стареющих моделей логических ячеек. Полученные результаты статического временного анализа, а также данные по энергопотреблению показывают, что применение предложенного метода не влияет на долговечность ИС. Предлагаемый метод может быть легко интегрирован в автоматизированный процесс проектирования ИС со смешанными сигналами.

Ключевые слова: интегральная схема, энергопотребление, динамическое падение напряжения, буферные емкости, надежность.

N.V. MELIKYAN, N.A. AVAGYAN, A.A. GHAZARYAN

**DEVELOPING A METHOD FOR DISTRIBUTION OF DECAP CELLS TO
REDUCE THE DYNAMIC IR DROP IN THE POWER SUPPLY AND THE
INCREASE IN RELIABILITY**

A method is presented for distribution of decap cells, which increases their number in the integrated circuit by ~14% compared to the classical approach, as a result of which the dynamic IR drop in the circuit is reduced by ~25%. At the initial stage, the method reduces the static power consumption of the integrated circuit, due to which it is possible to increase the additional decap cells. Some integrated circuits are simulated using the aging logic cell models. The obtained results of static time analysis, as well as data on energy consumption, show that the application of the proposed method does not affect the durability of the integrated circuit. The proposed method can be easily integrated into the automated design process of integrated circuits with mixed signals.

Keywords: integrated circuit, power, dynamic IR drop, decap cells, reliability.

UDC 004.33

MICROELECTRONICS

DOI: 10.53297/0002306X-2022.v75.3-415

A.V. BABAYAN

VALIDATION AND TEST TIME REDUCTION APPROACH FOR BUILT-IN-SELF-TEST AND REPAIR OF MEMORIES VIA A SHARED INTERFACE

A memory built-in self-test and repair (MBISTR) is a key component in improving a system-on chip (SoC) yield under daily raising new challenges in IC industry where memories very often make up the bulk of a SoC. Once a given SoC has a huge number of memories, it is convenient to test them via a common test network. Meantime, some designs do not allow to insert this network into an already existing functional design via adding new nodes in the existing paths but do allow to add it to the design via already existing functional connection interfaces instead. For example, a shared interface for connecting a central processing unit (CPU) and cache memories in SoCs is already used for testing these memories via special MBISTR engines connected to this shared interface. These MBISTR engines have specific features which may impact essentially the validation and test time.

A way for validation and test time reduction is proposed in this paper for the multi-port memories connected to MBISTR engine via a shared interface.

Keywords: memory BIST, test and repair, multi-port memory testing, shared bus architecture, test and validation time reduction, system-on-chip, parallel testing.

Introduction. The experience of several decades shows that the Built-in self-test (BIST) solutions keep up the IC reliability and yield [1]. Once up to 80% of a system-on-chip (SoC) may consist of memories [1] which in that case have a high impact on the SoC yield, one of the possible solutions could be the use of the memory BIST (MBIST) infrastructure [2,3]. This infrastructure has multiple advantages and some of them are listed below:

- A unified interface with MBIST engine (processor) which wraps memory peculiarities via a special component of the infrastructure named “wrapper” (Fig. 1) and allows to use the same processor instructions for essentially differing memories.

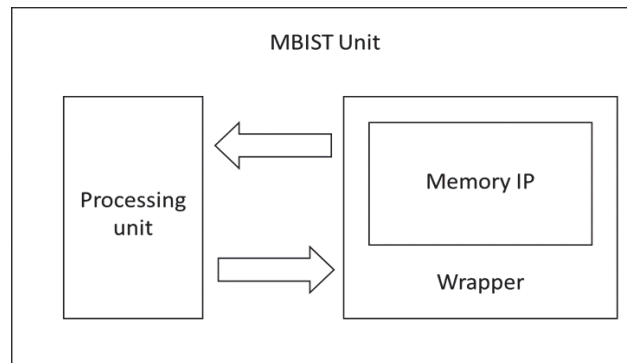


Fig. 1. MBIST processor

- A possibility of merging different processing components of the infrastructure which in the SoC are located sufficiently far from each other in one common test network via a special component named “server”. Moreover, it becomes possible to build a hierarchy of test levels within the network and combine parallel and sequential test of sub-networks inside the network.

- A possibility of merging the test of memories, logic BIST and the test for analog and mixed signal IPs in one network.

- A simultaneous use of different test algorithms within the same test network.

Meantime, the insertion of this infrastructure into a functional design of the given SoC might not be desirable for some customers due to an impact on the reliability and yield of the SoC. In such cases it is preferable to perform built-in test via an interface shared between the functional design and MBISTR [4, 5].

The usage of shared interface has some limits and the deep validation of it must be applied. Testing memories through shared interface takes a relatively long time compared with SMS where the user can test all the memories in parallel. In its turn, the test time has a direct impact on the validation time.

In this paper the memory testing and validation methods are discussed for shared interface architecture. The first paragraph describes the structure of SoC with shared interface. The second and third paragraphs are related to algorithm execution on this architecture. Hence, the validation steps are pointed out. In the last chapter an optimization method is suggested which reduces the validation and test time for multi-port memories.

1. Shared interface architecture. Testing memories can be applied using the functional connections existing in SoC. In this architecture SoC consists of shared interface and the memories. As shown in Fig. 2, there are functional connections between that interface and the memories. The main question is how to test these memories using the existing connections.

To test these memories, information about memory locations is required [6]. Using that information, it is possible to apply test algorithms under considering the limits of the functional connections. In general, the mentioned information should contain the shared interface and memory related descriptions in some specified format.

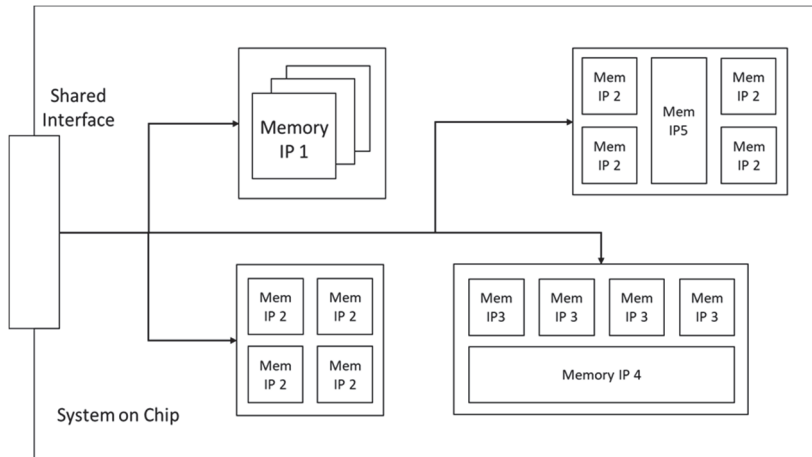


Fig.2. SoC with memories

2. Test algorithm limitations. The architecture specific limitations may exist in the SoCs with shared interface. Some memory ports can be unreachable to that interface or have indirect connections which might change the algorithm execution sequence. Thus, the definition of test algorithms for the case should take into account the peculiarities of the considered architecture.

Application of test operations inside a given algorithm for the considered case also has some specifics.

3. Test operations. The operations used in test algorithm are applied through the shared interface. To implement single read and write operations the corresponding connections should be present in SoC (Table 1, Fig. 3).

Usually the chip-select control for multiple memory instances is implemented via the address bus bits. The “i” in the third line of Table 1 is the corresponding address bit on the shared interface.

Table 1

The bus to memory connections

Bus	Memory Port	Operation
WE_1	WE	Write
RE_1	RE	Read
ADDR_1[i]	CS	Chip-select

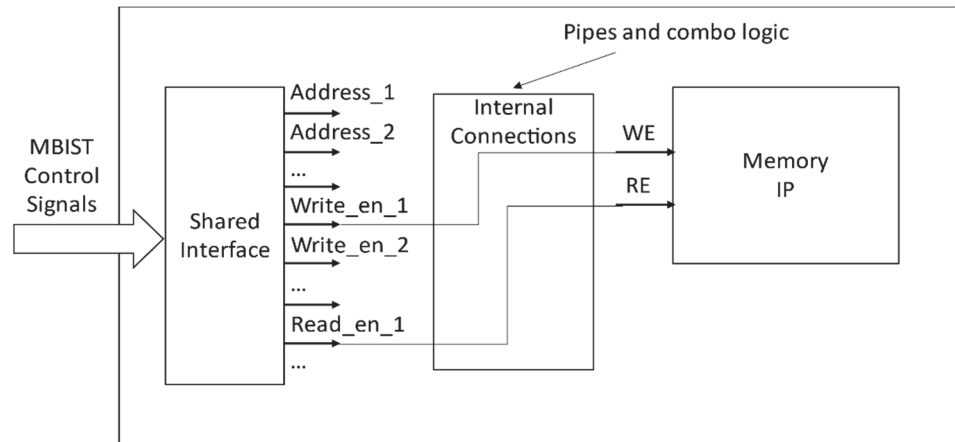


Fig. 3. The bus to the memory connection for a single port memory

If the memory has multiple read and write ports, all read and write ports should be connected to some of the interface outputs. If the memory has two read and write ports then all these ports should be accessed by the shared interface as in Fig. 4, otherwise the memory test is forced to work with the memory as with a single-port memory.

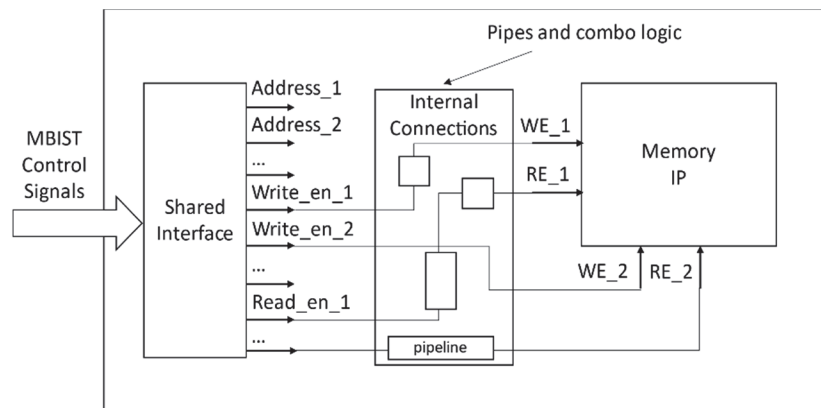


Fig. 4. A multi-port memory connection

4. Validation. Once the MBISTR engine is created, it should be validated: whether the memories in the SoC are tested properly. The validation of such systems includes the generation of the SoC, MBISTR engine, and specific steps of simulation for test algorithms and test environment. From this point of view the SoC generation should create memories with corresponding connections to the shared interface. Next, the MBISTR engine generation step should create a corresponding controller or processor which applies test algorithms to the SoC memories, i.e., should execute these algorithms.

The validation flow has also other steps such as logic synthesis and post synthesis simulation steps which do not impact the considerations in this paper and are not discussed here.

5. A proposed solution. For increasing the scope of validation of the MBIST processor, the SoC generation scenarios must sensitize a large number of different cases, particularly, covering an important branch of testing multi-port memories.

In general, the multi-port memories require more than one driver on the shared interface. For example, if there are two dual-port memory instances which have 64-bit data port (Fig. 5), the shared interface must have two 64-bit data buses.

The simplest way of testing multi-port memories is to apply test algorithms on each memory port for each memory instance located in the SoC. As it was noticed above some of the MBISTR engine buses are factually unused during the validation of test functionality which leads to additional test time and, thus, test time wise is not efficient.

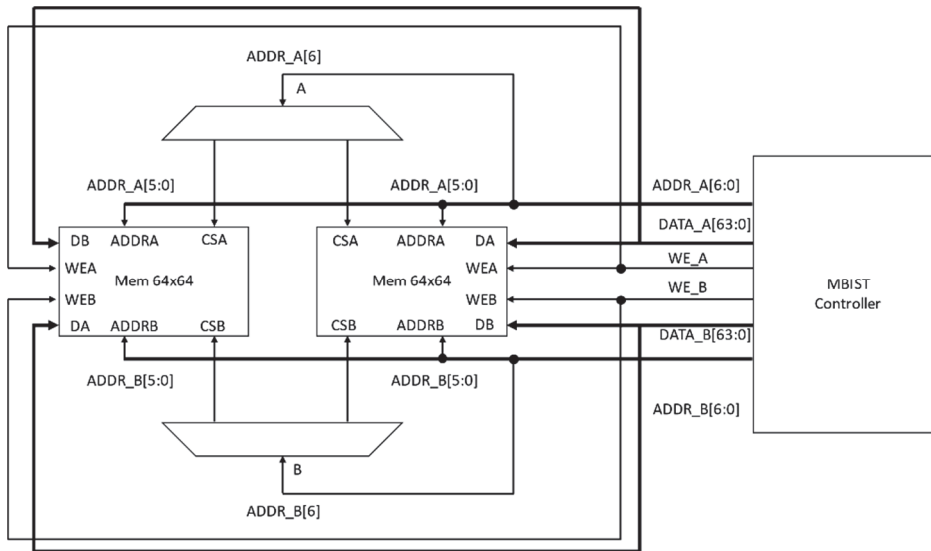


Fig. 5. Two dual-port memories with MBIST controller

On the other hand, there are algorithms that use different ports of one memory instance simultaneously during the memory stress test when the MBISTR engine buses are used for. Nevertheless, it is possible to optimize validation time for the cases, where only one of the memory ports is used.

Let's suppose that an algorithm's execution time is T_A for one port. It is evident that the test time of this algorithm for two dual-port memories is $4T_A$ when each port is tested separately. This time can be reduced if different memory ports of different instances are tested at the same time. To perform this, an additional

switching logic should be added to the MBIST processor. This switching mechanism decides whether the access sharing between multiple memory instances is possible. For the described case, the simulation time is twice reduced by setting different chip select (CSA,CSB) values on the memories. As a result, the test sequence will be executed in this order.

- Run test algorithm with CSA0 := 1, CSA1 := 0; CSB0 := 0, CSB1 := 1.
- Run test algorithm with CSA0 := 0, CSA1 := 1; CSB0 := 1, CSB1 := 0.

Finally, if there are $N=pk$ memory instances (k is a natural number) with $p > 1$ ports, the test time will be reduced by p times.

In fact, the switching unit in the MBIST processor controls the chip select sharing mechanism. It distributes memory chip select signals if the algorithm does not require multiple port access.

Without loss of generality, further considerations will be carried out for three-port memories. The conventional and proposed approaches for testing these memories through A,B and C ports are presented below (Fig. 6, Table 2).

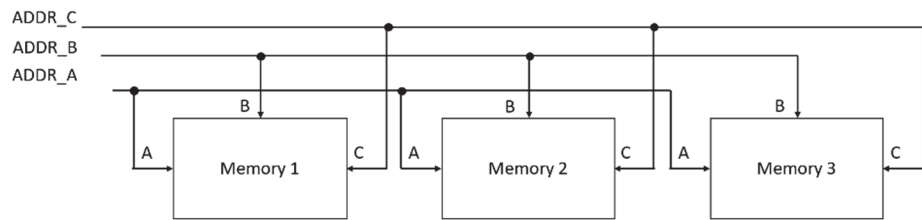


Fig. 6. Connection of three port memories

Table 2

Test Sequence Execution

Step	Access Port Conventional Method	Access Port Proposed Method
1	A1 (A port, first memory)	A1,B2,C3 (3 different memories)
2	B1 (B port, first memory)	A2,B3,C1 (3 different memories)
3	C1 (C port, first memory)	A3,B1,C2 (3 different memories)
4	A2 (C port, second memory)	-
5	B2(C port, second memory)	-
6	C2(C port, second memory)	-
7	A3(C port, third memory)	-
8	B3(C port, third memory)	-
9	C3(C port, third memory)	-

Via this approach, the number of test sequence executions is reduced from 9 to 3. If there are 6 three-port memories, the number of iterations is reduced from 18 to 6. To activate these A, B and C ports, the corresponding chip-select values should be applied in such a way (Table 3).

Table 3

Testing three-port memories

STEP	Chip Select	Memory 1	Memory 2	Memory 3
1	CSA	Active	Inactive	Inactive
	CSB	Inactive	Active	Inactive
	CSC	Inactive	Inactive	Active
2	CSA	Inactive	Active	Inactive
	CSB	Inactive	Inactive	Active
	CSC	Active	Inactive	Inactive
3	CSA	Inactive	Inactive	Active
	CSB	Active	Inactive	Inactive
	CSC	Inactive	Active	Inactive

Actually, the shortening of the validation time reduces on-chip test time too. The switching unit allows the memories to be tested in parallel. Thus, the additional hardware which makes the validation faster does not affect actual memory testing but improves it.

Note that this approach is not applicable for the test algorithms which require access to few memory ports simultaneously, e.g., for testing the memory under stress conditions when an initial approach to the test should be used.

Let us consider an example when there are 10 test algorithms and 2 of them have simultaneous operations on multiple ports (Fig. 7). For the rest - 8 test algorithms, only one port is used during the test run. We consider a memory with 1024 words; each operation takes one cycle on each word. In the initial case where no support is present, each algorithm spends T_{Ai} time. Using the proposed approach, the 8 algorithms will be run two times faster than the initial algorithms. The overall test time is reduced by 37.72%.

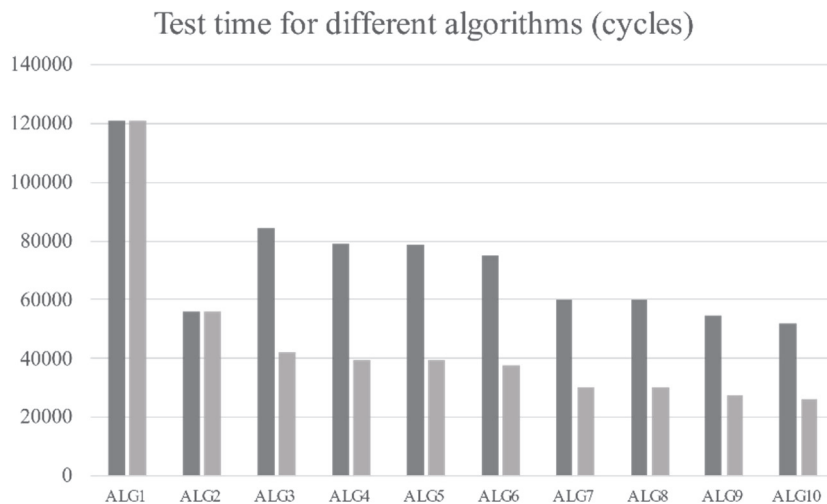


Fig. 7. Test time reduction for dual-port memories

This solution is not applicable for the flows where there are no test algorithms accessing only one of the memory ports.

Conclusion. For multi-port memories tested via a shared interface a corresponding MBISTR engine validation method is suggested for test algorithms that do not deal simultaneously with multiple ports. This method requires some minor changes in the MBISTR engine and reduces the validation time p times as well as the on-chip test time where p is the number of memory access ports.

REFERENCES

1. 2015 International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS).
2. **Zorian Y., Shoukourian S.** Embedded-memory test and repair: infrastructure IP for SoC yield // IEEE Design & Test of Computers. – May-June, 2003. – Vol. 20, no. 3. – P. 58-66.
3. **Shoukourian S., Vardanian V., Zorian Y.** SoC Yield Optimization via an Embedded-Memory Test and Repair Infrastructure // IEEE Design & Test of Computers. - May-June 2004.-Vol. 21, no. 3. - P. 200-207.
4. <https://resources.sw.siemens.com/en-US/video-automating-physical-mapping-on-arm-ip-with-tessent>
5. <https://news.synopsys.com/2014-10-21-Synopsys-STAR-Memory-System-Multi-Memory-Bus-Processor-Enables-10-Percent-Die-Size-Reduction-for-Marvell-SoC>
6. **McLaurin T., Knoth R.** The Challenges of Implementing an MBIST Interface: A Practical Application // IEEE International Test Conference (ITC) . – 2019. – P. 1-6.

National Polytechnical University of Armenia. The material is received on 06.09.2022.

Ա.Վ. ԲԱԲԱՅԱՆ

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԿԱՊՈՒՂԻՈՎ ՄԻԱՑՎԱԾ ՀԻՇՈՂ ՍԱՐՔԵՐԻ ՆԵՐԿԱՌՈՒՑՎԱԾ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՎԱՎԵՐԱՑՄԱՆ ԵՎ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ԿՐՃԱՏՄԱՆ ՍՈՏԵՑՈՒՄ

Հիշող սարքերի ներկառուցված թեստավորման և վերանորոգման համակարգը (MBISTR) կարևոր բաղադրիչ է բյուրեղի ելքի տոկոսը բարձրացնելու համար՝ ինտեգրալային սխեմաների արդյունաբերության նորանոր մարտահրավերների պայմաններում, որտեղ հիշող սարքերը գերակշիռ մաս են կազմում են: Համակարգում առկա բազմաթիվ հիշող սարքերը հարմար է ստուգել ընդհանուր թեստավորման ցանցի միջոցով: Մինևս ժամանակ, որոշակի նախագծերում չի թույլատրվում ավելացնել այս թեստավորող ցանցը նոր միացումներով, փոխարենը՝ առաջարկելով օգտագործել առկա ֆունկցիոնալ միացումներով ինտերֆեյսները: Օրինակ, կենտրոնական մշակման հանգույցը (CPU) և քեշ հիշողությունները իրար միացնող ընդհանուր կապուլին և կապուլն միացված հատուկ MBISTR

համակարգերն արդեն իսկ օգտագործվում են այդ հիշողությունները թեստավորելու համար: Այս MBISTR համակարգերն ունեն որոշակի առանձնահատկություններ, որոնք կարող են զգալի կերպով ազդել վավերացման և թեստավորման ժամանակի վրա:

Առաջարկվում է ընդհանուր կապուղուն միացված բազմապորտ հիշողությունները թեստավորող համակարգի վավերացման և թեստավորման ժամանակի կրճատման մոտեցում:

Առանցքային բաղադրատեսակներ. հիշողությունների թեստավորում, թեստավորում և վերանորոգում, բազմապորտ հիշողությունների թեստավորում, ընդհանուր կապուղով ճարտարապետություն, թեստավորման և վավերացման ժամանակի կրճատում, համակարգ բյուրեղի վրա, զուգահեռ թեստավորում:

А.В. БАБАЯН

ПОДХОД К СОКРАЩЕНИЮ ВРЕМЕНИ ПРОВЕРКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ САМОТЕСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАМЯТИ ЧЕРЕЗ ОБЩИЙ ИНТЕРФЕЙС

Встроенная система самотестирования и восстановления памяти (MBISTR) является ключевым компонентом в повышении производительности системы на кристалле (SoC) в условиях появления новых задач в промышленности интегральных схем, где память очень часто составляет основную часть кристалла. Когда у данного кристалла огромное количество памяти, удобно тестировать их через общую тестовую сеть. Между тем некоторые проекты не позволяют вставить эту тестовую и восстановительную сеть в уже существующий функциональный проект путем добавления новых узлов в существующие, но вместо этого позволяют добавить ее в проект через уже существующие функциональные соединения с интерфейсом. Например, общий интерфейс для подключения центрального процессора (CPU) и кэш-памяти в кристалле уже используется для тестирования этой памяти через специальные механизмы MBISTR, подключенные к общему интерфейсу. Эти механизмы MBISTR имеют определенные функции, которые могут существенно повлиять на время проверки и тестирования.

Предлагается способ сокращения времени проверки и тестирования многопортовой памяти, подключенной к механизму MBISTR через общий интерфейс.

Ключевые слова: встроенное самотестирование памяти, тестирование и восстановление, тестирование многопортовой памяти, архитектура с общим интерфейсом, сокращение времени проверки и тестирования, система на кристалле, параллельное тестирование.

Պ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ԻՆՔՆԱՏԱՔԱՑՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԵՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԾԱԽՄԻ
ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՑԱԾԻ ԷՆԵՐԳԱՍՊԱՌՄԱՍԲ ԱՆԱԼՈԳԱ-
ԹՎԱՅԻՆ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ**

Կատարվել է ինտեգրալ սխեմաներում ինքնատաքացման երևույթի և հզորության ծախսի կախվածության հետազոտումը: Որպես օրինակ օգտագործվել է ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչը: Կերպափոխիչի համար ցույց է տրվել ինքնատաքացման էֆեկտների լավացումը:

Առանցքային բառեր. ինքնատաքացում, ինտեգրալ սխեմա, ՄՕԿ, տրանզիստոր, անալոգա-թվային կերպափոխիչ, էներգասպառում:

Ներածություն. Ինտեգրալ սխեմաների հուսալիությունը դառնում է ավելի ու ավելի կարևոր խնդիր՝ շնորհիվ դրանց օգտագործման ընդլայնման և տեխնոլոգիաների արագ զարգացման:

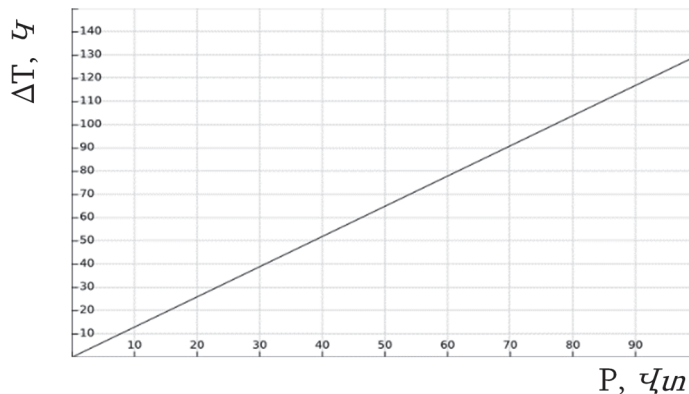
Ինտեգրալ սխեմաների հուսալիության հիմնական խնդիրներից է ինքնատաքացումը, որը տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացմանը զուգահեռ դառնում է առավել նշանակալի դրանց նախագծման ժամանակ: Մա տեղի է ունենում տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացման հետևանքով ինտեգրալ սխեմայում էլեմենտների փոքրացման և հետևաբար՝ քանակի շատացման արդյունքում, ինչը հանգեցնում է ավելի մեծ էներգիայի ծախսի, որից և անմիջապես կախված է ինքնատաքացումը: Բացի էլեմենտների քանակից, տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացումը ապահովում է նաև էլեմենտների արագագործություն, ինչը նույնպես հանգեցնում է ավելի մեծ էներգասպառման: Քանի որ ինքնատաքացումը ուղիղ կախված է էներգասպառումից, հետևաբար՝ ինքնատաքացման երևույթների նվազեցման մեթոդներից է էներգասպառման նվազեցումը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Ինքնատաքացումը ինտեգրալ սխեմաներում կարելի է բաժանել երկու ենթահատվածների: Առաջինը ինքնատաքացումն է հաղորդիչներում, որը հաշվարկվում է Ջոուլի բանաձևով, իսկ երկրորդը՝ տրանզիստորների ինքնատաքացումը: Անալոգա-թվային կերպափոխիչը ուսումնասիրելու համար բավարար է միայն տրանզիստորների ինքնատաքացման հաշվարկը: ՄՕԿ տրանզիստորներում ջերմաստիճանը ուղիղ կախված է հզորությունից [1, 2]: Եթե հաշվի առնենք այն, որ ջերմաստիճանի փոփոխությունը տեղի չի ունենում ակնթարթորեն, կարելի է ասել, որ ջերմաստիճանի փոփոխությունը գծայնորեն կախված է հզորության միջին քառակուսայինից:

$$\Delta T = R_{th} * P_{rms},$$

որտեղ R_{th} կոչվում է ջերմաստիճանային գործակից կամ ջերմաստիճանային դիմադրություն: Որքան մեծ է ծախսված հզորությունը, այնքան բարձր է կանալի ջերմաստիճանը: R_{th} գործակիցը, որը կախված է սարքի կառուցվածքի պարամետրերից, հավասար է ջերմաստիճան-հզորություն կախվածությունը ցույց տվող ուղղի կորությանը: R_{th} կարելի է հեշտությամբ հաշվարկել՝ ունենալով տրանզիստորի կառուցվածքի պարամետրերը:

Նկ. 1-ում ցույց է տրված ջերմաստիճանի կախումը հզորության միջին քառակուսայինից: Ծախսված հզորության նույն արժեքի դեպքում, ավելի նոր տեխնոլոգիական գործընթացում օգտագործվող տրանզիստորի համար, ավելի մեծ ջերմաստիճանի փոփոխություն է ստացվում [3]: Այս հանազամանքը ավելի է կարևորում ինքնատաքացման երևույթի ճշգրիտ գնահատումը, քանի որ ավելի նոր տեխնոլոգիական գործընթացների դեպքում ինքնատաքացումով պայմանավորված փոփոխություններն ավելի մեծ են:



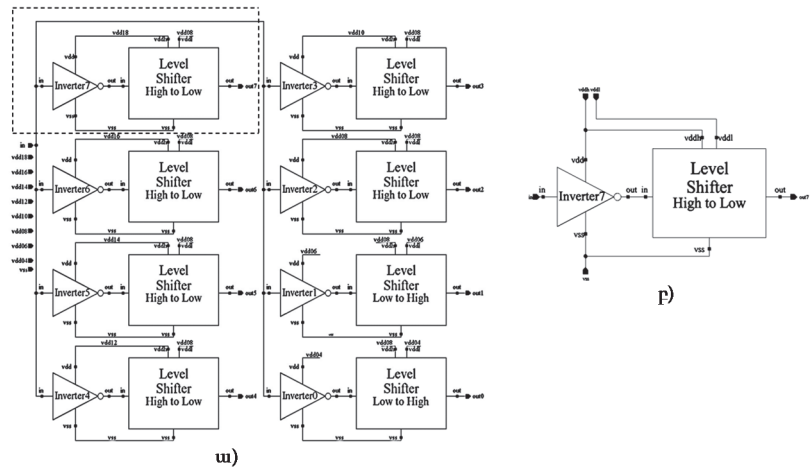
Նկ. 1. Ջերմաստիճանի կախումը հզորության միջին քառակուսայինից

Աշխատանքում օգտագործված FinFet տրանզիստորի մոդելի համար ջերմաստիճանային գործակիցը հաշվվում է հետևյալ բանաձևով [4].

$$R_{th} = \frac{RTH0}{NF * (WTH0 + FPITCH * NFIN)},$$

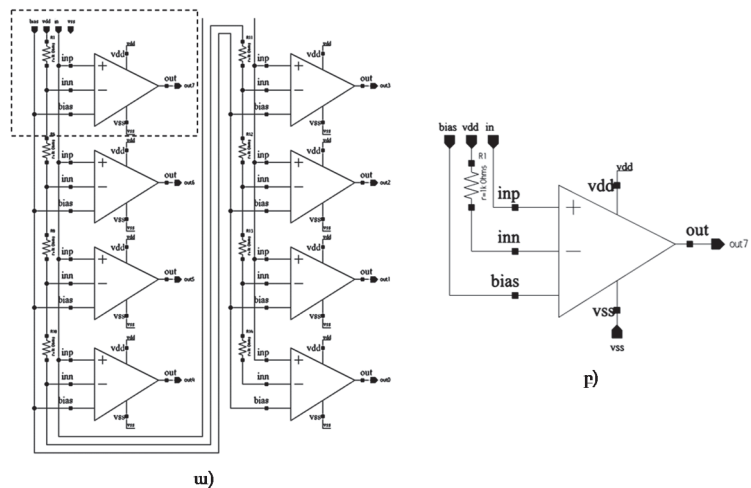
որտեղ RTH0-ն և WTH0-ն գործակիցներ են, որոնք կախված են տրանզիստորի տիպից, ձևից և օգտագործվող նյութերից, NF-ը իրար հետ համակցված տրանզիստորների քանակն է, FPITCH-ը՝ ֆինի կամ ֆիների քայլը, իսկ NFIN-ը՝ ֆիների քանակը: Օգտվելով այս տվյալներից՝ կարելի է ուսումնասիրել ինքնատաքացման երևույթի կախումը հզորության ծախսից անալոգա-թվային կերպափոխիչի օրինակով:

Հետազոտության արդյունքները: Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի և դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչի ջերմաստիճանային հատկությունների տարբերությունը էներգախնայության արդյունքն է [5]:



Նկ.2. Ցածր էներգասպառմամբ գույզահեռ անալոգային-թվային կերպափոխիչի սխեման (ա), շրջիչի և լարման մակարդակի փոխարկիչի կառուցվածքը (բ)

Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի ջերմաստիճանային հատկությունների ուսումնասիրությունը կատարվում է դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչի հետ համեմատելու միջոցով: Կերպափոխիչների սխեմաները ներկայացված են նկ. 2-ում և 3-ում: Որպես անալոգա-թվային կերպափոխիչի դասական մոդել է ընտրված գույզահեռ անալոգա-թվային կերպափոխիչը:



Նկ. 3. Դասական գույզահեռ անալոգային-թվային կերպափոխիչի սխեման (ա), դիմադրության և համեմատիչի կառուցվածքը (բ)

Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի և դասականի պարամետրերի տարբերությունը ներկայացված է աղյուսակում: Ընդհանուր առմամբ կարող ենք ասել, որ ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչը մոտ 100 անգամ ավելի քիչ հզորության ծախս ունի, քան դասականը:

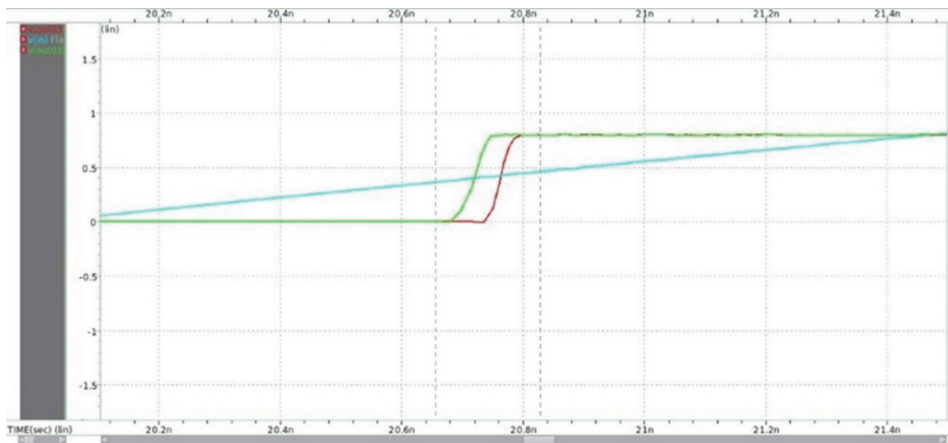
Աղյուսակ

Դասական և ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչների էներգիայի սպառման համեմատություն

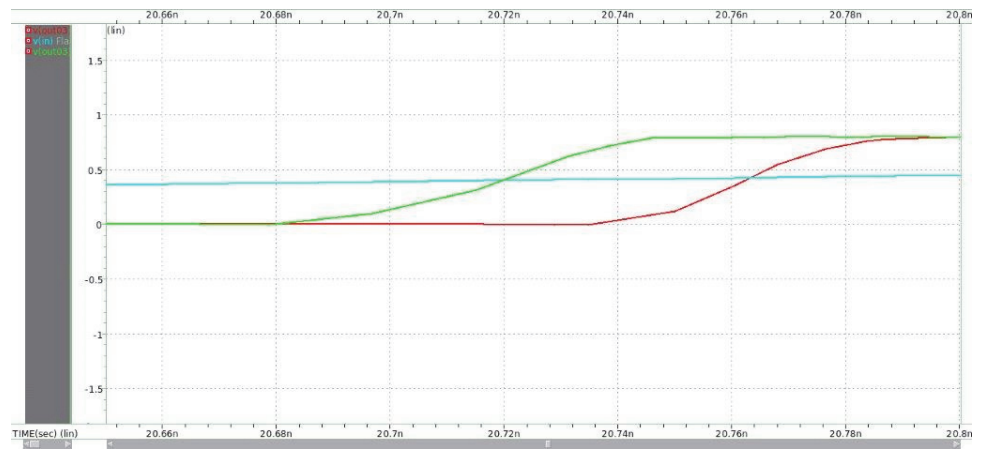
	Դասական կերպափոխիչ	Ցածր էներգասպառմամբ կերպափոխիչ
Էներգասպառում	8.033e-03W	7.358e-05W

Ինքնատաքացման հետևանքները հետազոտելու համար դիտարկվել է նույն մուտքային ազդանշանի դեպքում երկու անալոգա-թվային կերպափոխիչների ելքային ազդանշաններից մեկը: Որպես մուտքային ազդանշան օգտագործվել է սինուսոիդային ազդանշան 50 *ՄՀ* հաճախականությամբ և 1,8 *Վ* լարման ամպլիտուդով:

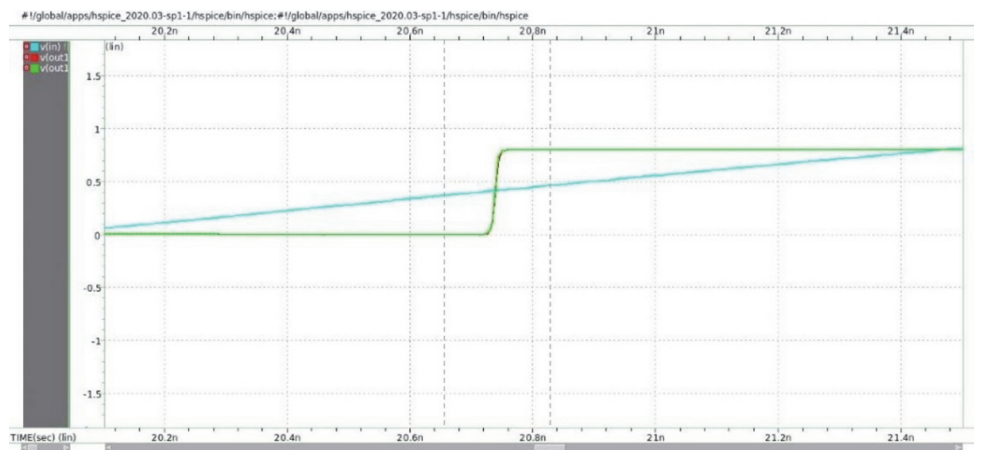
Նկ.4-ում և 5-ում ներկայացված է դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչի մուտք-ելք բնութագիրը՝ մեկ ելքային ազդանշանի համար: Նկ. 4-ում կետագծված հատվածը ավելի խոշորացված ներկայացված է նկ. 5-ում: Նույնպիսի բնութագրեր պատկերված են նկ. 6-ում և 7-ում ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչի համար:



Նկ.4. Դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-ելք բնութագիրը մեկ ելքային ազդանշանի դեպքում

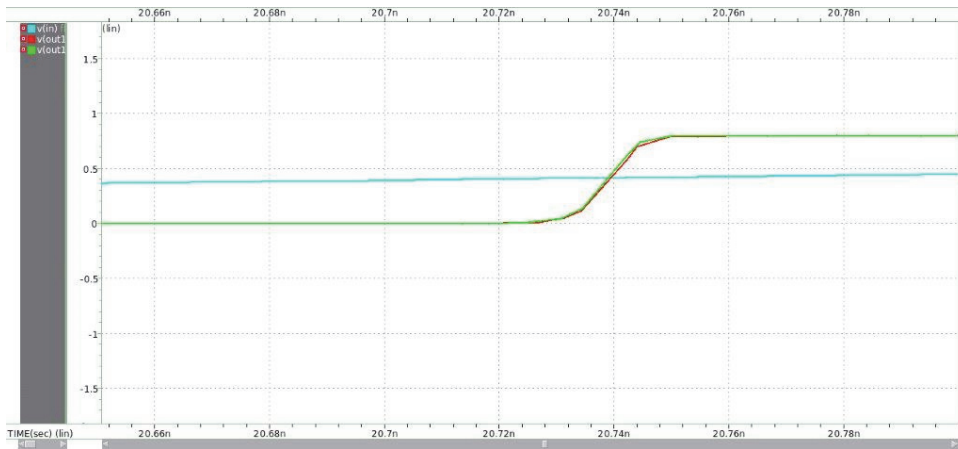


Նկ. 5. Դասական անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-ելք բնութագիրը փոխանցատման պահին մեկ ելքային ազդանշանի դեպքում



Նկ. 6. Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-ելք բնութագիրը մեկ ելքային ազդանշանի դեպքում

Նկ. 4, 5, 6 և 7-ում ներկայացված են մուտքային ազդանշանը, ելքային ազդանշանը և նրա տեղաշարժը ինքնատաքացման հետևանքով: Դասական ճարտարապետության դեպքում ազդանշանի տեղաշարժը դեպի աջ բավականին զգալի է, իսկ ցածր էներգասպառմամբ աշխատող ճարտարապետության դեպքում՝ աննշան:



Նկ. 7. Ցածր էներգասպառմամբ անալոգա-թվային կերպափոխիչների մուտք-էլք բնութագիրը փոխանջատման պահին մեկ էլքային ազդանշանի դեպքում

Փոխանջատման կետի խոշորացված հատվածից պարզ երևում է, որ հզորության քիչ ծախսի հետևանքով ինքնատաքացման երևույթները գրեթե բացակայում են: Դասականի դեպքում ինքնատաքացման հետևանքով դիտարկվում է կորի տեղաշարժ, ինչը կարող է հանգեցնել ընդհանուր սխեմայի աշխատանքի խնդիրների: Եթե նույնիսկ ընդունել, որ այս փոփոխությունները փոքր են, չի կարելի հաշվի չառնել ընդհանուր երևույթի առկայությունը, քանի որ մուտքային ազդանշանի մեծացումը հանգեցնում է հզորության ծախսի աճի՝ էքսպոնենցիալ օրենքով:

Եզրակացություն: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ինքնատաքացման հետևանքների դեմ պայքարի ամենաարդյունավետ մեթոդներից մեկը հզորության ծախսի նվազեցումն է: Անալոգա-թվային կերպափոխիչների օրինակով երևում է էներգասպառման նվազեցման ազդեցությունը ինքնատաքացման վրա:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Zhang X., Mehr P., Vasileska D., Thornton T. Self-Heating in SOI MOSFETs at the 45nm Node // 2018 IEEE 13th Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC).-USA, 2018.-P. 1-4.
2. Self-heating effect in FinFETs and its impact on devices reliability characterization / S. Liu, J. Wang, Y. Lu, D. Huang, et al // 2014 IEEE International Reliability Physics Symposium.-USA, 2014.-P. 4A.4.1-4A.4.4.
3. Self-heating on bulk FinFET from 14nm down to 7nm node / D. Jang, E. Bury, R. Ritzenthaler, M. Bardon, et al // International Electron Devices Meeting (IEDM).-USA, 2015.-P. 11.6.1-11.6.4.
4. BSIM-CMG 107.0.0: Multi-gate MOSFET compact model: technical manual / V. Sriramkumar, N. Paydavosi, J. Duarte, D. Lu, et al // Department of Electrical Engineering and Computer Sciences University of California.-USA, 2013.-1st edn.-P. 122.

5. Low Power Analogue-Digital Converter Model / **V.S. Melikyan, G.A. Abgaryan, P.S. Petrosyan, et al** // Journal of Contemporary Physics.–2021.–56.–P. 275–279

Երևանի պետական համալսարան: «Մինոփսիս Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտ: Զայլինքս Արմենիա: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.07.2022:

П.С. ПЕТРОСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЯВЛЕНИЯ САМОНАГРЕВА ОТ
РАСХОДА МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

Проведено исследование зависимости явления самонагрева от расхода мощности в интегральных схемах. В качестве примера был использован аналого-цифровой преобразователь с низким энергопотреблением. Показано улучшение эффектов самонагрева для преобразователя.

Ключевые слова: самонагрев, интегральная схема, металл-оксид-полупроводник (МОП), транзистор, аналого-цифровой преобразователь, энергопотребление.

P.S. PETROSYAN

**STUDYING THE DEPENDENCE OF SELF-HEATING AND ENERGY
CONSUMPTION ON THE EXAMPLE OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER
WITH LOW POWER CONSUMPTION**

The relationship between the phenomenon of self-heating and power consumption in integrated circuits is studied. A low power analog-to-digital converter is used as an example. The improvement in self-heating effects has been demonstrated for the converter.

Keywords: self-heating, integrated circuit, MOS, transistor, analog-to-digital converter, power consumption.

UDC 621.3.049.77

MICROELECTRONICS

DOI: 10.53297/0002306X-2022.v75.3-431

A.V. VARDUMYAN

AN EFFICIENT PRIMARY POPULATION INITIALIZATION METHOD FOR METAHEURISTIC ALGORITHMS

It is widely recognized that convergence capabilities of metaheuristic optimization algorithms can be enhanced by properly chosen initial population. Most of the state-of-the-art initialization techniques are suffering from numerous shortcomings, that ultimately make them non-viable or not efficient enough. To overcome this, this paper proposes a new algorithm for population initialization, which adopts the approach of dividing the search space into nested cubes and picking edge-points for sampling. Based on the data obtained after testing the method on 8 complex benchmark functions against other popular initialization strategies in the scope of WOA algorithm, the proposed approach outperformed all of the candidates in finding the global optimum.

Keywords: metaheuristic algorithm, population initialization, swarm intelligence, evolutionary algorithm.

Introduction. Solving optimization problems generally indicates traversing through the set of all feasible solutions, that satisfy the given constraints in order to identify the one that, depending on the problem statement, either minimizes or maximizes the figure of merit (FOM). These problems, when expressed via mathematical expressions or functions, can have a variable number of properties, control parameters and diverse behavior (continuous/discrete, linear/nonlinear, etc.). So, the general problem formulation is as follows:

$$\text{minimize/maximize } f(x), \text{ subject to: } x_{j_{lb}} \leq x_j \leq x_{j_{ub}} \text{ for all } j = 1, 2, \dots, D,$$

where $f(x)$ is the objective function, the value of which for the given $x = [x_1, x_2, \dots, x_D]$ represents the FOM and $x_{j_{lb}}/x_{j_{ub}}$ represent the lower and upper bounds of the search space, respectively.

So far numerous approaches have been devised to tackle this kind of problems, each having their advantages and drawbacks. For instance, among the most popular precise methods being the Gradient Descent, which requires the target function to be convex and needs to calculate its derivatives for each domain point (i.e., it should be differentiable), which for most non-conventional situations is not implementable. On the contrary, there are sets of approximate solution finding approaches that do not impose specific limitations on the objective function

but sacrifice some of the accuracy. These include evolutionary algorithms [Differential Evolution (DE), Genetic Algorithms (GA), etc.] [1] and nature-inspired metaheuristics or so-called swarm-based intelligence [Whale Optimization Algorithm (WOA), Ant-Lion Optimizer (ALO), Gray Wolf Optimizer (GWO), etc.] [2]. Recent particular interest in this type of optimization routines stems from their generalization possibilities, relative ease of implementation and sufficient reduction in the amount of calculations required through iterations. So, it comes as no surprise that more and more natural phenomenon are getting mathematically modelled to simulate certain behaviors and thus designing new algorithms.

One particular step that is crucial for efficient operation in all of them is primary population initialization [3]. Since all of these stochastic techniques operate on populations of individuals (potential solutions or x vectors), properly chosen initial population can give a kickstart to the search process or cause it to stagnate and eventually get stuck in local optima. To surmount that obstruction a number of initialization techniques have been proposed, the primary goal of which is to distribute individuals in the search space as uniformly as possible, thus increasing the odds of finding global optimum [4]. Some of the most widely utilized ones are PRNG, CI, OBL and LHS.

Pseudo-random number generator (PRNG) is by far the most commonly used initialization technique, which generates truly random number sequences scattered across the search space. The only external parameter that can control the generation process is the “seed”, that controls the process. The primary downside of this approach is inability to guarantee sufficient coverage of the search space.

Chaotic initialization (CI) is characterized by the chaos theory [5] and has been successfully implemented for metaheuristic algorithms [6]. To generate numbers this approach uses chaotic maps (e.g., Gauss map, tent map, etc.), which produce real values that can be exploited to generate numbers of interest via scaling. The drawback of this technique is the likeliness to miss out on potentially significant features when scaling up to higher dimensions, which is also known as the “curse of dimensionality”.

Latin hypercube sampling (LHS) is a statistical method, that generates near-random numbers satisfying additional constraint apart from search space limitations [7]. That being if the area is divided into equally spaced grid mesh, called Latin squares, then each row and each column should have only a single sampling point, which leads adequate representation of problem dimensions in the population [8]. Similar to CI, this strategy also suffers from the “curse of dimensionality”.

Opposition-based learning (OBL) is comprised of 2 steps, in which during the first one a population P is initialized for a given number of individuals using

any of the above or other methods based on that the opposite population Y is generated via the following formula:

$$Y[i, j] = UB[j] + LB[j] - P[i, j]; \text{ for } i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, D,$$

where $P[i, j]$ is the j_{th} parameter of the i_{th} individual in population P , $UB[j]$ and $LB[j]$ are the upper and lower bounds for the j_{th} parameter respectively, and $Y[i, j]$ is the corresponding opposite parameter. Finally, a subset of best individuals based on fitness is chosen from both P and Y , which gets returned as the final result [9]. Though it was successfully implemented for metaheuristics [10], the major shortcoming of this method is the need for $2 * N$ function evaluations to generate a population of N individuals, which tends to be computationally expensive if the FOM is not a regular function, but for instance a circuit that needs to be simulated to get the fitness value.

The proposed approach. To overcome the above-mentioned issues from which other algorithms are suffering, a Double-diagonal uniform initialization (DDUI) technique is proposed in which the entire process is divided into several steps. As a first step, the entire search space is divided into $N/4$ nested cubes, the final points will be the 4 edge points of each cube. That is achieved via diagonals that are going through the space and crossing each other (in this paper they are regarded as the main and the secondary diagonals). Examples of what the endpoints might look like for 2D, and 3D planes are presented in Fig. 1 (a) and (b) respectively, in which red marks indicate the final sampling points that should be returned.

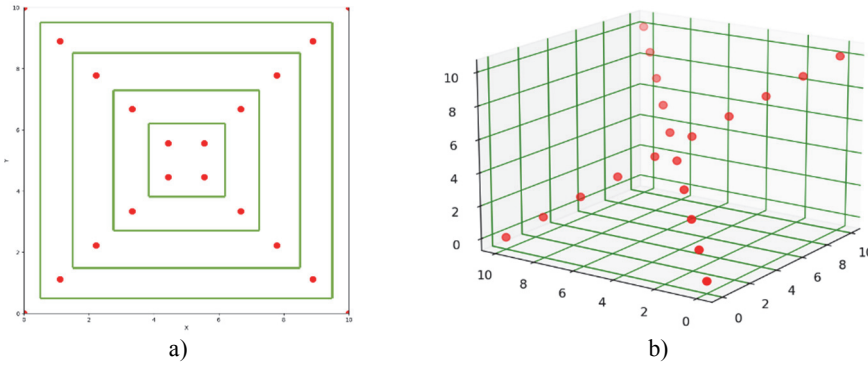


Fig. 1. DDUI sampling points for 2D plane (a) and 3D plane (b)

```

Input: Population size  $N$ , values upper bounds  $UB$ , values lower bounds  $LB$ 
number of dimensions  $D$ 
Output: Initialized population
// Calculate number of points on each diagonal
main_diag, second_diag = 0
if  $N \bmod 4 = 0$ 
    main_diag = second_diag =  $\lfloor N/2 \rfloor$ 
else if  $(N - 1) \bmod 4 = 0$ 
    main_diag = second_diag =  $\lfloor N/2 \rfloor + 1$ 
else
    return Error
end if
Allocate memory for population  $P(x_{i,j})_{N \times D}$ 
    or  $P(x_{i,j})_{(N+1) \times D}$  if main_diag modulo 2 = 1
Initialize main diagonal
Initialize secondary diagonal
// Remove duplicate point
Delete  $P[\text{main\_diag}/2]$  if main_diag modulo 2 = 1
return  $P(x_{i,j})$ 

```

Algorithm 1. DDUI main routine

```

for  $i$  in range(1,2, ..., main_diag)
    if  $i = 1$ 
         $P[i] = LB$ 
    else if  $i = \text{main\_diag}$ 
         $P[i] = UB$ 
    else
        for  $j$  in range(1,2, ...,  $D$ )
             $dx = (UB[j] - LB[j]) / (\text{main\_diag} - 1)$  // Step
             $P[i, j] = LB[j] + i * dx$ 
        end for
    end if
end for

```

Algorithm 2. DDUI main diagonal initialization

```

for  $i$  in range(1,2,...,second_diag)
    if  $i = 1$ 
         $P[\text{main\_diag} + i]$ 
            = merge(every second element from LB starting from 1
                + every second element from UB starting from 2)
    else if  $i = \text{second\_diag}$ 
         $P[\text{main\_diag} + i]$ 
            = merge(every second element from UB starting from 1
                + every second element from LB starting from 2)
    else
        for  $j$  in range(1,2,...,D)
             $dx = (UB[j] - LB[j]) / (\text{second\_diag} - 1)$  // Step
            if  $j \bmod 2 = 0$ 
                 $\text{new\_value} = LB[j] + i * dx$ 
            else
                 $\text{new\_value} = UB[j] - i * dx$ 
            end if
             $P[\text{main\_diag} + i, j] = \text{new\_value}$ 
        end for
    end if
end for

```

Algorithm 3. DDUI secondary diagonal initialization

The point coordinate calculation process starts from initial memory allocation and parameter setting as depicted in Algorithm 1. Afterwards the computational process begins for the main and the secondary diagonals, the pseudo-codes for which are presented in Algorithm 2 and Algorithm 3, respectively. In terms of implementation complexity, the entire process involves only several loops and does not conduct any auxiliary calculations and as experiments will further show, the performance does not decline with increasing the dimensionality of the problem.

The only limitation that gets imposed to the user by this technique is that the number of the sampling points cannot be arbitrary, but rather should be either $4 * i$ or $4 * i + 1$, where $i = 1, 2, 3, \dots$, but this still covers most commonly used round numbers like 20, 40, 100, etc.

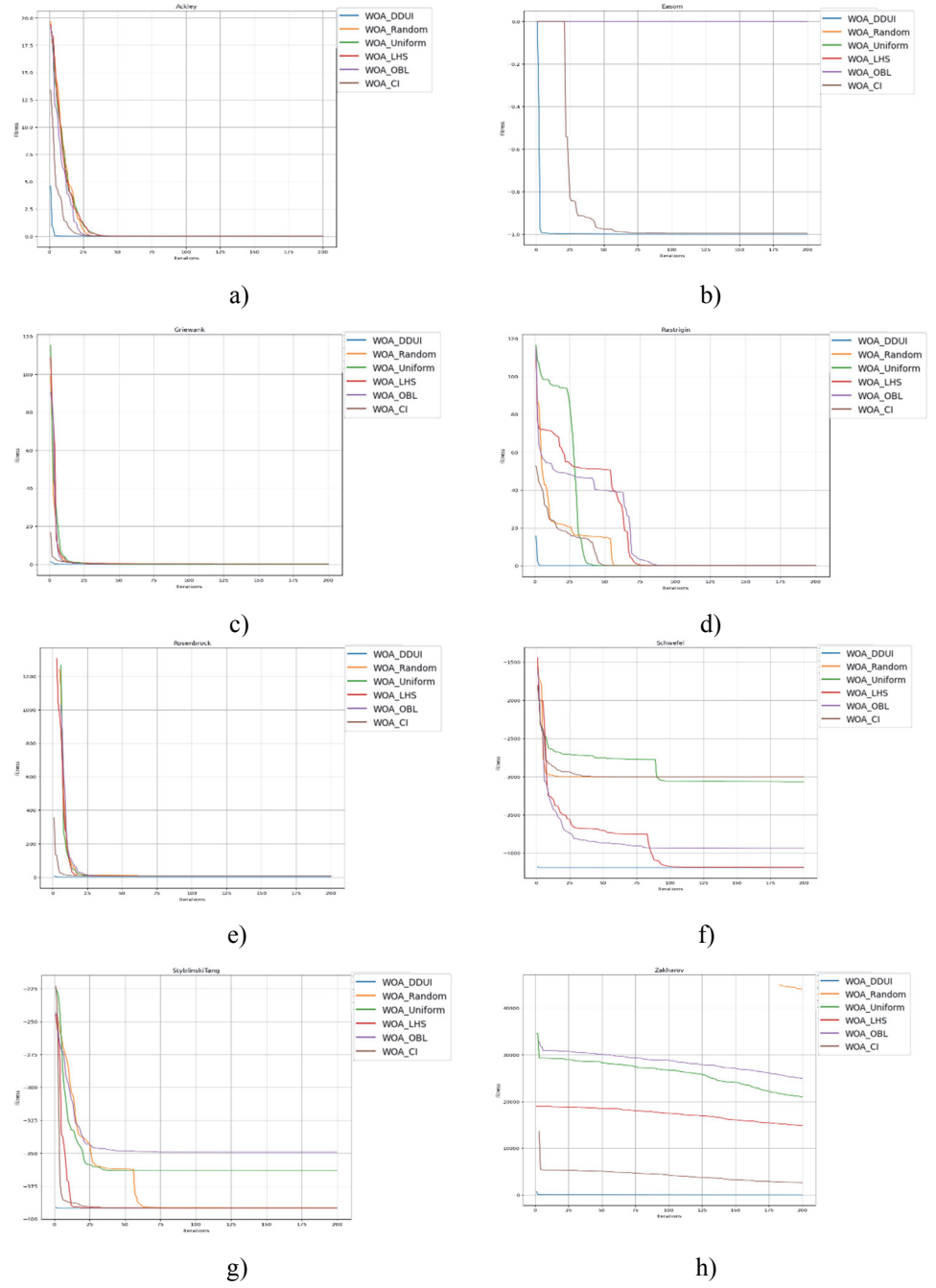


Fig. 2. Convergence plots of different initialization methods on 8 benchmark functions: Ackley (a), Easom (b), Griewank (c), Rastrigin (d), Rosenbrock (e), Schwefel (f), Styblinski-Tang (g), Zakharov (h)

Table 1

Comparison of different initialization methods (dimensions = 10)

Func	Value	DDUI	Uniform	LHS	OBL	CI
1	2	3	4	5	6	7
f_1	Best	0	0	0	0	3.55E-15
	Worst	1.07E-14	1.42E-14	1.42E-14	1.42E-14	1.42E-14
	Mean	5.51E-15	5.86E-15	6.22E-15	6.39E-15	6.04E-15
f_2	Best	-1	0	0	0	-1
	Worst	-0.995393	0	0	0	0
	Mean	-0.998617	0	0	0	-0.42688
f_3	Best	0	0	0	0	0
	Worst	0	0.474477	0.447371	0.248930	0.74061
	Mean	0	0.115378	0.061806	0.055661	0.11250
f_4	Best	0	0	0	0	0
	Worst	1.42E-14	0	38.40678	59.52248	6.20447
	Mean	7.11E-16	0	3.165975	6.439556	0.31022
f_5	Best	5.29E-09	5.156798	0.006609	0.006203	0.00043
	Worst	0.007103	7.165505	7.180006	7.206342	7.19182
	Mean	0.000926	6.488363	6.474888	6.155187	5.64577
f_6	Best	-4189.828	-4189.748	-4189.828	-4189.818	-4189.82
	Worst	-4189.598	-2650.022	-2662.835	-2664.699	-2345.75
	Mean	-4189.793	-3411.158	-3531.479	-3597.201	-3798.93
f_7	Best	-391.6616	-391.6587	-391.6614	-391.6557	-391.659
	Worst	-391.6549	-320.6448	-334.3338	-333.9817	-391.619
	Mean	-391.6604	-370.3126	-383.0364	-378.7673	-391.647
f_8	Best	4.499357	10103.10	8090.126	9829.655	45.7919
	Worst	8.584559	35568.96	42038.54	34923.42	22127.7
	Mean	6.389910	19309.57	23440.08	22512.79	5920.59

Experimental results. To comparatively evaluate the effectiveness of the proposed method a set of 8 benchmark functions was chosen, that contains both unimodal and multimodal functions with narrow global and numerous local optimums. Namely the benchmarks are Ackley (f_1), Easom (f_2), Griewank (f_3), Rastrigin (f_4), Rosenbrock (f_5), Schwefel (f_6), Styblinski-Tang (f_7) and Zakharov (f_8) [11]. As an optimization routine one of the most recent additions to swarm-based intelligence algorithms family, namely the Whale optimization algorithm (WOA) [12] was chosen, that has since gained a lot of popularity and modification proposals [13, 14]. The WOA mathematically models the hunting behavior of humpback whales and offers several routines for exploration and exploitation. As reference initialization candidates for DDUI evaluation Uniform PRNG, LHS, OBL based on uniform PRNG and CI with tent-map as a chaotic map were chosen.

Table 2

Comparison of different initialization methods (dimensions = 50)

Func	Value	DDUI	Uniform	LHS	OBL	CI
1	2	3	4	5	6	7
f_1	Best	3.55E-15	0	0	3.55E-15	3.55E-15
	Worst	7.11E-15	1.42E-14	1.42E-14	1.42E-14	1.42E-14
	Mean	5.15E-15	6.04E-15	6.39E-15	8.70E-15	7.46E-15
f_2	Best	-1	0	0	0	-1
	Worst	-0.215439	0	0	0	0
	Mean	-0.855592	0	0	0	-0.10789
f_3	Best	0	0	0	0	0
	Worst	0	0.312606	0.224252	0	0.25278
	Mean	0	0.015631	0.011213	0	0.01264
f_4	Best	0	0	0	0	0
	Worst	0	5.68E-14	0	5.68E-14	5.68E-14
	Mean	0	2.84E-15	0	2.84E-15	2.84E-15
f_5	Best	1.21E-05	46.94658	47.25961	47.57934	4.90902
	Worst	0.363177	48.48067	48.51746	48.52713	48.5143
	Mean	0.022933	47.94278	47.87552	47.89927	45.7317
f_6	Best	-20949.14	-20945.48	-20947.02	-20947.64	-20948.5
	Worst	-20946.24	-12764.78	-14170.39	-14634.68	-14999.6
	Mean	-20948.70	-17584.73	-18355.21	-18933.11	-18982.1
f_7	Best	-1958.308	-1958.258	-1958.181	-1958.084	-1958.28
	Worst	-1958.237	-1457.922	-1591.349	-1552.201	-1956.58
	Mean	-1958.294	-1915.232	-1886.188	-1834.910	-1957.87
f_8	Best	201.2862	129088.2	149936.4	133597.9	23044.3
	Worst	215.3145	187324.9	223126.8	210587.4	159037
	Mean	208.6043	156493.7	176492.5	168902.9	52760.3

Table 3

Comparison of different initialization methods (dimensions = 100)

Func	Value	DDUI	Uniform	LHS	OBL	CI
1	2	3	4	5	6	7
f_1	Best	3.55E-15	3.55E-15	0	0	3.55E-15
	Worst	1.42E-14	1.42E-14	1.42E-14	1.42E-14	7.11E-15
	Mean	7.11E-15	7.28E-15	5.33E-15	6.04E-15	5.86E-15
f_2	Best	-1	0	0	0	-0.99997
	Worst	-0.003422	0	0	0	0
	Mean	-0.682719	0	0	0	-0.39638
f_3	Best	0	0	0	0	0
	Worst	0	0	0	0	0
	Mean	0	0	0	0	0
f_4	Best	0	0	0	0	0
	Worst	0	2.27E-13	1.14E-13	1.14E-13	0
	Mean	0	1.14E-14	5.68E-15	5.68E-15	0

Continuation of the Table 3

1	2	3	4	5	6	7
f_5	Best	1.45E-07	97.34662	97.80314	97.31989	97.2842
	Worst	2.525692	98.15001	98.12555	98.12313	98.1099
	Mean	0.131511	97.83444	97.96993	97.89779	97.8350
f_6	Best	-41898.28	-41897.52	-41892.49	-41894.94	-41898.2
	Worst	-41895.67	-28071.92	-24079.93	-23955.85	-30007.9
	Mean	-41897.71	-38405.96	-34462.54	-36111.84	-38064.6
f_7	Best	-3916.616	-3916.149	-3916.026	-3916.548	-3916.37
	Worst	-3916.493	-2983.068	-3506.109	-3005.931	-3912.43
	Mean	-3916.594	-3756.602	-3865.889	-3742.011	-3915.02
f_8	Best	408.2037	282207.7	276021.2	277208.6	39730.8
	Worst	428.5733	394584.2	376304.1	394964.3	590361
	Mean	417.9449	331750.8	333909.9	338027.5	150988

For all benchmark problems 10, 50 and 100 dimensions were used for an x vector, the number of individuals in a population was set to 100, while the total number of iterations for finding the optimum was set to 200. On top of that, 20 independent runs were conducted for each of the initialization methods and results are generalized by fetching out “Best”, “Worst” and “Mean” values after the process was over.

Fig. 2 depicts the overall convergence rate of WOA for the chosen initialization methods and DDUI when the problem dimensions equal 10. As can be inferred from the images, without exception for all of the functions DDUI was either finding or getting close to the optimum much faster, consequently for the problems where approximate solution is also acceptable, the entire process can be terminated much sooner.

Tables 1-3 represent the detailed run results data for all the benchmarks and corresponding initialization methods for the problem dimensions of 10, 50 and 100, respectively. It is worth mentioning that the selected number of iterations is generally not sufficient for global optimization problems, where the recommended value is 400...500, but, since in the current problem, we need to evaluate only the initialization method and its impact, instead of performance capabilities of the chosen optimizer, 200 should be sufficient to assess the method efficiency.

Starting from Table 1 ($D=10$), during those 20 runs DDUI managed to find optimums for 6 out of 8 functions, failing to find one only for Zakharov function and getting very close to Rosenbrock, and, even in that case, the overall performance was incomparably better than for other techniques, which also was generalizing adequately well to state the clear advantage of the method. When $D=50$ (Table 2), performance does not get diminished, still having some complication with respect

to Zakharov and Rosenbrock, but nonetheless managing to get much closer to optimum than any other technique. It should be stated that for Ackley also the global optimum was not detected, but the impact of optimizer also should not be underestimated, as it involves a lot of randomness when choosing between exploration and exploitation. And finally, Table 3, where D=100, the same issues can be deduced from analyzing the data, but still performing much better than any other counterpart.

Conclusion. The proposed primary population initialization method involves calculation of equally spaced points on the diagonals of the search space, leading to efficient representation of all the search dimensions in the final result. The clear advantages of the method over conventional approaches was discussed and analyzed through test runs on 8 benchmark functions and the results were summarized. The implementation complexity of the approach goes in par with other methods, while imposing a limitation of not being able to choose an arbitrary number for the individuals in the population in order to guarantee a fair distribution.

REFERENCES

1. **Elsayed S.M., Sarker R.A., Essam D.L.** Multi-operator based evolutionary algorithms for solving constrained optimization problems // *Comput. Oper. Res.* – 2011. – Vol. 38, no. 12. – P. 1877-1896.
2. **Yang X.S.** *Nature-Inspired Optimization Algorithms.* - Pittsburgh, PA, USA: Academic, 2020. – 310p.
3. **Li Q., Liu S.-Y., Yang X.-S.** Influence of initialization on the performance of Metaheuristic optimizers // *Appl. Soft Comput.* – Jun. 2020. – Vol. 91, art. no. 106193.
4. **Kazimipour B., Li X., Qin A.K.** A review of population initialization techniques for evolutionary algorithms // *IEEE Congr. Evol. Comput. (CEC).*-Beijing, China, Jul. 2014. – P. 2585-2592.
5. **Arora S., Sharma M., Anand P.** A novel chaotic interior search algorithm for global optimization and feature selection // *Applied Artificial Intelligence.* – 2020. – Vol. 34, no. 4. – P. 292-328.
6. **Kuang F., Jin Z., Xu W., Zhang S.** A novel chaotic artificial bee colony algorithm based on Tent map // *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC).* – 2014. – P. 235-241.
7. **Helton J.C., Davis F.J.** Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems // *Rel. Eng. Syst. Saf.* – 2003. – Vol. 81, no. 1. – P. 23-69.
8. **Kotti M., Fakhfakh M., Tlelo-Cuautle E.** Effect of the design space sampling on the design performances // *IEEE 9th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS).* – 2018. – P. 1-4.

9. Wang W., Wang H., Sun H., Rahnamayan S. Using opposition-based learning to enhance differential evolution: A comparative study // IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). – 2016. – P. 71-77.
10. Park S., Kim Y., Kim J., Lee J. Speeded-up cuckoo search using opposition-based learning // 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014). – 2014. – P. 535-539.
11. <https://www.sfu.ca/~ssurjano/optimization.html>
12. Mirjalili S., Lewis A. The whale optimization algorithm // Advances in engineering software. – 2016. – Vol. 95. – P. 51-67.
13. Ruiye J., Tao C., Songyan W., Ming Y. A modified Whale Optimization Algorithm based on Chaos Initialization and Regulation Operation // 2019 Chinese Control Conference (CCC). – 2019. – P. 2702-2707.
14. Feng W., Deng B. A Modified Multi-Objective Whale Optimization Algorithm with Dynamic Leader Selection Mechanism // 12th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA). – 2020. – P. 985-989.

National Polytechnical University of Armenia. The material is received on 29.08.2022.

Ա.Վ. ՎԱՐԴՈՒՄՅԱՆ

ՄԵՏԱՀԵՎՐԻՄՏԻԿԱԿԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՊՈՊՈՒԼՅԱՑԻԱՅԻ ՄԿՋԲԱՐԺԵՔԱՎՈՐՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ՄԵԹՈԴ

Ընդունված է, որ մետահերիստիկական օպտիմացիոն ալգորիթմների զուգամիտման կարողությունները կարելի է բարելավել պատշաճ կերպով ընտրված առաջնային պոպուլյացիայով: Ժամանակակից սկզբնարժեքավորման տեխնիկաների մեծ մասն ունի մի շարք թերություններ, որոնք ոչ կենսունակ կամ ոչ արդյունավետ են դարձնում դրանք: Այդ թերությունների հաղթահարման համար առաջարկվում է պոպուլյացիայի սկզբնարժեքավորման նոր ալգորիթմ, որի դեպքում կիրառվում են որոնման տարածքի ներդրված խորանարդների բաժանման մոտեցումը և ծայրամասային կետերի ընտրումը նմուշառման համար: Հիմնվելով առաջարկվող մեթոդի՝ հանրաճանաչ այլ սկզբնարժեքավորման ստրատեգիաների հետ համատեղ 8 բարդ հենանիշ ֆունկցիաներով, Կետ Օպտիմիզացիոն Ալգորիթմի (ԿՕԱ) շրջանակներում թեստավորման արդյունքում ստացված տվյալների վրա, զրոյալ օպտիմումը գտնելու խնդրում առաջարկվող մոտեցումը կատարողականությամբ գերազանցել է բոլոր դիտարկվող մեթոդներին:

Առանցքային բառեր. մետահերիստիկական ալգորիթմ, պոպուլյացիայի սկզբնարժեքավորում, ամբոխային բանականություն, էվոլյուցիոն ալգորիթմ:

А.В. ВАРДУМЯН

**ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ПЕРВИЧНОЙ
ПОПУЛЯЦИИ ДЛЯ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

Принято, что возможности сходимости метаэвристических оптимизационных алгоритмов могут быть улучшены правильно выбранной начальной популяцией. Большинство современных методов инициализации страдают многочисленными недостатками, которые в конечном итоге делают их нежизнеспособными или недостаточно эффективными. С этой целью предлагается новый алгоритм инициализации популяции, в котором используется подход разделения пространства поиска на вложенные кубы и подбор граничных точек для выборки. Основываясь на данных, полученных после тестирования метода на восьми сложных эталонных функциях, в сравнении с другими популярными стратегиями инициализации, в рамках Кит-Оптимизационного Алгоритма (КОА) предложенный подход превзошел всех кандидатов в поиске глобального оптимума.

Ключевые слова: метаэвристический алгоритм, инициализация популяции, роевой интеллект, эволюционный алгоритм.

П.О. БАЛДЖЯН, А.В. БАЛАЯН

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ ДОННЫХ
НАНОСОВ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ
ПРИМЕНЕНИЕ**

Водохранилища играют важную роль в деле развития каждой страны и обеспечения ее экономической безопасности. Однако их сооружение приводит к ряду отрицательных последствий: нарушается веками образованная экосистема реки, а речные наносы, отлагаясь в водохранилище, постепенно уменьшают его регулируемую способность. С указанной проблемой сталкиваются сотни тысяч водохранилищ, построенные в пяти континентах. Исходя из вышеизложенного, задачи количественной оценки отложений наносов и прогноза формы их расположения в водохранилище являются актуальными. Первая из этих задач достаточно хорошо решена, однако вторая задача практически остается открытой. Целью работы является разработка теоретической модели процесса отложений донных наносов и прогнозирование на ее основе координат расположения объема аккумуляции в водохранилище. Предложен критерий, позволяющий вычислить местоположение тех сечений водохранилища, где могут отлагаться донные наносы разного размера. При исходных гидрологических, гранулометрических и геометрических характеристиках потока, наносов и русла выведена зависимость расчета координат отложений наносов вдоль водохранилища. Решена также задача прогнозирования изменения слоя отложений с использованием уравнения баланса наносов. Полученное выражение позволяет в зависимости от времени установить текущий уровень отложений наносов. На основе результатов проведенных разработок с учетом изменений, происходящих в объеме водохранилища в период эксплуатации, периодически уточняется его проектная характеристика.

Ключевые слова: водохранилище, донные наносы, аккумуляция, расход наносов, участок отложений.

Введение. Водохранилище - незаменимое сооружение, регулирующее речной сток. Только для водоснабжения и гидроэнергетики в мире построены сотни тысяч водохранилищ. В Республике Армения эксплуатируется около семи десятков больших и средних сооружений. Однако при эксплуатации водохранилища в речном бассейне возникает ряд негативных явлений [1,2]. В частности, поднятие уровня воды существенно меняет гидрогеологические ус-

ловия окружающей среды. Для населённых пунктов и сельскохозяйственных земель к наиболее нежелательным последствиям можно отнести повышение горизонта подземных вод. Среди отрицательных воздействий водохранилища самое негативное - это разделение речного бассейна на две части. Вследствие этого:

- резко усложняется свободное передвижение животных вдоль реки, нарушается сформированная веками среда их обитания и размножения;
- основная часть наносов, поступающих речным потоком, аккумулируется в водохранилище, нарушая природные условия нижних течений реки;
- разгруженный от наносов водный поток после водохранилища начинает размывать русло реки.

В горных и предгорных зонах стоки рек имеют ярко выраженный сезонный характер. Наиболее неравномерное распределение наблюдается в твёрдом стоке. Основная часть жидких и твёрдых стоков рек проходит во время кратковременных паводков и селевых потоков [3]. Количественное соотношение взвешенных и донных частиц потока, составляющих общий твёрдый расход, обусловлено гранулометрическими и физико-механическими характеристиками несвязанной грунтовой массы речного бассейна. Как показывают натурные исследования, проведенные для Южного Кавказа [4], в общем расходе наносов доля донных частиц составляет не более 50%. При наличии на реке водохранилища эти наносы скапливаются в его передней части. А из общего количества взвешенных наносов в водохранилище, в основном, отлагаются частицы диаметром более 0,05 мм (в крупном водохранилище - диаметром более 0,02 мм). Мелкие, коллоидные частицы проходят выпускаемым из водохранилища потоком. С целью изучения процесса аккумуляции наносов в водохранилище важным условием является наличие достоверных данных о гидрологическом режиме реки [5]. Для многих рек и их притоков подобные данные или отсутствуют, или недостаточно надёжны. Поведение наносного режима, а также изменение уровня воды в водохранилище оказывают существенное влияние на количество, форму распределения и гранулометрический состав отложений наносов.

Отложение наносов в верхних участках водохранилища приводит к продолжительному уменьшению объёма регулирования. Десятки тысяч водохранилищ, построенных во всём мире, продолжительно наполняются огромной массой грунта [6, 7]. Ряд водохранилищ, построенных на водотоках с большой мутностью, вышли из эксплуатации достаточно раньше предназначенного срока службы (рис.1, 2). Таким образом, исследование проблемы аккумуляции наносов в водохранилище имеет важное значение как с экологической, так и с эко-

номической точек зрения. В числе задач, входящих в проблему, наиболее приоритетными являются оценка объема отложений наносов и прогноз формы их распределения для эксплуатируемых и тем более проектируемых водохранилищ. В настоящее время определение количества отложений наносов и формы их распределения для немногих эксплуатируемых водохранилищ осуществлено методом геодезических измерений [1,8].

Наряду с этим существуют достаточно надёжные теоретические предложения по количественной оценке отложений. В большинстве случаев используется принцип баланса поступающих в водохранилище и выходящих из него наносов [9,10]. Однако эти решения не дают возможности установить как форму распределения наносов вдоль водохранилища, так и рост аккумулирующего слоя по высоте.



Рис. 1. Водохранилище Пония на р. Колорадо. За 50 лет эксплуатации 85% водовыпускной башни высотой 21 м было затоплено отложениями наносов



Рис. 2. Заполненное наносами водохранилище в Швейцарских Альпах

Эти прогнозы очень важны для выяснения того, как уменьшаются мёртвые и полезные объёмы водохранилища в ходе его эксплуатации. Теоретические решения этих задач в литературе практически отсутствуют. Необходимо отметить, что процесс аккумуляции наносов характеризуется разнообразием задач, что обусловлено существенной разницей физических картин и математических моделей процесса отложения донных и взвешенных частиц.

Целью работы является разработка теоретической модели процесса отложений донных наносов и прогнозирование на ее основе координат расположения объёма аккумуляции в водохранилище.

Постановка задачи и обоснование методики. Изучаются физическая картина движения донных наносов и их дальнейшая аккумуляция в водохранилище, приводящая к изменению его объёмной характеристики. Причиной протекающего гидродинамического процесса является постепенное уменьшение скорости потока по длине водохранилища. Параллельно с этим начинается аккумуляция частиц наносов. По отношению к мелким частицам скорость сохранения движения крупных частиц сравнительно больше. Поэтому в ходе уменьшения скорости потока в водохранилище в первую очередь отлагаются крупные частицы. Это происходит на начальной части участка аккумуляции. В конце участка отлагаются мелкие частицы. Со временем границы участка аккумуляции будут изменяться из-за роста слоя аккумуляции, что может привести к уменьшению глубины потока, а следовательно, к увеличению его скорости. В ходе эксплуатации данный процесс ускоряется при понижении уровня воды в водохранилище. При разработке математической модели указанного физического процесса учтено изменение скорости потока вдоль водохранилища и использованы предложения по оценке минимальных скоростей, удерживающих донные частицы в движении. При оценке приращения слоя аккумуляции использовано уравнение баланса наносов для элементарного периода. В результате обработок получены формулы для расчета геометрических параметров отложений наносов в водохранилище в зависимости от времени.

Результаты исследования. Гидродинамический процесс аккумуляции наносов происходит при взаимодействии русла, наносов и потока. Основными параметрами, характеризующими эти факторы, являются:

- расход жидкости и наносов (Q , Q_s);
- средний диаметр наносов (d_s);
- геометрические параметры водохранилища по длине: глубина (h), ширина русла (B), площадь живого сечения (A).

Эти величины, являющиеся исходными для поставленной задачи, устанавливаются предварительными исследованиями речного бассейна.

Частица наносов, находящаяся в донном слое потока до остановки, движется с минимальной скоростью, ниже которой она отлагается. Достаточно хорошо изучены задачи определения размывающих и неразмывающих скоростей несвязанных частиц [11,12]. Для взвешенных наносов предложены надежные решения незаиляющих скоростей каналов [13]. Наряду с этим задача определения минимальной скорости потока, при которой частица еще находится в движении, изучена недостаточно [14]. Можно отметить несколько приближенных оценок этой скорости [15], которые были использованы в работе. С учетом физической картины изучаемого процесса условие аккумуляции наносов, поступающих в водохранилище, представляется следующим неравенством:

$$V_S \geq \beta V_m, \quad (1)$$

где V_S - минимальная скорость, при которой частица диаметром d находится в движении; V_m - средняя скорость потока; β – переходный коэффициент от средней скорости потока к скорости придонного слоя.

Используя условие неразрывности потока:

$$V_m = \frac{Q}{A}, \quad (2)$$

можно написать

$$V_S \geq \beta \frac{Q}{A}, \quad (3)$$

где A - текущая поперечная площадь водохранилища.

Правая сторона неравенства представляет собой скорость придонного слоя потока в водохранилище, при которой по мере крупности отлагаются частицы наносов. В частности, в первую очередь отлагаются частицы с максимальным диаметром $d_{\max}$, а в последнюю – с диаметром $d_{\min}$. Т.е. отложение наносов происходит на участке между этими сечениями (длина участка обозначена L).

Согласно работе [15], имеем

$$V_S = \gamma V_n, \quad (4)$$

где V_n - неразмывающая скорость руслоформирующего грунта; γ - переходный коэффициент между скоростями V_n и V_S , среднее значение которого принимается $3/4$.

Согласно работе [11], имеем

$$V_n = \sqrt[4]{g^2 d h}, \quad (5)$$

где h - глубина потока; d - диаметр частицы.

С учётом выражений (3), (4) и (5) получается

$$A \geq \frac{\beta}{\gamma} \frac{Q}{\sqrt[4]{g^2 d h}}. \quad (6)$$

Полученное неравенство даёт возможность установить местоположение сечения, где отлагается частица с произвольным размером d . Для проведения расчетов на расстояниях $X_1=\Delta X$; $X_2=X_1+\Delta X$; ...; $X_n=X_{n-1}+\Delta X$ (начиная с плотины) выбирается n - е количество сечений. (Выбор величины шага ΔX обусловлен длиной водохранилища: чем больше водохранилище, тем больше можно увеличить длину шага). На основе известных геометрических характеристик водохранилища устанавливаются площади выбранных сечений ($A_1, A_2, \dots, A_n$).

Для самых крупных и мелких частиц ($d_{\max}, d_{\min}$) донных наносов вычисляются величины знаменателя выражения (6), а именно - максимальная и минимальная скорости ($V_s^{\max}$ и $V_s^{\min}$), при которых сохраняется движение частиц. Используя значения расхода Q , скорости $V_s^{\max}$, коэффициентов β и γ , рассчитывается правая часть неравенства (6). Из числа площадей $A_1, A_2, \dots, A_n$ выбирается то минимальное значение, которое удовлетворяет условию (6). Это сечение является началом зоны аккумуляции донных наносов. Для установления места конечного сечения отложений аналогичные расчёты выполняются при значении скорости $V_s^{\min}$. Отложение остальных частиц наносов в водохранилище происходит на участке длиной L между этими двумя сечениями.

Со временем объём отложений наносов увеличивается не только по длине водохранилища, но и по его высоте. Этот рост оценен на основе баланса наносов. Масса наносов, поступающих в водохранилище за промежуток времени dt , приводит к следующему изменению в аккумулирующем объёме:

$$Q_s dt = \rho_s B_m L dh_s, \quad (7)$$

где ρ_s - плотность отложений; dh_s - средний рост слоя отложений; B_m - средняя ширина русла на участке отложений.

Используя известные значения расхода и плотности наносов, длины участка L и средней ширины B , уравнение (7) интегрируется в пределах, соответствующих данному периоду:

$$\int dh_s = \frac{1}{\rho} \int \frac{Q_s}{BL} dt. \quad (8)$$

В результате получается закономерность приращения аккумулирующего слоя донных наносов в зависимости от времени. Предполагая, что форма сечений прямоугольная, за промежуток времени $(t_2 - t_1)$ рост поверхности отложений $\Delta h = h_2 - h_1$ будет

$$\Delta h = \frac{Q_s}{\rho BL} (t_2 - t_1). \quad (9)$$

Решения, полученные для оценки процесса аккумуляции наносов в водохранилище, применимы как при постоянных, так и при переменных по времени значениях исходных параметров. Теоретические обоснования и полученные решения процесса отложений наносов могут обеспечить надёжные результаты при условии наличия достоверных данных по расходам воды и наносов, гранулометрическим характеристикам наносов, а также геометрическим параметрам водохранилища [15].

Заключение. Предложенные зависимости по расчёту параметров отложений наносов могут использоваться для установления формы расположения объёма аккумуляции по длине и высоте водохранилища в ходе его эксплуатации. Надёжность результатов расчета обусловлена наличием достоверных исходных данных по гидрологическим, гранулометрическим и геометрическим характеристикам речного бассейна. Полученные результаты расчётов дадут возможность в процессе эксплуатации вводить уточнения в проектной характеристике водохранилища $W=f(H)$ и в достаточной степени прогнозировать срок службы сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents / G.M. Kondolf, Y. Gao, G.W. Annandale, G.L. Morris, et al // Earth's Future.- 2014.-2.- P. 256–280.
2. U.S. Bureau of Reclamation Hydrology, hydraulics, and sediment studies for the Matilija Dam Ecosystem Restoration Project, Venture (CA): Draft Report, Sediment.- River Hydraul. Group, Denver, Colo., 2006.- 323 p.
3. Технические указания по расчёту максимального стока рек в условиях Кавказа ЗакНИИ.- Тбилиси, 1980. – 71с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР.- Том 9, вып. 4: Восточное Закавказье.-Л.: Гидрометеиздат, 1971.- 227 с.

5. **Chudek E., Horn A., Joo M., McLaren S.** Stratification Patterns in Queensland Dams: Report by Water Monitoring Group, Queensland Department of Natural Resources.- Australia, 1998.- 76 p.
6. **Baljian P.H., Kelejian H.G., Avanesyan E.V., Tokmajyan V.H.** Evaluation of the Actual State of the Mataghis Reservoir W-H Characteristic and Forecasting of Future Changes // Bulletin of High Technology.-Stepanakert, 2021.- 3(17).- P.14-22.
7. **Юлдашева К.А.** Опыт борьбы с заилинием водохранилищ.-Ташкент: НИЦ МКВК, 2011.- 70с.
8. **Ikramova M.** Regulation of the Amudarya River Runoff by the Tuyamyun Hydro Complex.- Warsaw: RS Global Sp. Z.O.O., 2021. – 78 с.
9. **Караушев А.В.** Теория и методы расчета речных наносов.- Л.: Гидрометеиздат, 1977.- 272 с.
10. **Jansson M.B., and Erlingsson U.** Measurement and quantification of a sediment budget for a reservoir with regular sediment flushing // Regul. Rivers Res. Manage.- 2000.-16.- P.279– 306.
11. **Мирихулава Ц.Е.** Основы физики и механики эрозии русел.- Л.: Гидрометеиздат, 1988.- 303 с.
12. Erosion Rates Deduced from Seasonal Mass Balance along an Active Braided River in Tianshan/ **Y. Lui, F. Metivier, J. Gaillardet, B.Ye, P. Meunier, et al** // Solid Earth Discussion.- 2011.-Vol. 3.- P. 541-589.
13. **Ибаб-заде Ю.А.** Движение наносов в открытых руслах.- М.: Стройиздат, 1974.- 352 с.
14. **Tokmajyan H.V.** On Movement of Suspended Particles in Turbulent Flow // Bulletin of High Technology.- Shushi, 2016.-1(1).- P. 3-10.
15. **Чалов Р.С.** Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы и условия формирования речных русел.- М.: ЛКИ, 2008.- 608 с.

Национальный политехнический университет Армении, Гидравлическая лаборатория Шушинского технологического университета. Материал поступил в редакцию 07.09.2022.

Պ.Հ. ԲԱԼԶՅԱՆ, Ա.Վ. ԲԱԼԱՅԱՆ

ՋՐԱՄԲԱՐՈՒՄ ՀԱՏԱԿԱՅԻՆ ՋՐԱԲԵՐՈՒՄԵՐԻ ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ՏԵՄԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԸ ԵՎ ԴՐԱ ԳՈՐԾԱԿԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ

Ջրամբարները կարևոր դերակատարում ունեն յուրաքանչյուր երկրի տնտեսական անվտանգության ապահովման և զարգացման գործում: Սակայն ջրամբարի կառուցումը հանգեցնում է մի շարք բացասական հետևանքների. խախտվում է գետի դաբերով ձևավորված կենսահամակարգը, իսկ գետային ջրաբերուկները, կուտակվելով ջրամբարում, շարունակաբար փոքրացնում են դրա կանոնավորման հնարավորությունը: Նշված հիմնահարցին առնչվել են հինգ մայրցամաքներում կառուցված հարյուր հազարավոր ջրամբարների դեպքում: Ելնելով վերը նշվածից՝ արդիական են ջրաբերուկային կուտակումների քանակական գնահատման և դրանց տեղակայման ձևի կանխատեսման խնդիրները: Այդ

խնդիրներից առաջինը բավական լավ է լուծված, սակայն երկրորդ խնդիրը գործնականում մնում է բաց: Աշխատանքի նպատակն է մշակել ջրաբերուկների կուտակման ընթացքի տեսական մոդել և դրա հիման վրա կանխատեսել ջրամբարում կուտակման ծավալի տեղաբաշխման կոորդինատները: Առաջարկված չափորոշիչը հնարավորություն է տալիս հաշվարկել ջրամբարի այն հատույթների տեղադիրքը, որտեղ կարող են կանգ առնել տարբեր չափերի հատակային ջրաբերուկները: Հոսանքի, ջրաբերուկների և հունի հիդրոլոգիական, հատիկաչափական և երկրաչափական ելքային բնութագրերի դեպքում ստացվել է ջրամբարի երկարությամբ բերվածքների կուտակման կոորդինատների հաշվարկի կախվածություն: Ջրաբերուկների հաշվեկշռային հավասարման կիրառմամբ լուծվել է նաև կուտակման շերտի փոփոխության կանխատեսման խնդիրը: Ստացված արտահայտությունը թույլ է տալիս ժամանակից կախված որոշել ջրաբերուկային կուտակումների ընթացիկ մակարդակը: Կատարված մշակումների արդյունքների հիման վրա, հաշվի առնելով շահագործման ընթացքում ջրամբարի ծավալում կատարվող փոփոխությունները, պարբերաբար ճշտվում է դրա նախագծային բնութագիրը:

Առանցքային բառեր. ջրամբար, հատակային ջրաբերուկներ, կուտակում, ջրաբերուկների ելք, կուտակման տեղամաս:

P.H. BALJYAN, A.V. BALAYAN

A THEORETICAL MODEL OF THE BOTTOM SEDIMENT ACCUMULATION PROCESS IN A RESERVOIR AND ITS PRACTICAL USE

Reservoirs play an important role in the development of each country and ensure its economic security. However, the construction of reservoirs leads to a number of negative consequences: the river ecosystem formed over centuries is disturbed, and river sediments deposited in the reservoir, gradually reduce its regulatory capacity. This problem is faced by hundreds of thousands of reservoirs built in five continents. Based on the foregoing, the tasks of quantitative assessment of sediment deposits and forecasting the shape of their location in the reservoir are topical. The first of these problems has been fairly well solved, but the second one practically remains open. The purpose of the work is to develop a theoretical model of the process of sedimentation of bottom sediments and, on its basis, to predict the coordinates of the location of the accumulation volume in the reservoir. A criterion is proposed that makes it possible to calculate the location of those sections of the reservoir where bottom sediments of various sizes can be deposited. Given the initial hydrological, granulometric, and geometrical characteristics of the flow, sediment, and channel, the dependence of calculating the coordinates of sediment deposits along the reservoir is derived. The problem of predicting the change in the sediment layer is also solved using the sediment balance equation. The resulting expression allows, depending on the time, to set the current level of sedimentation. Based on the results of the developments carried out, taking into account the changes occurring in the volume of the reservoir during the operation period, its design characteristics are periodically updated.

Keywords: reservoir, bottom sediments, accumulation, sediment expenditure, sediment area.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԻՍՈՒՆՑ Հ.Ա., ԴԱՎԹՅԱՆ Ա.Հ., ԱՎԱԳՅԱՆ Վ.Շ.

ԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ, ՈՒՂՂԱՆԿՅՈՒՆ ՀԱՏՈՒՅԹՈՎ ԵՎ ՓՈՔՐԱԳՈՒՅՆ ԱՆԴՐԱԴԱՐՁՄԱՄԲ ԱԼԻՔՍԱՐԻ ԵՎ ԿՑԱՇՈՒՐԹԻ ՎԱԿՈՒՈՒՄԱՅԻՆ ԶՈՂՈՒՄԸ 329

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՄԻՄՈՆՅԱՆ Վ.Ա.

ՄԱՐՏԵՆՍԻՏԱՅԻՆ ԾԵՐԱՅՈՂ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ 342

ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ Ն.Գ., ԱՍԶՅԱՆ Գ.Հ., ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ Գ.Ն., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ա.Ս., ԵԶԱԿՅԱՆ Հ.Հ.

ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ԱՐԳԵԼԱԿԱՅԻՆ ՇՓԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ԱՇԽԱՏՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ 355

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ.Ս., ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ Վ.Ս.

40XH2M ՄԱԿՆԻՇԻ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՄԲ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱԳՈՅԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՈՒ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 364

ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Մ.Ք., ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Ա.Գ., ԴԱՎԹՅԱՆ Դ.Վ.

ԵՌԱՖԱԶ ՄԻՆԽՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՈՉ ՄԻՄԵՏՐԻԿ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ ԻՐԱԿԱՆԱՅՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ 372

ՍՈՂՈՍՈՆՅԱՆ Կ.Հ., ԲԱԿՈՒՆՑ Մ.Գ.

ՌԵԼԻԵՖԱՅԻՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԻ ԿԱՌՈՒՅՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ԱՆՀՐԱԺԵՇՏ ԱՆԱԼԻՏԻԿԱԿԱՆ ԲԱՆԱԶԵՎԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ 380

ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Գ., ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ Ս.Խ.

ԲԶԶԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԲԱՇԽԻՉ ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ԳԾԵՐԻ ՎՐԱ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ 389

ԵԶԱԿՅԱՆ Ն.Դ., ԵՍԱՅԱՆ Ա.Է., ՍԱԼԼԵՍ Ժ-Ս.

ՆԱՆՈԼԱՐԱՅԻՆ ԱՆ-ԱՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ISFET ՄՈՂԵԼԻ VERILOG-A ԻՐԱՅՈՒՄԸ ԵՎ ԿԱՐԴԱՅՈՂ ՇՂԹԱՅԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ 398

ՄԵԼԻՔՅԱՆ Ն.Վ., ԱՎԱԳՅԱՆ Ն.Ա., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ա.Ա.

ԿԱՊԱԶԵՐԾՈՂ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՄՆՄԱՆ ԴՈՂԵՐՈՒՄ ԴԻՆԱՄԻԿ ԼԱՐՄԱՆ ԱՆԿՄԱՆ ՆՎԱԶԵՅՄԱՆ ԵՎ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱՐ 407

ԲԱԲԱՅԱՆ Ա.Վ.

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԿԱՊՈՒՂԻՈՎ ՄԻԱՅՎԱԾ ՀԻՇՈՂ ՍԱՐՔԵՐԻ ՆԵՐԿԱՌՈՒՅՎԱԾ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՎԱՎԵՐԱՅՄԱՆ ԵՎ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ԿՐՃԱՏՄԱՆ ՄՈՏԵՑՈՒՄ 415

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Պ.Ս.

Ինքնասնտեսման երեկոնից թի եվ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԾԱԽՄԻ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՑԱԾՐ ԷՆԵՐԳԱՍՊԱՌՄԱՄԲ ԱՆԱԼՈԳԱ- ԹՎԱՅԻՆ ԿԵՐՊԱՓՈԽՉԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ.....	424
---	-----

ՎԱՐԴՈՒՄՅԱՆ Ա.Վ.

ՄԵՏԱՀԵՎՐԻՍՏԻԿԱԿԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՊՈՊՈՒԼՅԱՅԻԱՅԻ ՄԿԶԲՆԱՐԺԵՔԱՎՈՐՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ՄԵԹՈԴ.....	431
--	-----

ԲԱԼԶՅԱՆ Պ.Հ., ԲԱԼԱՅԱՆ Ա.Վ.

ՋՐԱՄԲԱՐՈՒՄ ՀԱՏԱԿԱՅԻՆ ՋՐԱԲԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ՏԵՍԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԸ ԵՎ ԴՐԱ ԳՈՐԾՆԱԿԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ	443
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

ИСУНЦ Г.А., ДАВТЯН А.А., АВАГЯН В.Ш. ВАКУУМНАЯ ПАЙКА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВОЛНОВОДА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ И МИНИМАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ С ФЛАНЦЕМ	329
АГБАЛЯН С.Г., СИМОНЯН В.А. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ	342
МЕЛИКСЕТАН Н.Г., АСЧЯН Г.О., МЕЛИКСЕТАН Г.Н., АГБАЛЯН А.С., ЕЗАКЯН А.О. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОРМОЗНЫХ ФРИКЦИОННЫХ НАКЛАДОК С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ	355
ПЕТРОСЯН А.С., ГУКАСЯН В.С. ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ МАРКИ 40ХН2М ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИЕЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	364
БАГДАСАРЯН М.К., АРАКЕЛЯН А.Г., ДАВТЯН Д.В. АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ	372
СОГОМОНЯН К.А., БАКУНЦ М.Г. ПОЛУЧЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ	380
АЙВАЗЯН А.Г., ХУДАВЕРДЯН С.Х. ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА ТРАНСПОРТНО- РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ	389
ЕЗАКЯН Н.Д., ЕСАЯН А.Э., САЛЛЕЗ Ж-М. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПАКТНОЙ МОДЕЛИ НАНОПРОВОЛОЧНОГО БЕСПЕРЕХОДНОГО ISFET НА ЯЗЫКЕ VERILOG-A И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ	398
МЕЛИКЯН Н.В., АВАКЯН Н.А., КАЗАРЯН А.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БУФЕРНЫХ ЕМКОСТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ШИНАХ ПИТАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ	407
БАБАЯН А.В. ПОДХОД К СОКРАЩЕНИЮ ВРЕМЕНИ ПРОВЕРКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ САМОТЕСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАМЯТИ ЧЕРЕЗ ОБЩИЙ ИНТЕРФЕЙС	415

ПЕТРОСЯН П.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЯВЛЕНИЯ САМОНАГРЕВА ОТ РАСХОДА МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ	424
ВАРДУМЯН А.В.	
ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ПЕРВИЧНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ДЛЯ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ	431
БАЛДЖЯН П.О., БАЛАЯН А.В.	
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОТЛОЖЕНИЯ ДОННЫХ НАНОСОВ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ	443

CONTENTS

ISUNTS H.A., DAVTYAN A.H., AVAGYAN V.Sh. VACUUM BRAZING OF A HIGH-FREQUENCY WAVEGUIDE OF A RECTANGULAR SECTION AND MINIMAL REFLECTION WITH A FLANGE.....	329
AGHBALYAN S.G., SIMONYAN V.A. SUBSTANTIATING THE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING MARAGING STEELS.....	342
MELIKSETYAN N.G., ASCHYAN G.O., MELIKSETYAN G.N., AGBALYAN A.S., EZAKYAN A.H. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF BRAKE FRICTION LININGS WITH FUNCTIONAL PROPERTIES.....	355
PETROSYAN H.S., GHUKASYAN V.S. OBTAINING OF 40XH2M CONSTRUCTIONAL POWDER STEEL BY HOT EXTRUSION AND STUDYING THE STRUCTURIZATION AND MECHANICAL PROPERTIES	364
BAGHDASARYAN M.K., ARAKELYAN A.G., DAVTYAN D.V. THE ALGORITHM FOR MONITORING THE ASYMMETRIC MODES OF A THREE- PHASE SYNCHRONOUS MACHINE.....	372
SOGHOMONYAN K.H., BAKUNTS M.G. OBTAINING THE NECESSARY ANALYTICAL FORMULAE FOR THE CONSTRUCTION OF A RELIEF VIEW	380
AYVAZYAN A.G., KHUDAVERDYAN S.KH. ASSESSING THE ENERGY LOSSES ON BACKHAUL OF CELLULAR COMMUNICATION SYSTEMS	389
YEZAKYAN N.D., YESAYAN A.E., SALLESE J-M. VERILOG_A IMPLEMENTATION OF NANOWIRE JUNCTIONLESS ISFET COMPACT MODEL AND READ-OUT CIRCUIT DESIGN	398
MELIKYAN N.V., AVAGYAN N.A., GHAZARYAN A.A. DEVELOPING A METHOD FOR DISTRIBUTION OF DECAP CELLS TO REDUCE THE DYNAMIC IR DROP IN THE POWER SUPPLY AND THE INCREASE IN RELIABILITY	407
BABAYAN A.V. VALIDATION AND TEST TIME REDUCTION APPROACH FOR BUILT-IN-SELF-TEST AND REPAIR OF MEMORIES VIA A SHARED INTERFACE.....	415
PETROSYAN P.S. STUDYING THE DEPENDENCE OF SELF-HEATING AND ENERGY CONSUMPTION ON THE EXAMPLE OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH LOW POWER CONSUMPTION.....	424
VARDUMYAN A.V. AN EFFICIENT PRIMARY POPULATION INITIALIZATION METHOD FOR METAHEURISTIC ALGORITHMS.....	431
BALJYAN P.H., BALAYAN A.V. THEORETICAL MODEL OF THE BOTTOM SEDIMENT ACCUMULATION PROCESS IN A RESERVOIR AND ITS PRACTICAL USE.....	443

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

- 1 Աղբալյան Ալլա Սուրենի ՀԱՊՀ, գիտաշխատող
Էլ. հասցե - Aghbalyana@gmail.com
- 2 Աղբալյան Սուրեն Գևորգի ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր
Էլ. հասցե - metalsur@polytechnic.am
- 3 Այվազյան Արմեն Գագիկի ՀԱՊՀ, հայցորդ,
Էլ. հասցե - agagarm@gmail.com
- 4 Առաքելյան Արուսյակ Գեղամի ՀԱՊՀ, ասպիրանտ,
Էլ. հասցե - arusaraqelyan13@gmail.com
- 5 Ասչյան Գրիգոր Հովհաննեսի ՀԱՊՀ, ասպիրանտ, «Մետալուրգիա և նյութագի-
տություն» ամբիոն
Էլ. հասցե - grigor_aschyan@rambler.ru
- 6 Ավազյան Նարեկ Ավետիքի ԵՊՀ, ասպիրանտ, «ՄԻՆՈՓՄԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ»
մասնագիտացված ինտեգրալ սինեմաների
ֆիզիկական նախագծման 1-ին կարգի ավագ
ճարտարագետ,
Էլ. հասցե - narekavagyan98@gmail.com
- 7 Ավազյան Վարդան Շավարշի տ.գ.դ., «ՔԵՆՂԼ» ՍՀԻ -ում ճարտարագիտական
գծով փոխտնօրեն
Էլ. հասցե - avagyan@asls.candle.am
- 8 Բաբայան Արմեն Վրեժի ՀԱՊՀ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ,
հետազոտման և մշակման երկրորդ կարգի
ճարտարագետ,
Էլ. հասցե - ababaya@synopsys.com
- 9 Բալայան Աշոտ Վալերի Շուշիի տեխնոլոգիական համալսարանի
հիդրավիկական լաբորատորիա, հայցորդ
Էլ. հասցե - ashotbalayan92@gmail.com
- 10 Բալայան Պարզև Հովհաննեսի ՀԱՊՀ, «Հիդրոտեխնիկա» բազային լաբորատո-
րիայի ղեկավար, ՄՏԴ ինստիտուտի «Տրանսպոր-
տային միջոցներ» ամբիոնի պրոֆեսոր, տ.գ.դ.
Էլ. հասցե - baljyan-1951@list.ru
- 11 Բակունց Մարինե Գարենի ՀԱՊՀ, ասպիրանտ, ճարտարագիտական
գրաֆիկայի ամբիոն
Էլ. հասցե - marinka-bakunts@mail.ru
- 12 Բադդասարյան Մարինկա
Քաջիկի ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր ,
Էլ. հասցե - bmarinka@yandex.ru
- 13 Դավթյան Ալբերտ Հարությունի «ՔԵՆՂԼ» ՍՀԻ -ում ՎՏԼ ղեկավարի ժ/պ, մագիստ-
րանտ, «Մեխանիկա և մեքենագիտություն» ամ-
բիոն
Էլ. հասցե - adavtyan@asls.candle.am

- 14 Դավթյան Դավիթ Վանուշի
 15 Եզակյան Հասմիկ Հովհաննեսի
 16 Եզակյան Նարեկ Դավիթի
 17 Եսայան Աշխեն Էդվարդի
 18 Իսունց Համլետ Արայիկի
 19 Խուդավերդյան Սուրիկ Խաչիկի
 20 Ղազարյան Արթուր Արայիկի
 21 Ղուկասյան Վիլեն Սերյոժայի
 22 Մելիքսեթյան Գալուստ Նորիկի
 23 Մելիքյան Նազելի Վազգենի
 24 Մելիքսեթյան Նորիկ Գալուստի
 25 Պետրոսյան Հասմիկ Սամսոնի
 26 Պետրոսյան Պետրոս Սասունիկի
 27 Սալլես Ժան—Միշել
- ՀԱՊՀ, տ.գ.թ., ապիստենտ,
Էլ. հասցե - davitdavtyan1990@mail.ru
 Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ ՓԲԸ,
 Ճարտարագետ
Էլ. հասցե - ezakyanhasmik@rambler.ru
 տ.գ.թ., գիտաշխատող, ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի
 և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ
Էլ. հասցե - yezakinarek@gmail.com
 ԵՊՀ, ֆ.-մ.գ.թ., ավ. գիտաշխատող,
Էլ. հասցե - ashkhen.yesayan@ysu.am
 «ՔԵՆԴԼ» ՍՀԻ -ում ԳԱՍ ղեկավարի ժ/պ, մա-
 գիստրանտ, «Մեքենաշինության տեխնոլո-
 գիաներ և ավտոմատացում» ամբիոն
Էլ. հասցե - hisunts@yahoo.com
 տ.գ.դ., պրոֆ., ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - khsuren@seua.am
 ՀԱՊՀ, մագիստրանտ, «ՄԻՆՈՓՄԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ»
 մասնագիտացված ինտեգրալ սխեմաների
 ֆիզիկական նախագծման 1-ին կարգի
 ճարտարագետ,
Էլ. հասցե - art.ghazaryan15@gmail.com
 տ.գ.թ., լոգիստիկ մենեջեր, «ONEX» ՍՊԸ
Էլ. հասցե - univ70@mail.ru
 ՀԱՊՀ, տ.գ.թ., Վանաձորի մասնաճյուղ,
Էլ. հասցե - g_meliksetyan93@mail.ru
 ՀԱՊՀ, տ.գ.թ., դոցենտ, «ՄԻՆՈՓՄԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ»
 մասնագիտացված ինտեգրալ սխեմաների
 ֆիզիկական նախագծման 1-ին կարգի
 կառավարիչ,
Էլ. հասցե - nazeli@synopsys.com
 ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., դոցենտ, Վանաձորի մասնաճյուղ,
Էլ. հասցե - n_meliksetyan@mail.ru
 ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մետալուրգիա և
 նյութագիտություն» ամբիոն,
Էլ. հասցե - univ70@mail.ru
 ԵՊՀ, ասպիրանտ, ԶԱՅԼԻՆՔՍ ԱՐՄԵՆ,
 ծրագրավորման ավագ ինժեներ,
Էլ. հասցե - petros.petrosyan9722@gmail.com
 ֆ.-մ.գ.թ., պրոֆեսոր, Լոզանի պոլիտեխնիկական
 ֆեդերալ դպրոց

- 28** Սիմոնյան Վիգեն Արմենի ՀԱՊՀ, ասպիրանտ
Էլ. հասցե - vigensimonyan2017@gmail.com
- 29** Սողոմոնյան Կոլյա Համազասպի ՀԱՊՀ, տ. գ. դ., պրոֆեսոր, «Ճարտարագիտական գրաֆիկա» ամբիոն
Էլ. հասցե - kolia95@mail.ru
- 30** Վարդումյան Արման Վահագնի ՀԱՊՀ ասպիրանտ, «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ
Էլ. հասցե - arman1vardumyan@gmail.com

СПИСОК АВТОРОВ

- 1 Авагян Вардан Шаваршевич д.т.н., зам. директора по инженерии, ИСИ “КЕНДЛ”,
Эл. почта – avagyan@asls.candle.am
- 2 Авагян Нарек Аветикович аспирант, ЕГУ; старший инженер физического проектирования специализированных интегральных схем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта – narekavagyan98@gmail.com
- 3 Агбалиян Алла Суреновна научный сотрудник, НПУА,
Эл. почта – Aghbalyana@gmail.com
- 4 Агбалиян Сурен Геворкович д.т.н., профессор, НПУА,
Эл. почта – metalsur@polytechnic.am
- 5 Айвазян Армен Гагикович соискатель, НПУА,
Эл. почта – agagarm@gmail.com
- 6 Аракелян Арусяк Гегамовна аспирант, НПУА,
Эл. почта – arusaraqelyan13@gmail.com
- 7 Асчян Григор Оганесович аспирант, кафедра Металлургии и материаловедения, НПУА,
Эл. почта – grigor_aschyan@rambler.ru
- 8 Бабаян Армен Врежович аспирант, НПУА; инженер по исследованиям и разработкам 2-й категории, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта – ababaya@synopsys.com
- 9 Багдасарян Маринка Каджиковна д.т.н., профессор, НПУА,
Эл. почта – bmarinka@yandex.ru
- 10 Бакунц Марине Гареновна аспирант, кафедра Инженерной графики, НПУА,
Эл. почта – marinka-bakunts@mail.ru
- 11 Балаян Ашот Валерьевич соискатель, Гидравлическая лаборатория Шушинского технологического университета,
Эл. почта – ashotbalayan92@gmail.com
- 12 Балджян Паргев Оганесович д.т.н., профессор, руководитель базовой лаборатории «Гидротехника», НПУА,
Эл. почта – baljyan-1951@list.ru
- 13 Вардумян Арман Ваагнович аспирант, НПУА; ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта – arman1vardumyan@gmail.com
- 14 Гукасян Вилен Сережаевич к.т.н., логистик-менеджер, ООО “ОНЭКС”,
Эл. почта – univ70@mail.ru
- 15 Давтян Альберт Арутюнович магистрант, кафедра Механики и машиноведения, НПУА; и.о. руководителя ЛВТ, ИСИ “КЕНДЛ”,
Эл. почта – adavtyan@asls.candle.am

- | | |
|--------------------------------|---|
| 16 Давтян Давит Ванушевич | к.т.н., ассистент, НПУА,
Эл. почта – daviddavtyan1990@mail.ru |
| 17 Езакян Асмик Оганесовна | инженер, ЗАО «Институт горнометаллургии»,
Эл. почта – ezakyanhasmik@rambler.ru |
| 18 Есаян Ашкен Эдвардовна | к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник, ЕГУ,
Эл. почта - ashkhen.yesayan@ysu.am |
| 19 Езакян Нарек Давидович | к.т.н., научный сотрудник, Институт
радиофизики и электроники НАН РА,
Эл. почта - yezakinarek@gmail.com |
| 20 Исунц Гамлет Араикович | магистрант, кафедра Технологии
машиностроения и автоматизации, НПУА; и.о.
руководителя НПО, ИСИ “КЕНДЛ”,
Эл. почта – hisunts@yahoo.com |
| 21 Казарян Артур Араикович | магистрант, НПУА; инженер физического
проектирования специализированных интег-
ральных схем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта – art.ghazaryan15@gmail.com |
| 22 Меликсетян Галуст Норикович | к.т.н., Ванадзорский филиал НПУА,
Эл. почта – g_meliksetyan93@mail.ru |
| 23 Меликсетян Норик Галустович | д.т.н., доцент, Ванадзорский филиал НПУА,
Эл. почта – n_meliksetyan@mail.ru |
| 24 Меликян Назели Вазгеновна | к.т.н., доцент, НПУА; менеджер физического
проектирования специализированных
интегральных схем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта – nazeli@synopsys.com |
| 25 Петросян Асмик Самсоновна | д.т.н., профессор, кафедра Металлургии и
материаловедения, НПУА,
Эл. почта – univ70@mail.ru |
| 26 Петросян Петрос Сасуникович | аспирант, ЕГУ,
Эл. почта – petros.petrosyan9722@gmail.com |
| 27 Саллез Жан-Мишел | к.ф.-м.н., профессор, Федеральная
политехническая школа Лозанны |
| 28 Симонян Виген Арменович | аспирант, НПУА,
Эл. почта - vigensimonyan2017@gmail.com |
| 29 Согомонян Коля Амазаспович | д.т.н., профессор, кафедра Инженерной
графики НПУА,
Эл. почта – kolia95@mail.ru |
| 30 Худавердян Сурик Хачикович | д.т.н., проф., НПУА,
Эл. почта – khsuren@seua.am |

LIST OF THE AUTHORS

- | | | |
|-----------|----------------------------|--|
| 1 | Agbalyan Alla Suren | NPUA, researcher
E-mail - Aghbalyana@gmail.com |
| 2 | Aghbalyan Suren Geworg | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA,
E-mail - metalsur@polytechnic.am |
| 3 | Ayvazyan Armen Gagik | Probationer, NPUA,
E-mail - agagarm@gmail.com |
| 4 | Arakelyan Arusyak Gegam | Post-graduate student, NPUA
E-mail - arusaraqelyan13@gmail.com |
| 5 | Aschyan Grigor Oganess | Post-graduate student of the Department of Metallurgy and Materials Science NPUA
E-mail - grigor_aschyan@rambler.ru |
| 6 | Avagyan Narek Avetik | Post-graduate student, Synopsys Armenia, Senior ASIC physical design engineer, YSU, Radiophysics
E-mail - narekavagyan98@gmail.com |
| 7 | Avagyan Vardan Shavarsh | Dr. of tech. sci., Deputy Director for Engineering at “CANDLE” SRI
E-mail - avagyan@asls.candle.am |
| 8 | Babayan Armen Vrej | Post-graduate student, NPUA, Research and Development Engineer 2 at Synopsys Armenia,
E-mail - ababaya@synopsys.com |
| 9 | Balayan Ashot Valeri | Probationer, Hydraulic Laboratory of Technological University Shushi,
E-mail - ashotbalayan92@gmail.com |
| 10 | Baljyan Pargev Hovhannes | Dr. of tech. sci., Professor, NPUA, Head of the base laboratory "Hydraulic engineering" of NPUA,
E-mail - baljyan-1951@list.ru |
| 11 | Bakunts Marine Garen | Post-graduate student, Chair of Engineering Graphics, NPUA
E-mail - marinka-bakunts@mail.ru |
| 12 | Baghdasaryan Marinka Kajik | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA,
E-mail - bmarinka@yandex.ru |
| 13 | Davtyan Albert Harutyun | Graduate student of the Chair “Mechanics and Machine science”, NPUA, Acting Head of VTL at “CANDLE” SRI
E-mail - adavtyan@asls.candle.am |
| 14 | Davtyan Davit Vanush | Cand of tech.sci., Assistant
E-mail - davitdavtyan1990@mail.ru |
| 15 | Ghazaryan Artur Arayik | Graduate student, Synopsys Armenia, ASIC physical design engineer, NPUA,
E-mail - art.ghazaryan15@gmail.com |

- 16** Ghukasyan Vilen Seryoja Cand. of tech. sci., Logistic manager, LLC “ONEX”
E-mail - univ70@mail.ru
- 17** Khudaverdyan Surik Khachik Dr. of tech. sci., NPUA,
E-mail - khsuren@seua.am
- 18** Isunts Hamlet Araik Graduate student of the Chair “Machine building and Automation”, NPUA, Acting Head of SF at “CANDLE” SRI
E-mail - hisunts@yahoo.com
- 19** Melikyan Nazeli Vazgen Cand. of tech. sci., Assoc Prof., NPUA, Synopsys Armenia, ASIC physical design manager,
E-mail - azeli@synopsys.com
- 20** Meliksetyan Galust Norik Cand. of tech. sci., Vanadzor branch of NPUA,
E-mail - g_meliksetyan93@mail.ru
- 21** Meliksetyan Norik Galust Assoc. Prof. of the Vanadzor Branch, NPUA, department head
E-mail - n_meliksetyan@mail.ru
- 22** Petrosyan Hasmik Samson Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA
E-mail - univ70@mail.ru
- 23** Petrosyan Petros Sasunik Post-graduate student, YSU,
E-mail - petros.petrosyan9722@gmail.com
- 24** Simonyan Vigen Armen Post-graduate student of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA,
E-mail - vicensimonyan2017@gmail.com
- 25** Soghomonyan Kolya Hamazasp Dr. of tech. sci., Prof., Chair of Engineering Graphics, NPUA
E-mail - kolia95@mail.ru
- 26** Sallese Jean-Michel Ph.D., Professor, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne
- 27** Vardumyan Arman Vahagn Post-graduate student, NPUA, Synopsys Armenia CJSC
E-mail - arman1vardumyan@gmail.com
- 28** Yezakyan Hasmik Hovhannes CJSC “Institute of Mining and Metallurgy”, engineer
E-mail - ezakyanhasmik@rambler.ru
- 29** Yezakyan Narek David Cand. of tech. sci., researcher, Institute of Radiophysics and Electronics, NAS RA
E-mail - yezakinarek@gmail.com
- 30** Yesayan Ashkhen Edvard Cand. of phys.-math. sci., s. researcher, YSU
E-mail - ashkhen.yesayan@ysu.am

«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, հիդրավլիկա 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 equepment, 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 ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

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 դարականիշը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԴԿ, UDC), 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 (անտասցիա) 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 հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գետեղման 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. Цитированная 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).