

ISSN 0002-306 X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ՀԱՏՈՐ LXXIII ТОМ

3

ԵՐԵՎԱՆ

2020

ЕРЕВАН

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 73

N 3

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2020

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 73

N 3

ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ

ЕРЕВАН 2020

PROCEEDINGS

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

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 73

N 3

JULY - SEPTEMBER

YEREVAN 2020

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Գլխավոր խմբագիր՝ Մելիքյան Վ.Շ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գլխ. խմբագրի տեղակալ՝ Գրիգորյան Ա.Խ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Պատասխանատու քարտուղար՝ 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 Ն.Պ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Բաղդասարյան Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Գոնեւմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս
Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի
Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա
Ջոքյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Իյուշենկո 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
Ղույան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Մանդալիկա Ս., տ.գ.թ., Հնդկաստան
Մարուխյան Ռ.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ
Միխայլենկո Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Շիխտման 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
Մարգարյան Յու.Լ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Սքիտնե Ս.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ստեմպկովսկի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Վորոբյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., ՌԴ
Ցանովա Ս., տ.գ.թ., Բուլղարիա
Ուբար Բ., Էստոնիայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Էստոնիա
Ուսանով Վ.Ի., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Քուչուկյան Ա.Թ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Ответственный секретарь Сейранян Ж.С., Армения

Редколлегия:

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

Бадалян Н.П., д.т.н., проф., Россия

Воробьев А.Е., д.т.н., проф., Россия

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

Гонейма М., к.т.н., Египет

Гримблат В., к.т.н., Чили

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

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

Зорян Е., к.т.н., США

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

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

Куртуа Б., к.т.н., Франция

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

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

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

Петросян О.А., д.т.н., проф., Армения

Петросянец К.О., д.т.н., проф., Россия

Сапатнекар С., к.т.н., США

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

Сбитнев С.А., д.т.н., проф., Россия

Симонян С.О., д.т.н., проф., Армения

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

Тихомиров Г.В., д.ф.-м.н., Россия

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

Усанов В.И., д.т.н., проф., Россия

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

Цанова С., к.т.н., Болгария

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

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

Шлихтманн У., к.т.н., Германия

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

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

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

ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ԲԱՂԱԴՐԱԿԱԶՄՈՎ «ԲԱՍՏԵՆԻՏ» ՏԻՊԻ ՇՓԱՆՅՈՒԹ
ԹՄԲՈՒԿԱՎՈՐ ԱՐԳԵԼԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ուսումնասիրված են ասբեստազերծ շփանյութերի շփագիտական բնութագրերը՝ համաձայն ՄԱԿ-ին կից Եվրոպական տնտեսական կոմիտեի միջազգային ստանդարտների պահանջների: Պարզաբանված են շփանյութերի մակերևութային բարակ շերտերում ընթացող մեխանաքիմիական փոխակերպումները, և հաշվարկված են մնացորդային լարումների արժեքները: Բեռնատար ավտոմեքենաների թմբուկային արգելակների շփագույգեքում կիրառելու նպատակով առաջարկվում են Բաստենիտ-9Մ տիպի բարելավված բաղադրակազմով ասբեստազերծ պոլիմերային շփանյութը և նրա պատրաստման տեխնոլոգիան:

Առանցքային բառեր. ասբեստազերծ պոլիմերային շփանյութ, արգելակման արդյունավետություն, մաշակայունություն, թմբուկային արգելակ:

Ներածություն: Կատարված գիտական և որոնողական աշխատանքների արդյունքում մշակված և մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակային արգելակներում ներդրված են նոր, հեղինակային իրավունքներով և ՌԴ պատենտով արտոնագրված «Բաստենիտ» ընդհանուր անվանումով ասբեստազերծ արգելակային շփանյութեր [1-3]: Հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվել է, որ բազմաբաղադրիչ նյութերի կիրառմամբ պոլիմերային հիմքով ասբեստազերծ արգելակային կոմպոզիտային շփանյութերում լայն տարածում գտած ամրանային լցուկների (Հայաստանի հանքաքարերից ստացված բազալտաթելք և ապակեթելք, գրաֆիտաթելք և ասբեստաթելք) տրոհման գործընթացները էկզոջերմային բնույթի են և սկսվում են հիմնականում 550 °C-ից բարձր ջերմաստիճաններում: Դա ուղենիշ է բազմաբաղադրիչ նյութերի կիրառմամբ ասբեստազերծ արգելակային կոմպոզիտային նոր և ջերմակայուն շփանյութերի մշակման և առաջադրման համար: Հնարավորություն է ստեղծվում բարձրացնելու շփանյութերի ջերմակայունությունը և շփամաշվածքային բնութագրերը բարձր ջերմաստիճաններում, դրանց բաղադրակազմերում օգտագործելով այնպիսի նպատակային լցուկներ, որոնց տրոհման ջերմաստիճանները գտնվում են 550 °C-ից մինչև 850 °C ջերմաստիճանային տիրույթում, և տրոհման գործընթացներն էնդոջերմային բնույթի են:

Նպատակ ունենալով բազմաբաղադրիչ նյութերի կիրառմամբ պոլիմերային հիմքով ասբեստազերծ արգելակային ջերմակայուն կոմպոզիտային շփանյութերի բաղադրակազմերում կիրառելու Հայաստանի հանքանյութերից ստացված

փոշիները, ընտրվել և հետազոտության է ենթարկվել կալցիումի կարբոնատով հարուստ հանքաքարերից ստացված մարմարի փոշին, որի առավելություններից են էկոլոգիապես մաքուր լինելը և աղմուկը կլանելու հատկությունը [3]:

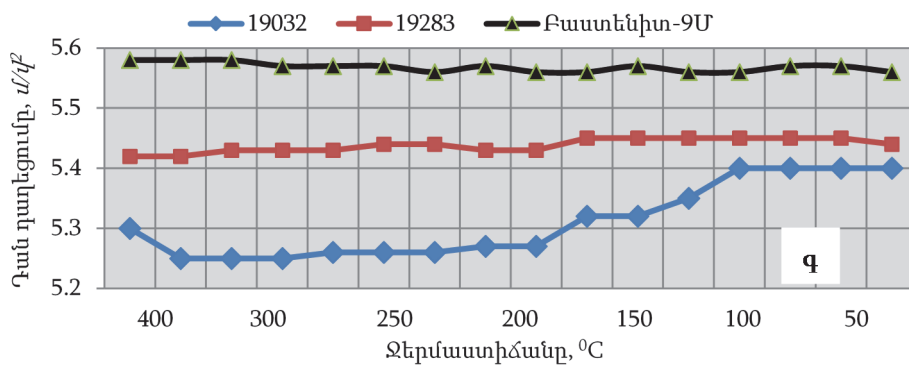
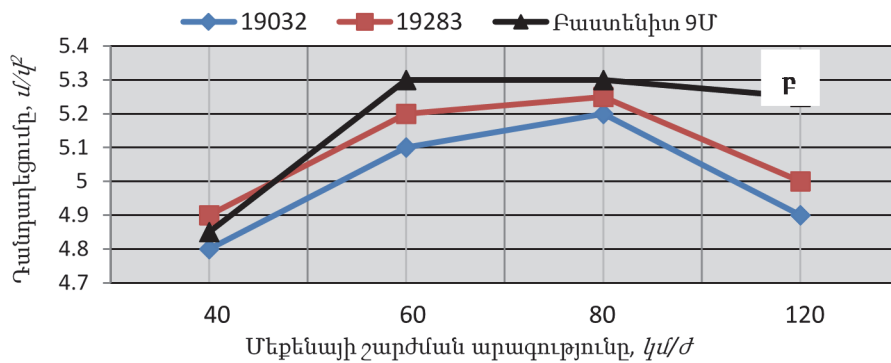
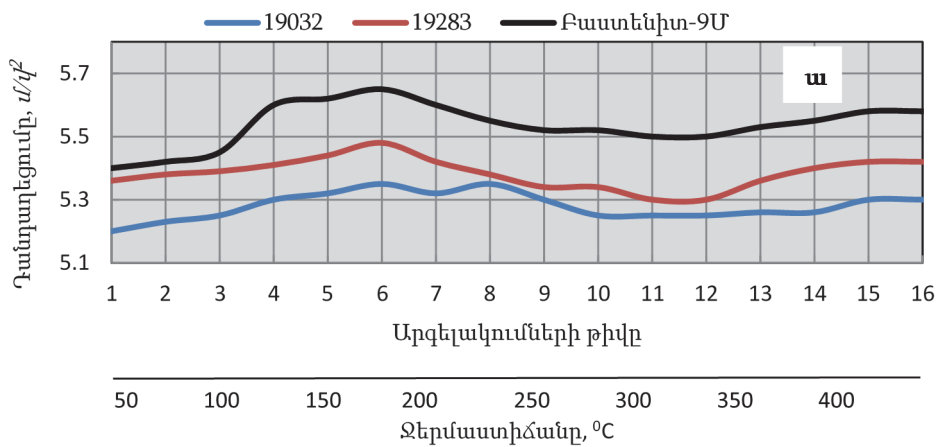
Բեռնատար ավտոմեքենաների թմբուկային արգելակային հանգույցների շահագործողական ռեժիմներով ստենդային փորձարկումները ցույց են տալիս, որ դրանք ցուցաբերում են բավարար աշխատունակություն և բավարարում են միջազգային SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները [4, 5]:

Արգելակային շփանյութերում կիրառվող կապակցող նյութերի, լցուկների և շփման գործակցի կարգավորիչների ուսումնասիրման հիման վրա մշակվել են «Բաստենիտ-9» անվամբ ասբեստազերծ արգելակային ջերմակայուն կոմպոզիտային շփանյութ և ստացման տեխնոլոգիա, որոնք որպես գիտական նորույթ ամրագրվել են ՀՀ գյուտի արտոնագրով (ՀՀ գյուտի N 2909A արտոնագիր):

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Բեռնատար ավտոմեքենաների արգելակային հանգույցներում բարելավված բաղադրամասերով «Բաստենիտ» դասի ասբեստազերծ շփանյութերի մշակման և ներդրման նպատակով անհրաժեշտություն է առաջանում բարելավել «Բաստենիտ-9» տիպի շփանյութի բաղադրակազմը, ուսումնասիրել շփանյութերի շփամաշվածքային բնութագրերի վրա շփահպակի ջերմային բեռնավորման ազդեցությունը և շփանյութերի մակերևութային շերտերում տեղի ունեցող մեխանաքիմիական, կառուցվածքային, ֆազային կազմի, լարվածային դեֆորմացիոն և այլ փոխակերպումները:

Հետազոտության արդյունքները. Արգելակային շփանյութերի շփամաշվածքային բնութագրերի վրա շփահպակի ջերմային բեռնավորման ազդեցության ուսումնասիրման նպատակով փորձագիտական հետազոտությունների են ենթարկվել բարելավված բաղադրամասերով «Բաստենիտ-9Մ» շփանյութից և եվրոպական JURID ֆիրմայի արտադրած և միջազգային SAE J 661 201211 ստանդարտների պահանջներին համապատասխանող WVA 19032 BFMC, WVA 19283 BFMC մակնիշների շփանյութերից (MAN, DAF, IVECO բեռնատարների թմբուկավոր արգելակների ներդիրների շփանյութեր) պատրաստված փորձանմուշները: Փորձարկումները կատարվել են TC-1 իներցիոն ստենդի վրա՝ համաձայն նշված ստանդարտի մեթոդիկայի: Արգելակման արդյունավետության, արդյունավետության կորստի և արդյունավետության կորստի վերականգնման ուսումնասիրության արդյունքները ներկայացված են նկ. 1-ում:

Վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ «Բաստենիտ-9Մ» շփանյութն արգելակման արդյունավետության կորստի բնութագրերով (նկ. 1, ա) ամբողջ ջերմաստիճանային տիրույթում գերազանցում է 19032 և 19283 մակնիշների շփանյութերին, և դանդաղեցման արժեքների ցրման դաշտը չի գերազանցում 5%, ինչը բավարարում է SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները:



Նկ. 1. Փորձարկումների համեմատական արդյունքները. ա- արգելական արդյունավետության կորուստը, բ- արգելական արդյունավետությունը, գ-արգելական արդյունավետության կորուստի վերականգնումը

Արգելական արդյունավետության (նկ. 1, բ) և արգելական արդյունավետության կորուստի վերականգնման (նկ. 1, գ) բնութագրերով «Բաստենիտ-9Մ» շփանյութը և գերազանցում է մյուս շփանյութերին: Ընդ որում, «Բաստենիտ-9Մ»

շփանյութի գծային մաշման %-ային արժեքները միջին մակարդակի են (2,55 %) և բավարարում են SAE J 661 201211 ստանդարտի պահանջները:

Այսպիսով, շփամաշվածքային բնութագրերով բարելավված բաղադրամասերով «Բաստենիտ-9Մ» շփանյութը բեռնատար ավտոմեքենաների թմբուկային արգելակների շահագործողական ռեժիմներով ստենդային փորձարկումների արդյունքում ցուցաբերում է բավարար աշխատունակություն և բավարարում է միջազգային [5] ստանդարտի պահանջները: Այն առաջարկվում է ճանապարհային շահագործողական փորձարկումների համար:

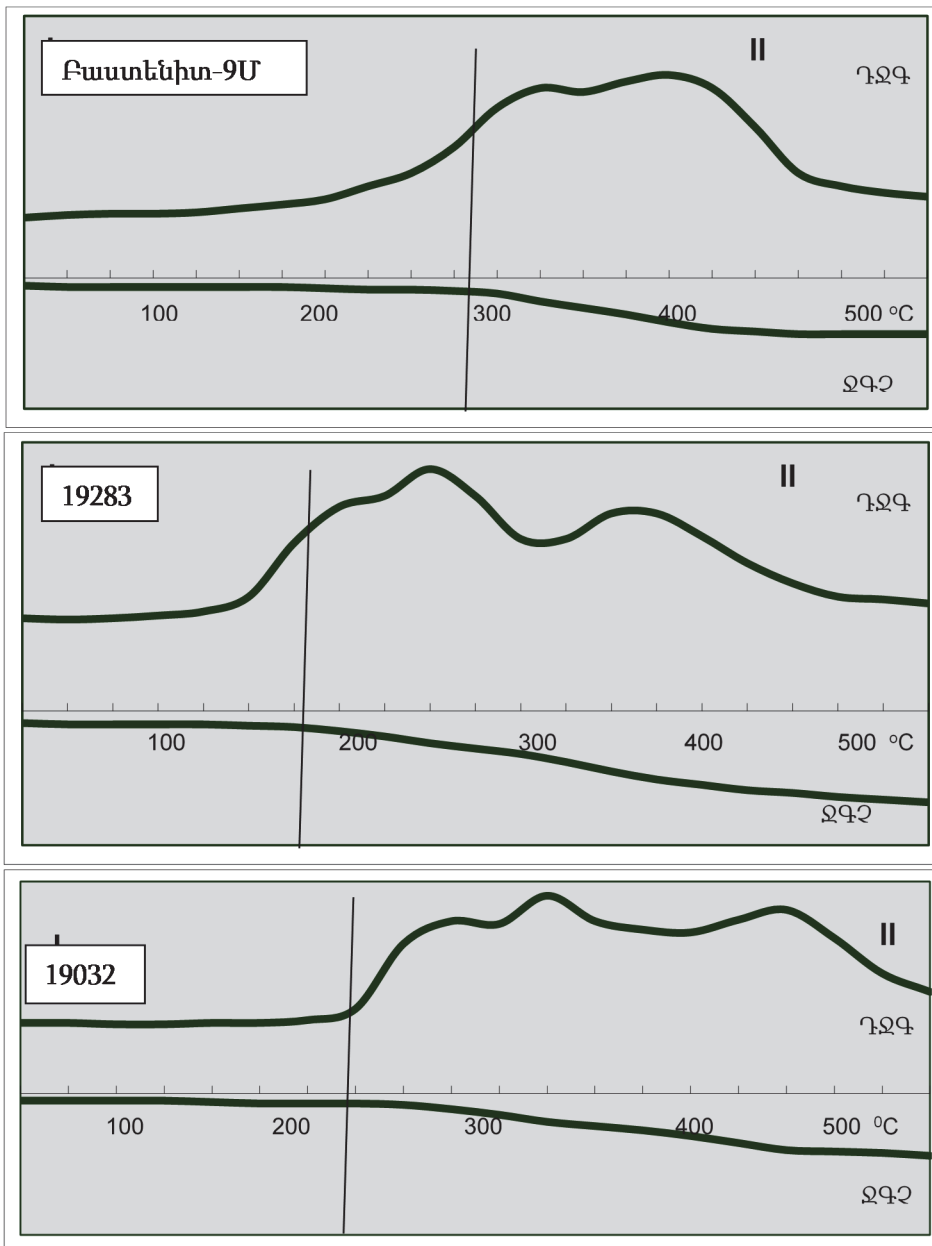
Դիֆերենցիալ-ջերմաձանրաչափական (ԴՋԳ) և ջերմաձանրաչափական (ՋԳԶ) մեթոդներով ՕՃ-102 դերիվատագրի միջոցով ուսումնասիրվել են ընտրված շփանյութերի նմուշների ջերմաֆիզիկական հատկությունները (նկ. 2), համաձայն որոնց մեխանաքիմիական փոփոխություններն ունեն երկփուլ բնույթ և սկսվում են դեռևս ցածր ջերմաստիճանային շփման պայմաններում: Մինչև 240 °C տեղի են ունենում մակերևութային շերտի ամրության նվազում և բաղադրակազմի ցնդող տարրերի ցածր մոլեկուլային քաշային պիրոլիզ (I տիրույթ): Մինչև 420 °C նկատվում է կապակցող նյութի տրոհում (II տիրույթ): Ընդ որում, փոխակերպումներն ուղեկցվում են ջերմության անջատումով, քանի որ դիֆերենցիալ-ջերմաձանրաչափական կորերն ունեն էկզոջերմային բնույթ:

Ջերմաձանրաչափական կորերը ցույց են տալիս, որ տաքացման ընթացքում տեղի է ունեցել շփանյութերի նմուշների զանգվածի կորուստ: Կորերի վերծանումը հնարավորություն է տալիս ներկայացնելու մեխանաքիմիական փոխակերպումների մեխանիզմները (աղ. 1):

Աղյուսակ 1

Մեխանաքիմիական փոխակերպումների մեխանիզմները

№	Մեխանիզմը	Շփանյութը		
		19032	19283	Բաստենիտ-9
		Փոխակերպման ջերմաստիճանը, °C		
I	Մակերևութային շերտի ամրության նվազում և բաղադրակազմի ցնդող տարրերի ցածր մոլեկուլային պիրոլիզ	100...240	100...180	100...280
II	Կապակցող նյութերի քայքայում	240...420	180...420	280...450

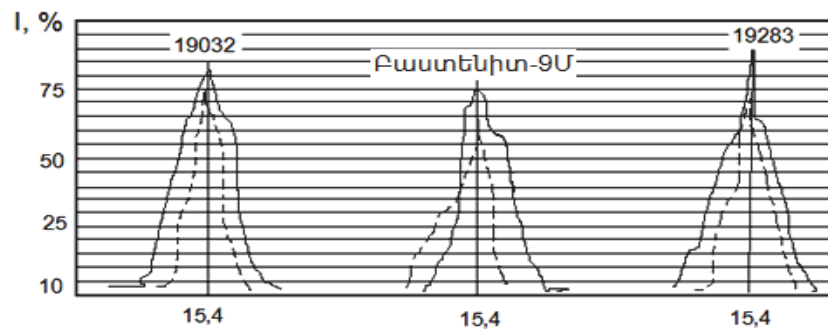


Նկ. 2. Ընտրված շփանյութերի նմուշների ջերմաֆիզիկական հատկությունները

Շփանյութերի 250...400 °C ջերմաստիճանային միջակայքում առկա է մեխանաքիմիական փոխակերպումների և շփանյութերի շփագիտական բնութագրերի միջև ուղիղ համեմատական կապ. որքան ցածր ջերմաստիճաններում են կատարվում մեխանաքիմիական փոխակերպումները, այնքան վաղ են սկսվում

դանդադեցման արժեքի նվազումն ու մաշման սաստիկության անցումը չափավորից դեպի ուժգինը:

Շփանյութերի մակերևութային շերտերի լարվածա-դեֆորմացման վիճակի գնահատման նպատակով փորձարկումների ենթարկված նմուշների շփման մակերևույթներն ուսումնասիրվել են ռենտգենյան դիֆրակցիայի մեթոդով DPOH-2 սարքավորման վրա: Ամրանավորող տարրի անկյունային ռեֆլեքսի (ռենտգենյան ճառագայթի առաջնային փնջի անկման անկյուն) արժեքները, շփման ուղղությանը զուգահեռ և ուղղահայաց ճառագայթների անկման դեպքում, բերված են նկ. 3-ում:



Նկ. 3. Ամրանավորող տարրի անկյունային ռեֆլեքսի (ռենտգենյան ճառագայթի առաջնային փնջի անկման անկյուն) արժեքները շփման ուղղությանը զուգահեռ (—) և ուղղահայաց (---) ճառագայթների անկման դեպքում

Ռենտգենագրերից երևում է, որ մակերևութային ընկնող ճառագայթները, կախված շփման ուղղությունից, ունեն տարբեր ուժգնությամբ անկյունային ռեֆլեքսներ: Դա հաստատում է, որ մակերևութի բարակ շերտերում գործում են մնացորդային լարումներ, որոնց արժեքները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$\sigma_1 = K + L, \quad \sigma_3 = K - L, \quad (1)$$

$$\text{որտեղ } K = \frac{1}{2} \left[\frac{d_\theta + d'_\theta - 2d_0}{d_0} \cdot \frac{E}{(1+\nu) \sin^2 \theta - 2\nu} \right], \quad L = \frac{d_\theta - d'_\theta}{d_0} \cdot \frac{E}{(1+\nu) \sin^2 \theta}:$$

Բանաձևերում d_θ -ն միջհարթությունային հեռավորությունն է շփման ուղղությանը զուգահեռ ռենտգենյան ճառագայթների անկման դեպքում, d'_θ -ն՝ միջհարթությունային հեռավորությունը շփման ուղղությանը ուղղահայաց ռենտգենյան ճառագայթների անկման դեպքում, E -ն՝ առաձգականության մոդուլը, ν -ն՝ Պուասոնի գործակիցը, d_0 -ն՝ շփանյութերի միջհարթությունային հեռավորությունը.

$$d_0 = \lambda / 2 \sin \theta, \quad (2)$$

որտեղ λ -ն ալիքի երկարությունն է ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ պղնձի ճառագայթման դեպքում); θ -ն՝ առաջնային փնջի անկման անկյունը:

Շփման ուղղությանը զուգահեռ (σ_1) և ուղղահայաց (σ_3) մնացորդային լարումների թվային արժեքները բերված են աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

Մնացորդային լարումների թվային արժեքները

Շփանյութ	Մնացորդային լարում, <i>ԳՊա</i>		Առաձգականության մոդուլ, <i>ԳՊա</i>
	σ_1	σ_3	
19032	8,65	-7,15	7,90
Բաստենիտ-9Մ	7,58	-6,63	7,60
19283	9,18	-8,61	7,70

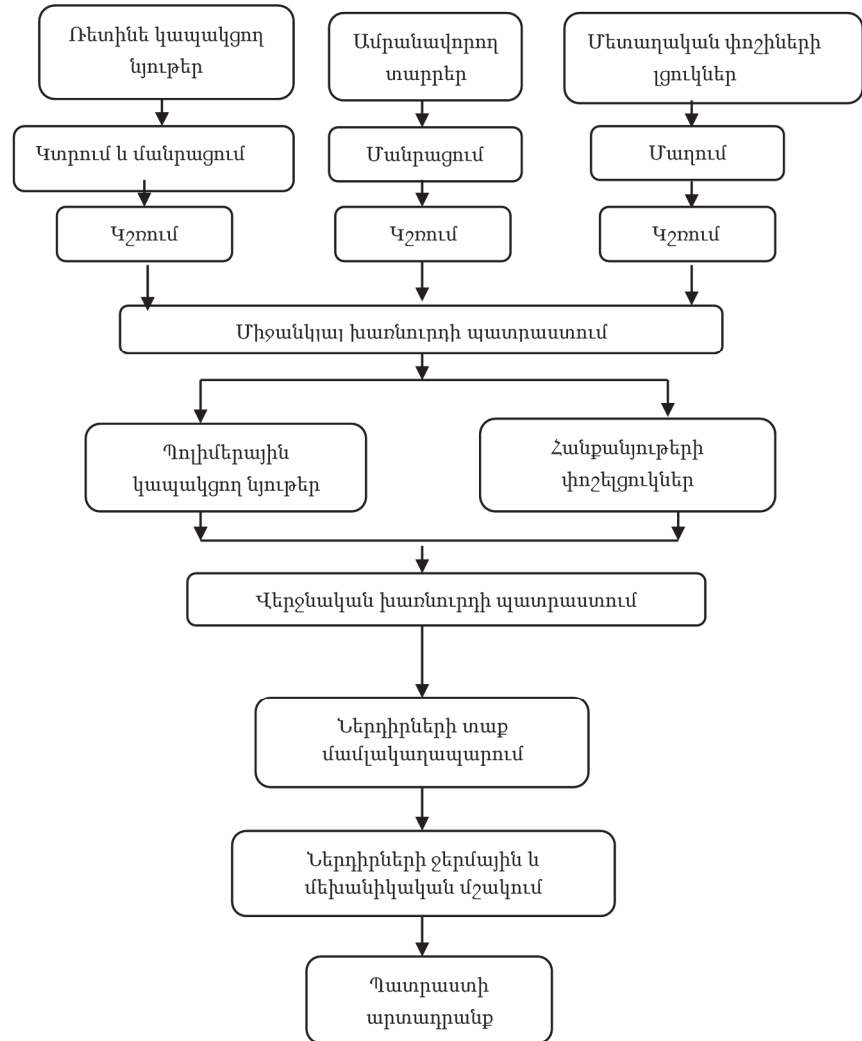
Շփման վեկտորի ուղղությամբ մնացորդային լարումները ձգող լարումներ են, իսկ ուղղահայաց ուղղությամբ՝ սեղմող լարումներ: Ընդ որում, սեղմող լարումներն իրենց բացարձակ արժեքներով փոքր են ձգող լարումներից: Լարվածության այսպիսի անհամաչափ վիճակը շփման վեկտորի ուղղությամբ մակերևութային շերտերի կողմնորոշման արդյունք է և հանգեցնում է մակերևութային շերտերում շփման ուղղությամբ տարածվող միկրոճաքերի առաջացմանը: Մնացորդային լարումների արժեքները գերազանցում են շփանյութերի առաձգականության մոդուլների արժեքներին:

Հետազոտման արդյունքները հաստատագրում են, որ նոր ասբեստազերծ ջերմակայուն կոմպոզիտային շփանյութերի մշակման գործընթացում կապակցող նյութերի, ամրանային տարրերի և նպատակային լցուկների ընտրման միջոցով շփանյութերի չափավոր մաշումից ուժգին մաշմանն անցման ջերմաստիճանային տիրույթն անհրաժեշտ է տեղաշարժել դեպի ավելի բարձր ջերմաստիճանային տիրույթ, ուղենիշ ունենալով շփագույզի աշխատունակության բարձրացումը:

Առաջարկվող Բաստենիտ-9Մ շփանյութից շփական ներդիրները պատրաստվում են բաղադրիչների խառնման երկփուլ տեխնոլոգիայով (նկ. 4):

«Բաստենիտ-9Մ» շփանյութի վերջնական խառնուրդի պատրաստումն իրականացվում է հետևյալ հաջորդականությամբ. 70 °C տաքացված պայմաններում ռետինախառնիչի խառնման խուց են լցվում ռետինե կապակցող նյութը, ապակե- և բազալտաթելքերը, տիտանի երկօքսիդի և մարմարի փոշիները: Զանգվածը 4 *րոպ* տևողությամբ խառնվում է 0,5 *ՄՊա* ճնշման և z-ձև լիսեռների 22 *պտ/րոպ* պտուտաթվերի պայմաններում: Այնուհետև, առանց դադարեցնելու ռետինախառնիչի աշխատանքը, ավելացվում են 10-50 *մկմ* չափերով ֆենոլֆորմալդեհիդը, բարիտի խտանյութը, գրաֆիտը, հեղուկ ապակին և նատրիումի տետրաբորատը: Զանգվածը 6 *րոպ* տևողությամբ խառնվում է 0,6 *ՄՊա* ճնշման և z-ձև լիսեռների 25 *պտ/րոպ* պտուտաթվերի պայմաններում: Ռետինախառնիչի բեռնաթափումից

հետո, ներքին լարումները հանելու նպատակով, վերջնական խառնուրդը հովացվում է մինչև սենյակային ջերմաստիճան:



Նկ. 4. Բաղադրիչների խառնման երկփուլ տեխնոլոգիայով շփական ներդիրների արտադրության տեխնոլոգիական սխեման

Եզրակացություն. Շփամաշվածքային բնութագրերով բարելավված բաղադրամասերով «Բաստենիտ-9Մ» շփանյութը բեռնատար ավտոմեքենաների թմբուկային արգելակների շահագործողական ռեժիմներով ստենդային փորձարկումների արդյունքում ցուցաբերում է բավարար աշխատունակություն և բավարարում է միջազգային SAEJ 661 201211 ստանդարտի պահանջները: Այն առաջարկվում է ճանապարհային շահագործողական փորձարկումների համար:

Մեխանաքիմիական փոփոխություններն ունեն երկփուլ բնույթ և սկսվում են դեռևս ցածր ջերմաստիճանային շփման պայմաններում: Մինչև 240 °C տեղի են ունենում մակերևութային շերտի ամրության նվազում և բաղադրակազմի ցնդող տարրերի ցածր մոլեկուլային քաշային պիրոլիզ (I տիրույթ): Մինչև 420 °C նկատվում է կապակցող նյութի տրոհում (II տիրույթ):

Շփման վեկտորի ուղղությամբ մնացորդային լարումները ձգող լարումներ են, իսկ ուղղահայաց ուղղությամբ՝ սեղմող լարումներ: Մնացորդային լարումների արժեքները գերազանցում են շփանյութերի առաձգականության մոդուլների արժեքներին:

Առաջարկվող «Բաստենիտ-9Մ» շփանյութից շփական ներդիրները պատրաստվում են բաղադրիչների խառնման երկփուլ տեխնոլոգիայով:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՄՍ նախարարության գիտության կոմիտեի կողմից ՀԱՊՀ «Շփագիտություն» և «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիաներին տրամադրած ֆինանսավորման շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Фрикционные композиты на основе полимеров / **А.К. Погосян, П.В. Сысоев, Н.Г. Меликсетян и др.**- Минск: Информтрибо, 1992.- 218 с.
2. **Պողոսյան Ա.Կ., Մելիքսեթյան Ն.Գ.** Ասբեստազերծ կոմպոզիտային շփանյութերի ստեղծումն ու կիրառումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2012.- Հատ. 65, N3.- էջ 235-245:
3. **Ագբալյան Ս.Գ., Մելիքսեթյան Ն.Գ., Մելիքսեթյան Գ.Ն.** Разработка и трибологическое исследование безасбестовых тормозных композиционных материалов // Труды 1-й Межд. конф. “Инженерные решения в машиностроении: Проектирование, моделирование, испытание и изготовление”.- Ереван, 2018.- С. 38-44.
4. **Ագբալյան Ս.Գ., Մելիքսեթյան Գ.Ն.** Новый фрикционный материал для барабанных тормозов большегрузных автомобилей // Вестник НППА: Металлургия, материаловедение, недропользование. - Ереван, 2016.- N1.- С. 42-47.
5. FRICTION TEST FOR BRAKE LINING. International Standart SAE J 661 201211.- Brake Linings Standarts Cjmmmittee.- 2012.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.12.2019:

Н.Г. МЕЛИКСЕТАН, С.Г. АГБАЛЯН, Г.Н. МЕЛИКСЕТАН, Г.О. АСЧЯН
ФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ТИПА “БАСТЕНИТ” С УЛУЧШЕННЫМ
КОМПОЗИЦИОННЫМ СОСТАВОМ ДЛЯ БАРАБАННЫХ ТОРМОЗОВ

Исследованы трибологические характеристики безасбестовых фрикционных материалов в соответствии с правилами международных стандартов Европейского экономического комитета при ООН. Установлены основные характеристики механохимических превращений, протекающих в тонких поверхностных слоях фрикционных композитов, и рассчитаны значения остаточных напряжений. Для применения в парах трения барабанных тормозов грузовых автомобилей предлагаются фрикционный безасбестовый полимерный материал типа “Бастенит-9М” и технология его изготовления.

Ключевые слова: фрикционный безасбестовый полимерный материал, эффективность торможения, износостойкость, барабанный тормоз.

N.G. MELIKSETYAN S.G. AGHBALYAN, G.N. MELIKSETYAN, G.H. ASCHYAN
A BASTENITE- TYPE FRICTIONAL MATERIAL WITH AN IMPROVED
COMPOSITION FOR DRUM BRAKES

The tribological characteristics of asbestos-free friction materials are studied according to the rules of international standards of the European Economic Committee at the UN. The main characteristics of mechanochemical transformations occurring in the thin surface layers of friction composites are established, and the values of residual stresses are calculated. A friction asbestos-free polymer material of the Bastenite-9M type and the technology of its manufacture are proposed to be used in friction pairs of drum brakes of trucks.

Keywords: asbestos-free friction polymer material, braking performance, wear resistance, drum brake.

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Տ.Հ. ԱՖԴԻԿՅԱՆ

**ԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅԱՄԲ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԵՎ ԱԼՄԱՍՏԱՅԻՆ
ՀԱՏԻԿՆԵՐՈՎ ԼԵԳԻՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ
ԳՈՐԾՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Հաստատված է, որ թելքերով ամրանավորումը հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու կոմպոզիտային նյութերի առավել արդյունավետ ամրություն մետաղական, ինչպես նաև ոչ մետաղական մայրակի համակարգերում: Կոմպոզիտային նյութի անհրաժեշտ համալիր ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ստացման համար առավել նախընտրելի է ընդհատվող թելքերով կամ հատիկներով ամրանավորումը: Դուրս է բերված մոդելային նմուշների արտամոման օրինաչափությունների կախվածությունը արտամոմից առաջ թելքի երկարության ու տրամագծի (ℓ_0 / d_0) հարաբերությունից և λ արտամոման գործակցից: Մշակվել է կոմպոզիտային նյութի արտամոմամբ ստացման տեխնոլոգիա: Հետազոտված են նաև ալմաստահղկանյութային գործիքներում ալմաստակիր շերտի ներքին կառուցվածքի բարելավումը արտամոման որոշակի ռեժիմների դեպքում, ինչը նպաստում է գործիքի բանվորական մակերևույթի բարձր աշխատունակության ստացմանը:

Առանցքային բառեր. կոմպոզիտային նյութեր, մայրակ, պողպատ, թելք, արտամոմ, կողմնորոշում, ալմաստափոշի, ամրություն, պլաստիկություն:

Ներածություն: Գիտատեխնիկական առաջընթացը բարձր պահանջներ է ներկայացնում նյութերին: Առաջին հերթին դա վերաբերում է այն նյութերին, որոնք օգտագործվում են դինամիկ կոնստրուկցիաներում: Կոմպոզիտային նյութը ներկայացնում է բարձրամուր նյութ, որը ստացվում է ամրանավորող բաղադրիչի և երկրորդ՝ մայրակի միավորումից, որը թույլ է տալիս իրականացնել պահանջվող ինժեներական կոնստրուկցիայի պատրաստումը և ներքին լարումների փոխանցումը ամրանավորող բաղադրիչին:

Կոմպոզիտային նյութն իր բնույթով բաղկացած է երկու կամ ավելի ֆազերից: Այդ ֆազերը պետք է լինեն համատեղելի ինչպես ֆիզիկականորեն, այնպես էլ քիմիապես [1]:

Մետաղական մայրակով կոմպոզիտային նյութն ունի մի շարք առավելություններ, որոնք կարևոր նշանակություն ունեն կոնստրուկցիոն նյութերի օգտագործման դեպքում: Այս առավելությունները գոյանում են հատկությունների հետևյալ համակցության շնորհիվ՝ բարձր ամրության, բարձր առաձգականության մոդուլի, հարվածային մածուցիկության, ցածր ջերմազգայնության, բարձր մա-

կերևութային կայունության և մակերևութային արատների նկատմամբ ցածր զգայնությամբ, բարձր էլեկտրա- և ջերմահաղորդականությամբ, հատկությունների լավ վերարտադրելիությամբ: Մայրակի ամրությունը հատկապես կարևոր է կոմպոզիտային նյութի այն տեղամասերում, որոնք գտնվում են ամրանավորող բաղադրիչից հեռու (ամրանավորող ֆազը գտնվում է առանցքի նկատմամբ որոշակի անկյան տակ): Հաստատված է, որ թելքերով ամրանավորումը հնարավորություն է տալիս ստանալու առավել արդյունավետ ամրություն մետաղական մայրակի համակարգերում: Ամրանավորող բաղադրիչներից պահանջվում է թելքի բարձր ամրություն, բարձր առաձգականության մոդուլ, պատրաստման պարզություն և ցածր արժեք, լավ քիմիական կայունություն, հատկությունների կայունություն, վնասվածքների կամ քայքայման նկատմամբ դիմադրություն:

Հետազոտությունների նպատակն է բացահայտել մայրակի նյութի մեջ ամրանավորող ֆազի կողմնորոշման արդյունավետությունը՝ կոմպոզիտային նյութի անհրաժեշտ համալիր ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունների ստացման համար:

Մակ Դենիելսը և մյուսները [2] բաղադրիչի հատկությունների և կոմպոզիտի ամրության միջև կապի համար օգտագործել են հետևյալ արտահայտությունը.

$$\sigma_{ij}^* = \sigma_p V_p + \sigma_u V_u, \quad (1)$$

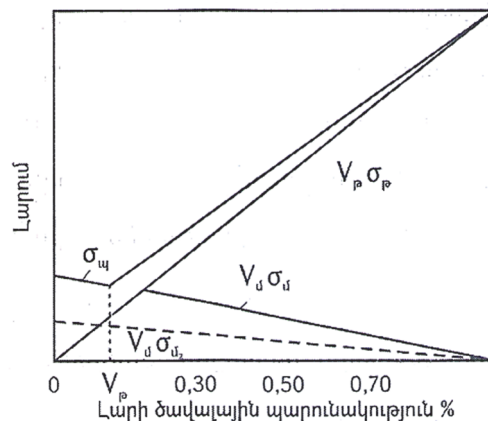
որտեղ σ_{ij}^* -ն կոմպոզիտային նյութի ամրության սահմանն է՝ արտահայտված լարվածությամբ, σ_p -ն՝ բոլոր թելքերի վրա միջին լարվածությունը, σ_u -ն՝ քայքայման ժամանակ մայրակի միջին լարվածությունը, V_p և V_u - ն թելքի և մայրակի ծավալային չափը: Եթե բացակայում է ծակոտկենությունը կամ երրորդ ֆազը, ապա՝

$$V_p + V_u = 1:$$

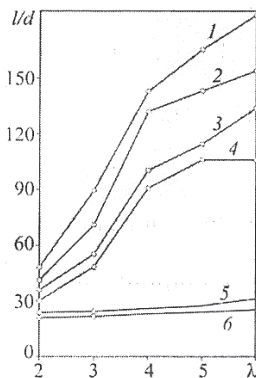
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Փորձերի ժամանակ որպես հիմնական նյութ օգտագործվել է «Պողպատ-40» մակնիշի մետաղալարը, իսկ որպես մայրակի նյութ՝ երկաթի և պղնձի մետաղափոշիները: Հայտնի, որ եթե բոլոր թելքերն ունեն միևնույն ամրությունը, իսկ մայրակը թելքերի քայքայման դեպքում չի կարող դիմադրել բեռնվածությանը, ապա σ_p կարող է հավասարվել թելքի միջին ամրությանը, իսկ σ_u որոշվում է դեֆորմացիայի ժամանակ մայրակի լարվածությամբ, որը հավասար է քայքայման ժամանակ թելքի դեֆորմացիային: Այս դեպքը ուսումնասիրվել է Մակ Դենիելսի և մյուսների կողմից վոլֆրամի թելք և պղնձե մայրակ համակարգում [2], համաձայն որի.

$$\sigma_{ij} = V_p \sigma_{p1} + V_u \sigma_u: \quad (2)$$

Նկ. 1-ում ներկայացված է կոմպոզիտային նյութի ամրության կախվածությունը թելքի ծավալային պարունակությունից: Ամրանավորված թելքերի փոքր ծավալային մասի դեպքում մայրակը կարող է դիմանալ բեռնվածությանը այն բանից հետո, երբ բոլոր թելքերը կքայքայվեն: Այս տեսանկյունից կոմպոզիտային նյութի անհրաժեշտ համալիր ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ստացման համար առավել նախընտրելի է ընդհատվող թելքերով ամրանավորումը (նկ. 2 և 3):



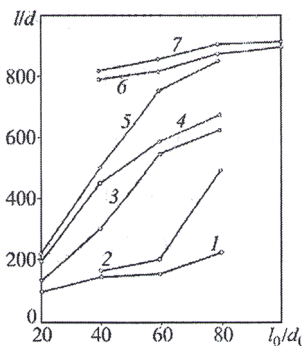
Նկ. 1. Պլաստիկ մայրակում փխրուն թելքի ամրության ադիտիվության օրենքը



Նկ. 2. Cu-պողպատ-40 կոմպոզիտային նյութի թելքերի երկարացումն արտամղումից հետո տարբեր աստիճանի դեֆորմացիան դեպքում. $\lambda : l_0 / d_0 = 20$; մայրակի անկյունը $\beta = 60^\circ$; թելքի նախնական կողմնորոշման անկյունը հավասար է՝

1- $\alpha_u = 0^\circ$; 2- $\alpha_u = 30^\circ$; 3- $\alpha_u = 60^\circ$;

4- $\alpha_u = 150^\circ$; 5- $\alpha_u = 120^\circ$; 6- $\alpha_u = 90^\circ$



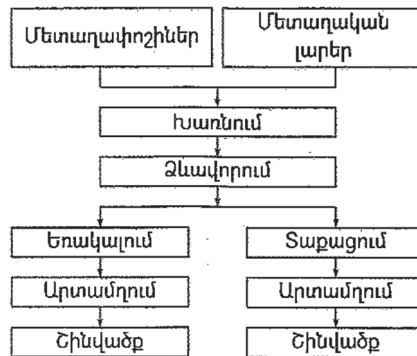
Նկ. 3. Արտամղումից հետո տարբեր կոմպոզիցիաներում թելքերի l/d բաշխվածությունը. 1, 3 – Cu-պողպատ-40; 2, 5, 6 – Fe-պողպատ-40; 4 – Fe-Cu*;

1- $\alpha_u = 150^\circ$; 2- 60° ; 3-5- 30° ; 6-7- 0° ; $\beta = 60^\circ$;

$\lambda = 4$

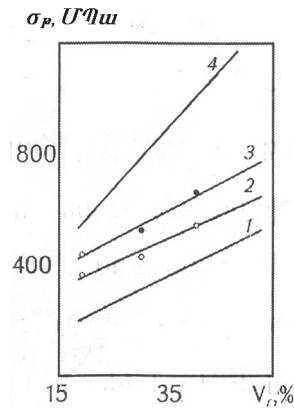
Հետազոտության արդյունքները. Հետազոտվել է մոդելային նմուշների արտամղման օրինաչափությունների կախվածությունը ℓ_0/d_0 հարաբերությունից (ℓ_0/d_0 -արտամղումից առաջ երկարությունը և տրամագիծը) և λ արտամղման գործակցից, որոնք ստացվել են նկ. 4-ում բերված տեխնոլոգիայով:

Արտամղման ջերմաստիճանը պղնձե նմուշների համար $t_w = 850^\circ C$, երկաթե նմուշների համար $t_w = 1100^\circ C$, տաքացման տևողությունը՝ $\tau_w = 15...20$ ր (նկ. 4)



Նկ. 4. Կոմպոզիտային նյութի արտամղմամբ ստացման տեխնոլոգիան

Նկ. 3-ում բերված 1-7 կորերի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ℓ_0/d_0 մեծացման ժամանակ արտամղման ընթացքում թելքերը երկարում են, այսինքն ℓ/d մեծանում է: Բոլոր արժեքների համար $\ell_0/d_0 = 20...100$ և $\lambda_u = 0...150^\circ$ ամենացածր հարաբերությանը $\ell_0/d_0 = 20$ համապատասխանում է $\ell/d = 100$ [3]: Դա հիմք է հանդիսանում պնդելու, որ սկզբնական ℓ_0/d_0 կարելի է ընդունել $\ell_0/d_0 = 20$, քանի որ արտամղումից հետո այս արժեքը մեծանում է և ձգտում $\ell/d = 80...100$: Այսպիսի արժեքների դեպքում ամրային հատկությունները առավելագույն են և մոտ են չընդհատվող թելքերով կոմպոզիտային նյութերին: Ակնհայտ է՝ որքան փոքր է ℓ_0/d_0 արժեքը, այնքան հեշտ է լուծվում բովախառնուրդի պատրաստման հարցը: Փոշու դեֆորմացիան և թելքի երկարությունը համաչափելի են: Հետևապես՝ որքան փոքր է ℓ_0/d_0 , այնքան հեշտ է իրականացվում թելքի կողմնորոշվածությունը արտամղման ուղղությամբ: Դա կշանակում է, որ կոմպոզիտային նյութի ամրային հատկություններն աճում են (նկ. 5):



Նկ. 5. Չուլման ժամանակ թելքի ծավալային V_f պարունակության կախվածությունը կոմպոզիտային նյութի ամրային հատկություններից. 1, 4 – պղնձե հիմքով նյութերի հաշվարկային արժեքները, ամրանավորված պողպատե ($\sigma_v=1000$ Մպա) և վոլֆրամի ($\sigma_v=2200$ ՄՊա) թելքերով; 2, 3 – փորձարարական տվյալներ Cu-պողպատ 40* և Cu-Mo* արտամղված կոմպոզիտային նյութի համար

Արտամղման ժամանակ թելքի երկարացումը նշանակալիորեն փոքրացնում է նրանց տրամագիծը: Դա մի կողմից՝ մեծացնում է նրանց ամրությունը, մյուս կողմից՝ թույլ է տալիս օգտագործել մեծ տրամաչափի մետաղալարեր (աղ. 1) (կամ թելքանման բեղիկներ), ինչը ավելի էժան է:

Աղյուսակ 1

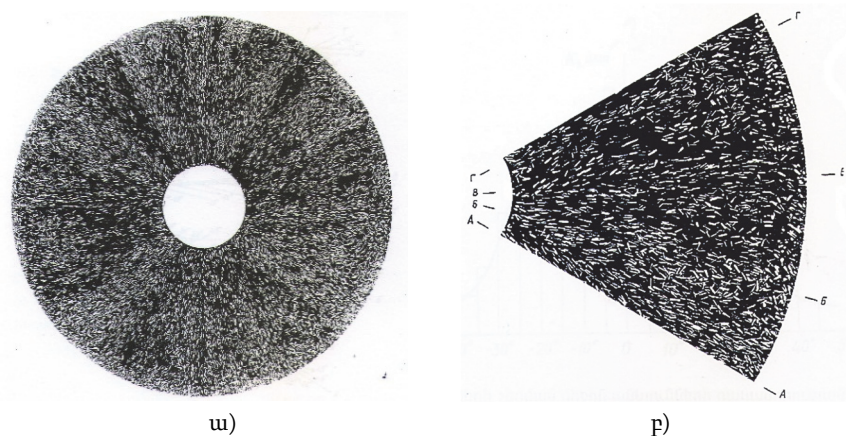
Կոմպոզիցիայի և մայրակի նյութի մեխանիկական հատկությունները՝ ստացված լավարկված արտամղման պայմաններում

Նյութ	χ , մկմ	$(\sigma_p)_\psi$, ՄՊա	δ , %	ψ , %	Փոխադրեցության գոտում միկրոկարծրություն, ՄՊա
Cu	-	248...252	45...52	75...81	-
Cu- պողպատ	2...4	390...400	35...40	68...70	2500
Cu-Mo*	-	400...450	30...33	45...48	2000...2600
Fe	-	320...360	22...30	38...43	-
Fe- պողպատ 40*	-	420...440	18...22	36...39	1700...2000
Fe-Mo*	2-3	500...550	17...22	35...38	1600...1900

Որպես վերոհիշյալ հետազոտությունների գործնական դրսևորում հետազոտվել են նաև ալմաստահղկանյութային գործիքներում ալմաստակիր շերտի ներքին կառուցվածքն ըստ արտամղման բարելավված ռեժիմների կիրառման, որը հանգեցնում է գործիքի բանվորական մակերևույթի բարձր աշխատունակության:

Շուկայական տնտեսության պայմաններում սուր են դրված մեքենաների մասերի մեխանիկական մշակման ինքնարժեքի նվազեցման խնդիրները: Ալմաստահղկանյութային գործիքներում ալմաստի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններն օգտագործվում են ոչ արդյունավետ, որի պատճառը ալմաստակիր շերտի աշխատանքային մակերևույթի կառուցվածքի անկատարությունն է:

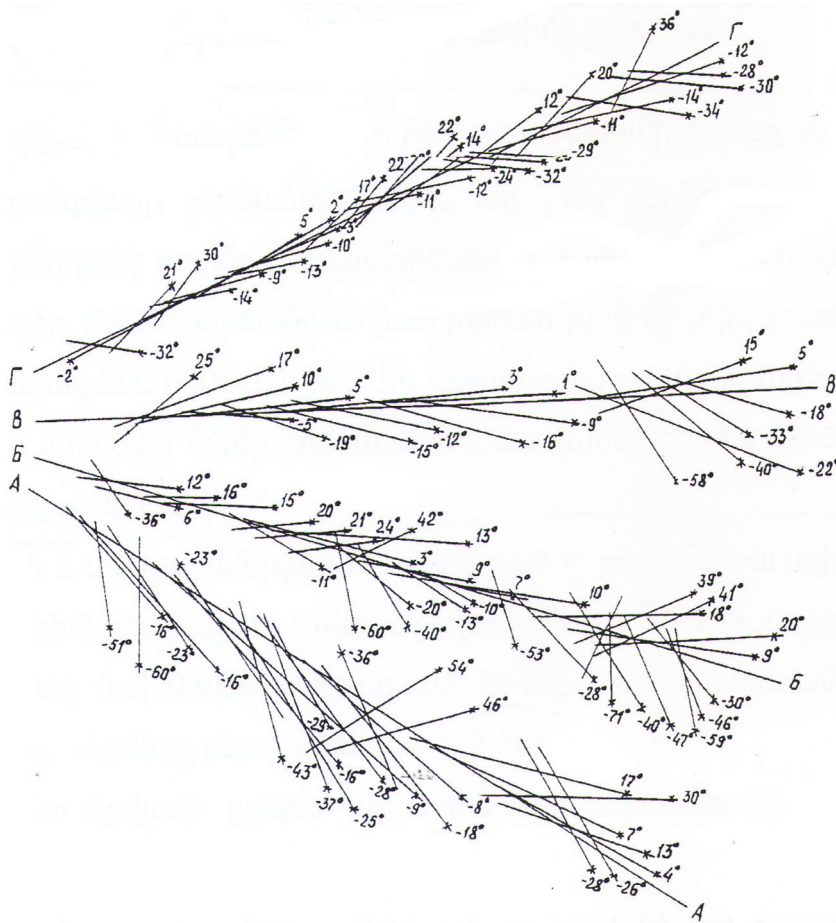
Ալմաստակիր շերտում հղկահատիկների կողմնորոշումը հնարավորություն է տալիս փոխել հղկասկավառակի աշխատանքային մակերևույթների ռելիեֆը և դեկավարել ալմաստակիր շերտի ներքին կառուցվածքը, միաժամանակ բարձրացնել նրա աշխատունակության բնութագրերը: Բացահայտված է, որ ալմաստային հատիկների կողմնորոշման հայտնի մեթոդներից ամենաառանձնահատկապես ալմաստակիր շերտի ձևավորումն է արտամղման ճանապարհով, որի դեպքում հղկահատիկները ինքնաբերաբար կողմնորոշվում են կապակցանյութի պլաստիկ հոսքի երկարությամբ (նկ. 6): Նկ. 7-ում ցույց են տրված ալմաստային հատիկների առանցքների անկյան շեղումները շառավղի ուղղությամբ:



Նկ. 6. Արտամղված հղկասկավառակի ծավալում չդեֆորմացվող մասնիկների կողմնորոշումը (ա) և արտամղված հղկասկավառակի սեզմենտը (բ)

Փորձարարական հետազոտության արդյունքում պարզվել է, որ ալմաստափոշու 80/63...250/200 հատիկայնությամբ հղկասկավառակներում կտրման գործընթացին մասնակցող կտրող հատիկների քանակը 1,4...1,6 անգամ մեծ է մամլման եղանակով ստացված հղկասկավառակների հատիկների թվից [4]:

Արտամղմամբ ստացված հղկասկավառակների աշխատունակության հետազոտության արդյունքում պարզվել է, որ շնորհիվ հատիկների կողմնորոշման և ալմաստակիր շերտի կարծրության ու համասեռության մեծացման, տեղի են ունենում կտրման ուժերի փոքրացում 24...30%-ով և կտրման ջերմաստիճանի փոքրացում ~2,3%-ով, հղկման արդյունավետ հզորության փոքրացում ~26%-ով:



Նկ. 7. Ալմաստային հատիկների առանցքների շեղումները շառավղի ուղղությամբ

Համեմատության համար վերցվել են 1A1 տիպի չորս հղկասկավառակներ, յուրաքանչյուրը 150x20x5 մմ չափսի, 125/100 հատիկայնությամբ, AC15 ալմաստներով, B2-01 կապակցանյութով, 100% կոնցենտրացիայով:

Փորձերի արդյունքները բերված են աղ. 2-ում [5, 6], որտեղից երևում է, որ կողմնորոշված հատիկներով պատրաստված հղկասկավառակներով մշակման ժամանակ կտրմանը մասնակցում են մեծ քանակությամբ սուր գագաթներով ալմաստե հատիկներ, և հետևաբար՝ մշակվող մակերևույթի մաքրությունը բարձր է, քան ավանդական հղկասկավառակներով մշակման ժամանակ:

Հղկասկավառակների որակի և աշխատունակության վրա մեծ ազդեցություն է ունենում հատիկների բաշխվածության համասեռությունը (աղ. 2):

*Կողմնորոշված և քառասյին դասավորված հատիկներով պատրաստված
հղկասկավառակների աշխատանքային մակերևույթի վրա սուր գագաթներով
հատիկների քանակը*

Հատիկների քանակը								
	Կողմնորոշված հատիկներով հղկասկավառակներ				Ավանդական հղկասկավառակներ			
	սուր գագաթներով հատիկների քանակը				սուր գագաթներով հատիկների քանակը			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	114	124	112	116	43	35	37	40
2	121	119	118	123	32	38	34	31
3	117	115	121	109	46	42	36	35
4	112	128	113	120	43	39	33	41
5	111	117	129	122	34	32	46	38

Եզրակացություն: Արտամղումը հանդիսանում է ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի կոմպակտավորման առավել արդյունավետ եղանակ, երբ թելքի դեֆորմացումը (որպես կանոն՝ երկարացում) դրական է ազդում կոմպոզիցիայի ամրության վրա. թելքերի ծավալային մասի 20...25% ձգտում է առավելագույն ամրության, այն դեպքում, երբ այլ տեխնոլոգիաների իրականացման դեպքում (օրինակ՝ դինամիկական տաք մամլում) թելքերի ծավալային պարունակությունը կազմում է 35...45%:

Փորձնական եղանակով հետազոտվել են արտամղմամբ ստացված կողմնորոշված ալմաստային հատիկներով 1A1 տիպի հարթ-պարագծային և բազային հղկասկավառակների աշխատանքային մակերևույթները: Ցույց է տրված, որ ասեղնաձև հատիկների քանակը կողմնորոշված հատիկներով հղկաքարի աշխատանքային մակերևույթի վրա մոտ 3 անգամ ավելի է, քան ավանդական տեխնոլոգիայով ստացված հղկասկավառակների աշխատանքային մակերևույթներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы. – Киев: Вища школа, 1977. – 312 с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**. – М.: Мир, 1970. – 672 с.
3. **Гукасян В.С., Петросян А.С.** Исследование механических свойств композиционных материалов, армированных дискретными волокнами // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – N 4. – С. 41-47.
4. **Աֆրիկյան Տ.Տ.** Կողմնորոշված ալմաստե հատիկներով հղկաքարի ստացման տեխնոլոգիայի հետազոտումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր.- Երևան, 2011. – Հատ. 8, N 2. – Էջ 348-351:

5. **Григорян М.А.** Повышение износостойкости и срока службы алмазно-абразивного инструмента // Металлообработка.- 2005. - N 5. – С. 2-5.
6. **Мудыков А.В., Логинский В.А.** Прогрессивные технологии изготовления алмазных инструментов // Современное машиностроение: Сборник трудов молодых ученых. – Вып. 1. – СПб., 2006. – С. 45-46.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.12.2019:

А.С. ПЕТРОСЯН, Т.Г. АФРИКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ И ЛЕГИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫМИ ЗЕРНАМИ

Установлено, что упрочнение волокнами дает возможность получения более эффективной прочности композиционных материалов в системах металлических и неметаллических матриц. Для получения требуемых физико-механических свойств более предпочтительным является метод упрочнения дискретными волокнами или зернами. Выведена для отдельных образцов зависимость закономерностей экструзии от начальных параметров волокон ℓ_0 / d_0 и коэффициента экструзии λ . Разработана технология получения композиционного материала экструзией. Исследована также внутренняя структура алмазонасного инструмента при использовании определенных режимов экструзии, что приводит к высокой работоспособности рабочей поверхности инструмента.

Ключевые слова: композиционный материал, матрица, сталь, волокно, экструзия, ориентация, алмазный порошок, прочность, пластичность.

H.S. PETROSYAN, T.H. AFRIKYAN

STUDY OF THE PROCESSES OF HOT EXTRUSION OF COMPOSITE MATERIALS REINFORCED IN THE LONGITUDINAL DIRECTION AND ALLOYED WITH DIAMOND GRAINS

It has been established that fiber hardening makes it possible to obtain a more effective strength of composite materials in metallic and non-metallic matrix systems. To obtain the required physical and mechanical properties, hardening with discrete fibers or grains is preferable. The dependence of the laws of extrusion on the initial parameters of the fibers ℓ_0 / d_0 and on the extrusion coefficient λ is revealed on individual samples. The technology for producing a composite material by extrusion has been developed. The internal structure of the diamond-bearing tool at using certain extrusion modes is studied which leads to a high working capacity of the working surface of the tool.

Keywords: composite material, matrix, steel, fiber, extrusion, orientation, diamond powder, urgency, ductility.

Մ.Կ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ՊԱՐԱՄԵՏՐԱՑՎԱԾ ԲԶԻՋՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԻ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԵԽԱՆԵՐԻ
ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ

Ներկայացված է եռաչափ փականով տրանզիստորների (ԵՓՏ), ռեզիստորների և դիոդների պարամետրացված բջիջների մշակումը python API միջոցով, ինչպես նաև այդ բջիջների կիրառմամբ անալոգային սխեմաների նախագծումը:

Առանցքային բառեր. պարամետրացված համակարգ, եռաչափ տրանզիստոր, python, անալոգային սխեմաներ, ֆիզիկական նախագիծ:

Ներածություն: Պարզագույն թվային բջիջները՝ տրանզիստորները, իրենց տարատեսակներով, ռեզիստորը, դիոդը և այլն, ինչպես նաև անալոգային ինտեգրալ սխեմաները (ԻՍ) մինչ այժմ նախագծվում են «մասնագիտացված նախագծման երթուղու» [1] միջոցով, որում նախագծման ընթացքը կատարվում է մի շարք քայլերի հաջորդականությամբ, և որպես արդյունք ստացվում է տոպոլոգիան: Սակայն այդ սխեմաների արդյունավետ աշխատանքը խիստ կախված է ֆիզիկական նախագծերի սիմետրիկությունից [2], որը հնարավոր է ստանալ մի շարք մեթոդների կիրառմամբ: Ակնհայտ է, որ միևնույն տեսակի պարզագույն բջիջները միմյանցից տարբերվում են իրենց պարամետրերի տարբեր արժեքներով: Այդ տրանզիստորները համեմատելով կարելի է տեսնել, որ միմյանցից տարբերվում են հոսքուղիների երկարությունների և լայնությունների չափերով: Այդտեղից էլ առաջացել է պարամետրացված տարրի գաղափարը, այսինքն՝ ստեղծել որևէ տարրի տոպոլոգիան այնպես, որ վերջինս հնարավոր լինի գեներացնել պարամետրերի տարբեր արժեքների դեպքում: Այս տեսակի լուծում տալը կհեշտացնի նախագծողի աշխատանքը և, միաժամանակ, թույլ կտա կարճ ժամանակում գեներացնել սիմետրիկ տոպոլոգիաները:

[3,4] աշխատանքներում համապատասխանաբար ներկայացված են ինդուկտիվ տարրի և օղակաձև գեներատորի պարամետրացված համակարգի մշակումներ: [5-6] աշխատանքներում ներկայացված մոտեցումները հնարավորություն են տալիս ավտոմատացված մեթոդների կիրառմամբ կատարել ամբողջական սխեմաների ֆիզիկական սինթեզը, սակայն առանձին տարրերի պարամետրացման և օգտագործման հնարավորություն չեն տալիս:

Աշխատանքի կատարման ընթացքում մշակվել են տրանզիստորների, դիմադրությունների և դիոդների պարամետրացված համակարգեր: Ստեղծված

տարրերն օգտագործվել են մի շարք թվային և թվա-անալոգային հանգույցների ֆիզիկական նախագծման գործընթացում:

Մշակման գործընթացը: Տրանզիստորի պարամետրացված տարրը հնարավոր է գեներացնել ֆիների քանակի և հոսքուղու երկարության տարբեր արժեքների դեպքում: Այդ տեսակի բջիջների մշակման ընթացքում օգտագործվում են «Python API»-ի [7] տրամադրած մեծ քանակությամբ կլասները:

Պարամետրացված տարրերի մշակման գործընթացը կատարվում է երեք հիմնական փուլերի հաջորդականությամբ՝ պարամետրերի հայտարարում, մշակում և տոպոլոգիայի գեներացում: Սակայն, նախքան պարամետրացված բջիջի մշակումը՝ անհրաժեշտ է ունենալ տվյալ տեխնոլոգիայի համար նախագծման կանոնները: Այս դեպքում որպես տեխնոլոգիա ընտրվել է 14 նմ եռաչափ տեխնոլոգիան, որտեղից էլ վերցվել են նախագծման կանոնները [8]: Այդ արժեքների մի մասը ներկայացված է աղ 1-ում:

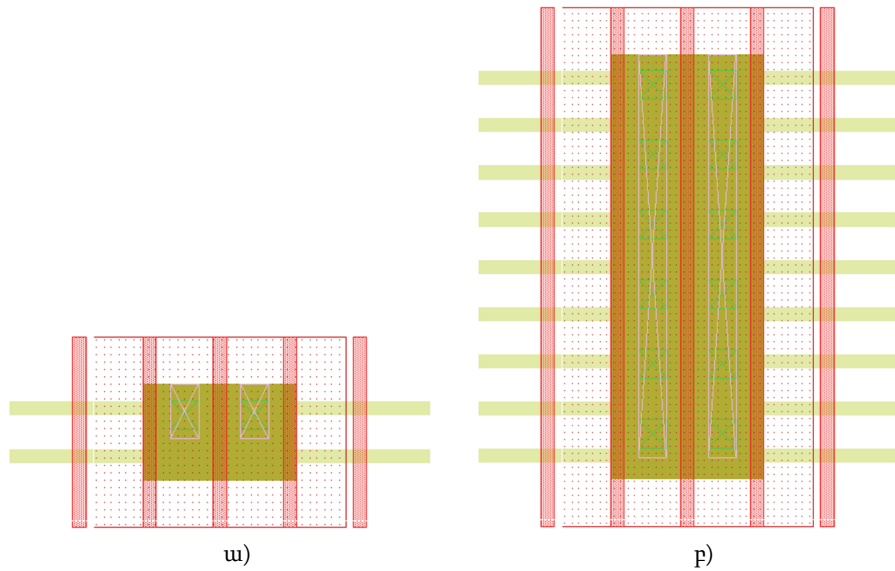
Աղյուսակ 1

Նախագծման կանոնները

Պարամետր	Արժեք (մկմ)	Բացատրություն
M _{1.w.1}	0,034	Մետաղական առաջին մակարդակի նվազագույն երկարությունը
M _{1.s.1}	0,026	Մետաղների միջև նվազագույն հեռավորությունը
M _{2.w.1}	0,034	Մետաղական երկրորդ մակարդակի նվազագույն երկարությունը
DIFF _{w.1}	0,044	Դիֆուզիայի նվազագույն հաստությունը
PO _{w.1}	0,014	Փականի նվազագույն լայնությունը

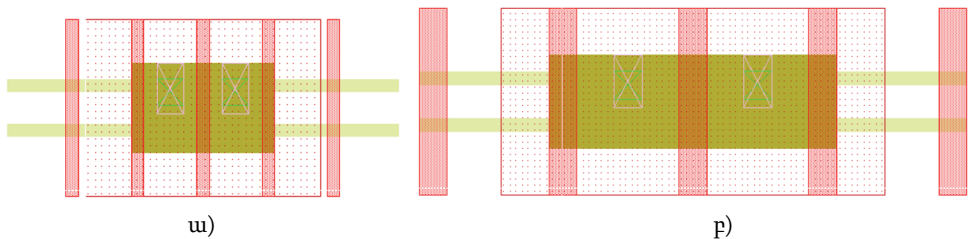
Նշված նախագծման կանոնները տրվել են ծրագրի մուտքին տեքստային ֆայլի միջոցով, որի գրելաձևը հնարավորություն է տալիս տվյալ կոդը աշխատեցնել այլ տեխնոլոգիայի դեպքում նույնպես: Այսինքն, կարելի է փոխել տեքստային ֆայլում գրված արժեքները և ծրագրի մեջ շատ թե քիչ փոփոխություններ կատարելով՝ ստանալ պարամետրացված համակարգեր այլ տեխնոլոգիաների դեպքում:

Ստացված արդյունքները: Նկ. 1 ա և բ-ում ցույց են տրված տրանզիստորի պարամետրացված տեսքերը: Այստեղ որպես պարամետր վերցված են ֆիների տարբեր քանակները:



Նկ. 1. Տրանզիստորի պարամետրացված տեսքը՝ ֆիների տարբեր քանակների դեպքում.
 $w - 2, p - 9$

Նկ. 2 ա, բ-ում ցույց են տրված տրանզիստորի պարամետրացված տեսքերը, որտեղ որպես պարամետր ծառայել է հոսքուղու երկարությունը:



Նկ. 2. Տրանզիստորի պարամետրացված տեսքերը՝ հոսքուղու երկարության տարբեր արժեքների դեպքում $w - 0,014$ մկմ, $p - 0,03$ մկմ

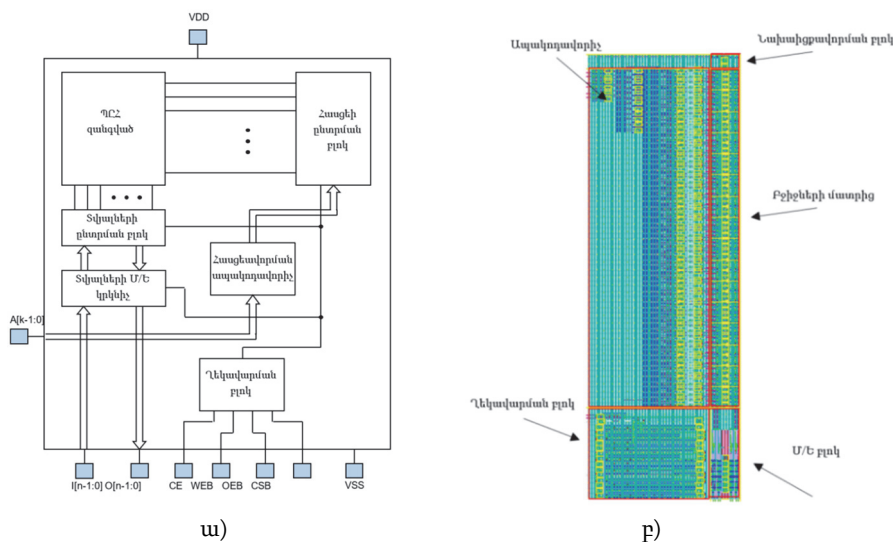
Աղ. 2- ում բերված է մշակված պարամետրացված բջիջների ամբողջական ցանկը:

Պարամետրացված համակարգերն օգտագործվել են մեկհանգուցանի, երկհանգուցանի, ցածր էներգասպառմամբ ստատիկ կամայական ընտրությամբ հիշասարքերի (ՄԿՀ) և մի շարք մուտք-ելք (Մ/Ե) հանգույցների նախագծման ընթացքում:

Մշակված պարամետրացված բջիջների ցանկը

Բջջի նշանակումը	Նկարագրությունը
n08	n տեսակի տրանզիստոր
p08	p տեսակի տրանզիստոր
n08_hvt	բարձր շեմային լարումով n տեսակի տրանզիստոր
p08_hvt	բարձր շեմային լարումով p տեսակի տրանզիստոր
n08_lvt	ցածր շեմային լարումով n տեսակի տրանզիստոր
p08_lvt	ցածր շեմային լարումով p տեսակի տրանզիստոր
n08_lvt	գերցածր շեմային լարումով n տեսակի տրանզիստոր
p08_lvt	գերցածր շեմային լարումով p տեսակի տրանզիստոր
p18	հաստ օքսիդով p տեսակի տրանզիստոր
n18	հաստ օքսիդով n տեսակի տրանզիստոր
pd	դիոդ
res	դիմադրություն
bnrp	բոք տրանզիստոր
bnrn	որո տրանզիստոր
co	կոնտակտ
nb	հարթակ n տեսակի տրանզիստորի համար
pb	հարթակ p տեսակի տրանզիստորի համար

Նկ. 3 ա-ում ցույց է տրված ՄԿԸՀ-ի կառուցվածքը [9], որի տոպոլոգիայի նախագծման ընթացքում օգտագործվել են եռաչափ տեխնոլոգիայով ստեղծված p և n տեսակի տրանզիստորների, դիոդների, կոնտակտների և հարթակների պարամետրացված համակարգերը: Մշակված տոպոլոգիան բերված է նկ. 3 բ-ում:



Նկ. 3. Մեկհանգուցանի ՄԿԸՀ ա - ՄԿԸՀ-ի սխեման, բ - ՄԿԸՀ-ի տոպոլոգիան

Աղ. 3 ում բերված է մշակված տոպոլոգիաների ցանկը:

Աղյուսակ 3

Մշակված տոպոլոգիաները

Բջջի անվանումը	Բառի երկարությունը	Կարգայնությունը
SRAM1RW4x4	4	4
SRAM1RW4x8	4	8
...	-	-
SRAM1RW8x4	8	4
...	-	-
SRAM1RW512x128	512	128

Ընդհանուր հաշվով նախագծվել են մոտ 120 տարբեր հիշասարքեր, այդ թվում՝ նաև ցածր էներգասպառմամբ, ինչպես նաև 40 Մ/Ե հանգույցներ:

Եզրակացություն: Մշակվել են տրանզիստորների, ռեզիստորների և դիմադրությունների պարամետրացված համակարգերը եռաչափ տեխնոլոգիայի դեպքում: Պարամետրացված տարրերն օգտագործվել են շուրջ 120 ՄԿԸՀ և 40 Մ/Ե հանգույցների նախագծման գործընթացում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Սովսիսյան Վ.Մ.** Թվային համակարգերի տրամաբանական նախագծում/ ՀՊՃՀ.-Եր.: Ճարտարագետ, 2012.-284 էջ:
2. **Nashaat I., Dessouky M., Said H.** Optimally matched current mirror layout pattern generation using genetic optimization // 28th International Conference on Microelectronics (ICM), 17-20 Dec.- Giza, Egypt, 2016 -P. 98-101.
3. **Tayenjam S., Rao Vanukuru V.N., Kumaravel S.** A PCell design methodology for automatic layout generation of spiral inductor using skill script // International conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS), 10-12 Aug. 2017.- Vellore, India, 2017.
4. **Jia Ch., Ganbing Sh.** New Pcell based ring oscillator layout auto-generation method and application in advanced SPICE model verification // China Semiconductor Technology International Conference, 15-16 March 2015.- Shanghai, China, 2015.
5. **Martins R., Lourenco N. Norta N.,** LAYGEN II - Automatic Layout Generation of Analog Integrated Circuits // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems - 16 october 2013
6. **Zhang L., Kleine U., Yingtao J.** An automated design tool for analog layouts // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems.- 31 July 2006.
7. **Conlan C.** The Blender Python API: Precision 3D Modeling and Add-on Development.- June 14, 2017.

8. **Melikyan V., Martirosyan M., Melikyan A., Piliposyan G.** 14nm Educational Design Kit: Capabilities, Deployment and Future // Small Systems Simulation Symposium, 12th-14th February, 2018.- Niš, Serbia, 2018.-P. 37-41.
9. **Ishibashi K., Osada K** Low Power and Reliable SRAM Memory Cell and Array Design - June 2008.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.03.2020:

М.К. МАРТИРОСЯН

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ ЯЧЕЕК

Представлена разработка параметризованных ячеек транзисторов с трехмерным затвором резисторов и диодов с помощью python API, а также проведено проектирование аналоговых схем с использованием этих параметризованных ячеек.

Ключевые слова: параметризованная система, трехмерный транзистор, python, аналоговые схемы, физическое проектирование.

M.K. MARTIROSYAN

THE PHYSICAL DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS USING PARAMETERIZED CELLS

The development of a parameterized FinFET transistor, diode and resistor cells using Python API is presented. The development of analog circuits using those parameterized cells is carried out.

Keywords: parametrized system, FinFET, python, analog circuits, physical design.

V. SH. MELIKYAN, N.E. MAMIKONYAN

A SELF-LEARNING DYNAMIC MEMORY DESIGN METHOD

A novel approach to memory design method is presented, which is targeted to generate memories with an acceptable value of timing performance and area increase while optimizing power consumption and the IR drop. The machine learning methods are used for IR drop and refresh cycle time estimations, which help to reduce power consumption.

The experimental results show that with the proposed method power consumption is reduced by 10...15% while having a loss of 5...14% in the area.

Keywords: DRAM, OpenRAM, Machine learning.

Introduction. It is well known [1], that the main macro parameters of the integrated circuits (IC) and their separated parts are performance, power consumption, and the occupied area in the semiconductor crystal. This refers to one of the most common types of ICs: memories. Due to the recent development of the ICs [2] and their separated parts design and prototyping, the power consumption reduction challenges in the ICs are dominant in comparison with the other mentioned macro parameters. Often, power consumption is being reduced by sacrificing the speed as it is being done in the multi-core processors [3]. But there are multiple applications of the ICs and their separated parts in which ensuring high-speed performance is more important than power consumption reduction. For this reason, the most common tools of designing memory ICs, memory compilers, should be able to meet the requirements ratio for speed and power consumption in each specific design. This means that memory compilers must be able to select the correct ratio between speed and power consumption. The best way of solving this problem is the machine learning (ML) application in the memory design process. But the famous memory compilers [4-8] either do not have a self-learning ability [9] or if they have that ability of self-learning, they do not provide the best ratio between speed and power consumption [10,11].

For example, OpenRAM is one of the best open access memory compilers [4]. OpenRAM is a Python-based and flexible compiler, which does not depending on a specific technology and can be easily ported from one node to another. Based on this, OpenRAM is the basic compiler on which many other types of research are carried out [5,7-9].

The OpenRAM memory compiler consists of eight blocks (Fig. 1).

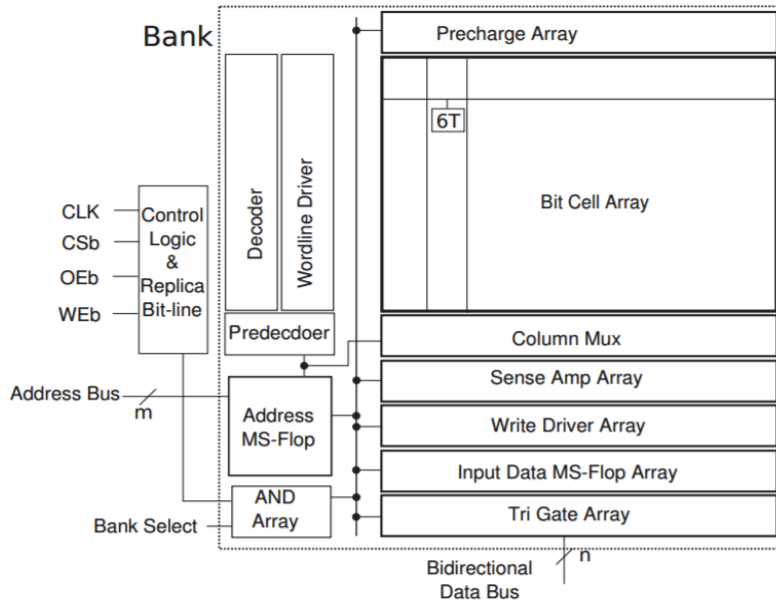


Fig. 1. An OpenRAM memory block

The main principle of the OpenRam is based on increasing the speed of the memory due to the mixing of the memory banks, as a result of which the access time to the memory bank is reduced. However, to achieve a reduction in the memory access time, the memory bank size must be small, otherwise, the wire connections between muxed memories will increase transition time. This can be treated as a disadvantage for this architecture since the technology demands big memory banks. Another example is an asynchronous memory compiler (AMC) [5], which is based on the OpenRAM memory compiler. This compiler solves the access time problem on the big memory systems, which comes from the OpenRAM memory compiler architecture. This approach is to combine sub-banking and tree-structure methods (Fig. 2). Each memory bank has sub-banks and a sub-bank decoder. And by combining with a tree-structure, the access time of any memory address will be the same. This approach allows having big memory banks in comparison with OpenRAM while adding a logical unit for the sub-banking process control. This will keep memory access time in the limits while the power consumption will be increased because of the standard cell count increase. The main disadvantages of this compiler are the high-power consumption and area increase.

The compilers do not consider the best trade-off between power consumption reduction and performance, a novel method is needed from the best ratio between the speed and power consumption, which is described in the next section.

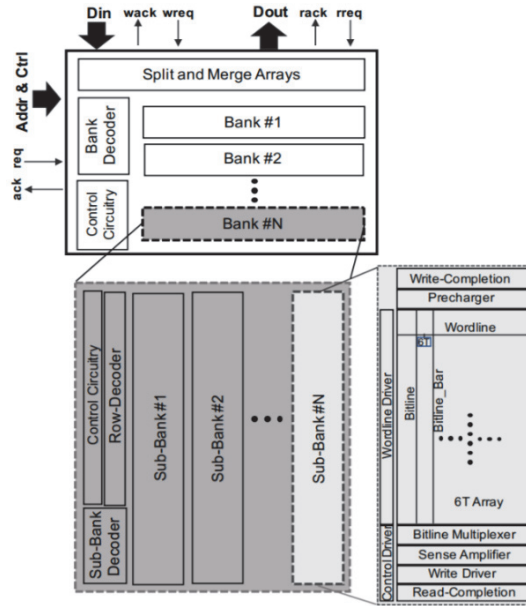


Fig. 2. An AMC multi-bank architecture

Self-learning dynamic design tool methodology. A novel method of memory compiler is presented, which is meant to meet power requirements using ML algorithms. This method is created considering most of the options of the OpenRAM memory compiler. One of the main additions to the OpenRAM memory compiler is the DRAM memory generator insertion into the OpenRAM logic. In addition to the inbuilt features, the self-learning dynamic design tool methodology has 4 main components (Fig. 3), which are controlled by switches and can be turned on and off from tool settings to add flexibility into the tool working process.

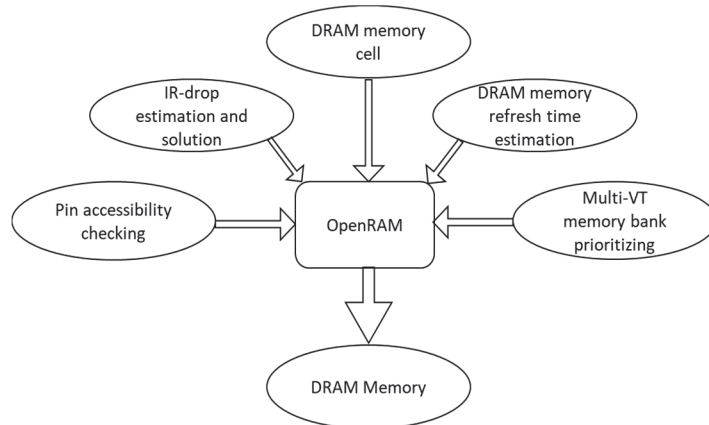


Fig. 3. Proposed DRAM compiler based on OpenRAM

The activation of the specific component can enhance and optimize the memory design:

- Multi-VT memory bank prioritizing method [12] – For reducing the power consumption of the memory addresses which are rarely used, different VT memory bit cells are combined in one memory block. To control the memory address selection from one block with the different VT, a prioritizer algorithm (Fig. 4) is used. The algorithm is aimed at creating priorities for the memory addresses based on counting the access of the addresses for one VT memory bank. Each memory bank from the memory system has its counter for counting the accesses. For example, if the addresses from one memory bank have been accessed n times, the counter value will be increased by n . Rather than separated bank counters, the memory block has one more counter which is controls the total amount of the accesses after which the priorities of the memory banks must be recalculated. Based on the counters, value priorities of the memories are generated. If the memory bank has a priority change the memory address mapper swaps the addresses to the appropriate address with the required priority.

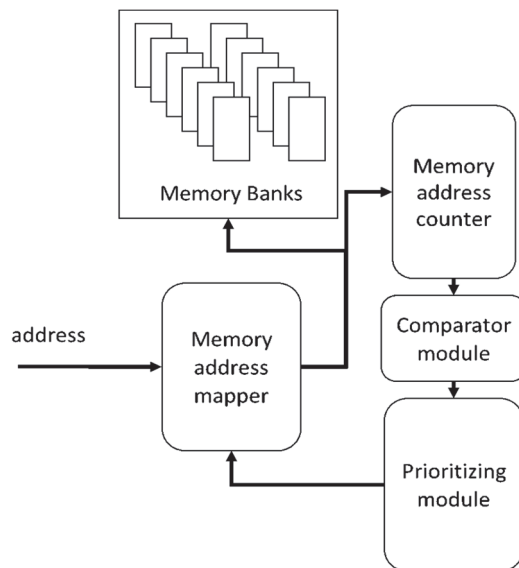


Fig. 4. A memory address prioritizer block diagram

- IR-drop estimation and solution using ML algorithms [13] – The supply networks of the IC are always created in a structured and symmetric way. The power and ground network must be enhanced to ensure the functionality of the IC if the design has blocks with the dominant amount of different VT cells as in multi-VT memory banks. The resistance of the network must be reduced in the areas

where a possible IR drop is estimated using the ML-based algorithm. The automated interconnect via insertion adds more connections from the top to lower metal layers with appropriate metal-via enclosures (Fig. 5). This technique decreases the voltage drop in the power and ground network.

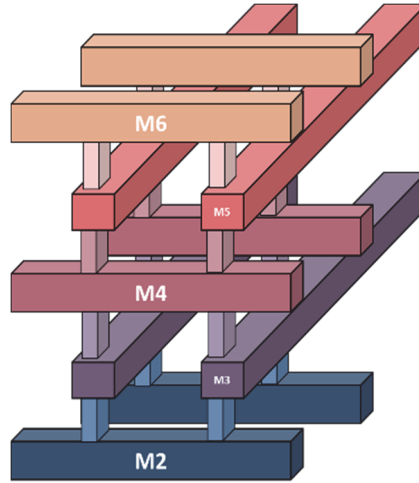


Fig. 5. Via ladder view

- DRAM memory refreshing time estimation based on statistical blockade [14]
 - For ensuring stored data in the DRAMs, the refresh cycle time must be small. On the other hand, the refresh cycle time must be increased for optimizing power consumption coming from frequent refreshes. This means that the best refresh cycle time must be selected for power consumption reduction, which will not bring to the loss of the stored data. The Monte Carlo (MC) simulation is used with a statistical blockade method for estimating the refresh cycle time (Fig. 6). The statistical blockade is an ML-powered method with the help of which the MC simulation count is reduced. For a ML model training, the input set is being constructed from a small count of MC simulations. The trained model is used to reduce the simulations count in case if the MC simulation does not make a high impact on the estimation. As a result, the best refresh cycle time can be achieved, which will reduce power consumption. This kind of technique will ensure the consideration of the data which will have an impact on the results.

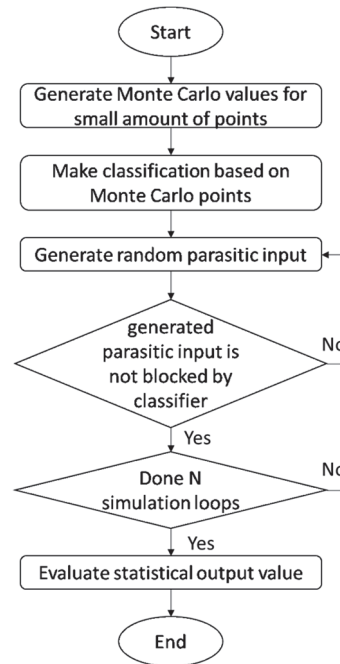


Fig. 6. The statistical blockade method

- Pin accessibility checking integration into the design [15] – As memory blocks have a large number of pins and mostly, they are placed near to each other, finding the best pin placement option will help in later processes. With pin accessibility checking, better options for memory block pin placement can be achieved, hence in memory blocks, placement and routing stage implementation can be done faster and with high accuracy. After the memory block design, the inbuilt method places and tests the memory blocks with different orientations, and on different placement rows (Fig. 7).

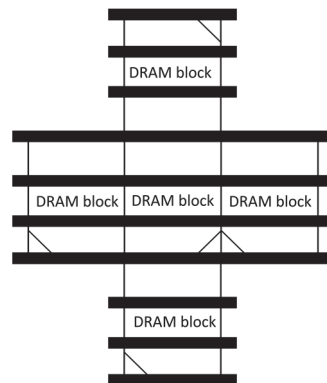


Fig. 7. Pin access check

This method is mostly devoted to tree-style memory block sub-banking enhancement for the best memory selection on the complex tree structure.

Experimental results. The implemented method is compared with OpenRAM and AMC memory compilers' methods.

Experiments are done on SRAM type memories for comparisons. Different configurations of SRAM memories are used:

- Word line size: 8bit, 32bit, and 64bit
- Memory capacitance: 32GB, 128GB and 256GB

The results of the comparisons are listed in Table 1.

Table 1

Comperison results

Word size bit	Column muxing number	Number of rows	OpenRAM			AMS			Our method		
			Cycle time, ns	Avg. Power, mW	Bit Efficiency, %	Cycle time, ns	Avg. Power, mW	Bit Efficiency, %	Cycle time, ns	Avg. Power, mW	Bit Efficiency, %
8	1	32	6.4	13	18	5.5	12.2	16.00	6.5	11	15
8	2	64	8.8	18	34	7	18.3	3.00	9	16.7	28
8	4	128	10.6	34.6	48	9.4	34	44.00	10.8	29.6	38
32	1	32	8.2	34	39	6.4	30	37.00	8.4	27.3	35
32	2	128	13.2	51	62	10.4	49	6.00	13.8	44.7	4
32	4	256	22	92	75	13.2	100	73.00	22.9	86.5	49
64	1	64	12	54	59	7.9	54	57.00	12.9	47.3	54

.0Table 2

The compiled DRAM characteristics

Word size bit	Column muxing number	Number of rows	Cycle time ns	Avg. Power, mW	Total Area, mm2	Bit Efficiency, %
8	1	32	7.3	20.02	0.64	3
8	2	64	9.7	25.7	1.23	48
8	4	128	12.1	32.8	3.21	69
32	1	32	8.7	51.3	1.1	63
32	2	128	14.7	72.7	5.9	71
32	4	256	24.2	113.7	23.7	76
64	1	64	13.7	89.4	2.6	63
64	2	256	28.1	135.6	30.3	78

Apart from SRAM memories, the method has been tested on DRAM memories. The results are listed in Table 2.

Conclusion. The presented novel method of memory compiler reduces power consumption by 10..15% by using smart machine learning methods, while the access time of the memory is increased by 5...14%.

REFERENCES

1. **Melikyan V.** Simulation and Optimization of Digital Circuits // Springer, Cham Switzerland.- 2018.- P. 247-299.
2. **Atkin E.V.** Trends in integrated circuit design for particle physics experiments // Journal of Physics: Conference Series. 10.1088/1742-6596/798/1/012204.- 2017.
3. **Gepner, Pawel & Kowalik, Michal.** Multi-Core Processors: New Way to Achieve High System Performance // PARELEC 2006: Proceedings: International Symposium on Parallel Computing in Electrical Engineering. -2016.- P. 9-13. 10.1109/PARELEC.2006.54.
4. OpenRAM: An open-source memory compiler / **M.R. Guthaus, J.E. Stine, S. Ataei, Brian Chen, et al** // 2016 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD).- Austin, TX, 2016.-P. 1-6,doi: 10.1145/2966986.2980098.
5. **Ataei S. and Manohar R.** AMC: An Asynchronous Memory Compiler // 2019 25th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC).- Hirosaki, Japan, 2019.-P. 1-8, doi: 10.1109/ASYNC.2019.00009.
6. Synopsys' educational generic memory compiler / **R. Goldman, K. Bartleson, T. Wood, V. Melikyan, and E. Babayan** // EWME.- May 2014.-P. 89–92.
7. **Wu S., Zheng X., Gao Z., and He X.** A 65nm embedded low power SRAM compiler// DDECS.-April 2010.-P. 123–124.
8. **Ataei, Samira & Manohar, Rajit.** A Unified Memory Compiler for Synchronous and Asynchronous Circuits // International Conference On Computer Aided Design, Second Workshop on Open-Source EDA Technology (WOSET).-2019.
9. **Ataei, Samira & Gaalswyk, Matthew & Stine, James.** A high performance multi-port SRAM for low voltage shared memory systems in 32 nm CMOS // IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems. 10.1109/MWSCAS.2017.8053153.- 2017.-P. 1236-1239.
10. **Last Felix, Max Haeberlein, and Ulf Schlichtmann.** Predicting Memory Compiler Performance Outputs Using Feed-Forward Neural Networks // ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems Crossref. Web.-2020-25.5.-P.1-19.
11. Sparse regression driven mixture importance sampling for memory design / **M. Malik, R.V. Joshi, R. Kanj, et al** // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems.-2017.-P. 63-72.
12. **Mamikonyan N.** DRAM structure with prioritized memory bank using multi-VT bit cells architecture // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).-2020-P. 383-385.
13. **Mamikonyan N., Melikyan N.V., Musayelyan R.H.** IR drop estimation and optimization on DRAM memory using machine learning algorithms // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).-2020.-P. 386-388.
14. **Mamikonyan N.E.** DRAM memory refresh time estimation and optimization based on statistical blockade method // Proceedings of Engineering Academy of Armenia.- 2020.- V. 17, N 1.-P. 105-109.

15. **Abazyan S.S., Jampoladov V.A., Mamikonyan N.E.** Standard cell pin access checking integration into test design verification // Proceedings of NAS RA and NPUA. Series of Tech. sci.-2020.-V. 73, N. 1.- P. 74-81.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 05.09.2020.

Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ն.Է. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ

ԻՆՔՆԱՈՒՍՈՒՑՎՈՂ ԴԻՆԱՄԻԿ ՀԻՇԱՍԱՐՔԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ներկայացված է հիշողության նախագծման նոր մոտեցում, որի նպատակն է զենե-րացնել հիշողություն, որը կունենա օպտիմալ հզորության ծախս և IR անկում՝ ժամանա-կային պարամետրերի և մակերեսի ընդունելի աճի հաշվին: Օգտագործվել են մեքենայա-կան ուսուցման մեթոդներ՝ IR անկման և հիշողության թարմացման ժամանակի կանխա-տեսման համար, որոնք նվազեցնում են հզորության ծախսը:

Փորձնական արդյունքները ցույց են տալիս, որ մշակված մեթոդի կիրառմամբ հզո-րության ծախսը նվազել է 10...15%-ով, մինչդեռ մակերեսի կորուստը մոտ 5...14% է:

Առանցքային բառեր. DRAM հիշողություն, OpenRAM, մեքենայական ուսուցում:

В.Ш. МЕЛИКЯН, Н.Э. МАМИКОНЯН

САМООБУЧАЮЩИЙСЯ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

Представлен новый подход к методу проектирования памяти с целью создания блоков памяти с приемлемыми значениями временных характеристик и увеличения площади при оптимизации энергопотребления и падении напряжения. Используются методы машинного обучения для оценки времени цикла обновления и падения напряжения, что помогает снизить энергопотребление.

Экспериментальные результаты показывают, что с помощью предлагаемого ме-тода энергопотребление снизится на 10...15% при увеличении площади на 5...14%.

Ключевые слова: DRAM память, OpenRAM, машинное обучение.

М.С. АЗОЯН, М.Ц. АЙВАЗЯН

ДЕЛИТЕЛИ СИГНАЛА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Рассмотрены способы деления сигнала в волноводных устройствах терагерцового диапазона. Предлагаемые делители построены на основе сверхразмерного металлодиэлектрического волновода в виде волноводного тройника либо волноводного креста, в диагонали которого установлена полупрозрачная диэлектрическая пленка или решетка, состоящая из параллельных проводников. Приведены расчетные соотношения коэффициентов отражения и передачи электромагнитной волны от таких структур. Получено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов. Предлагаемые устройства могут найти широкое применение при создании различных устройств терагерцового диапазона.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон, делитель мощности, диэлектрическая пленка, частопериодическая решетка, металлодиэлектрический волновод.

Введение. При создании сверхвысокочастотных схем различного назначения, в зависимости от поставленной задачи, возникает необходимость деления сигнала на две части с заданным коэффициентом деления. Для этого, как правило, используется волноводный тройник либо волноводный крест с полупрозрачной поверхностью, расположенной в диагонали разветвления. Реже в диагональ разветвления устанавливают частопериодические решетки, под которыми подразумеваются решетки, состоящие из круглых параллельных проводов либо параллельных лент, причем диаметр провода d или ширина лент и период p много меньше рабочей длины волны λ .

Делители мощности на основе диэлектрической пленки. В терагерцовом диапазоне наибольшее применение нашли металлодиэлектрические волноводы (МДВ) [1, 2]. Конструктивно такой делитель может быть реализован в виде МДВ креста (рис. 1а) либо тройника (рис. 1б).

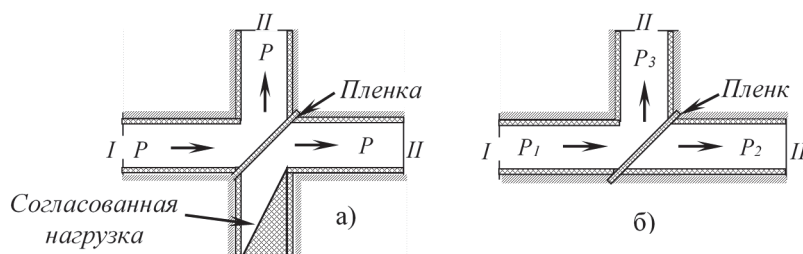


Рис. 1. Конструкции делителей мощности: а – в виде МДВ креста, б – в виде тройника

В диагонали такого устройства устанавливается высокочастотная диэлектрическая пленка с малыми потерями.

Расчет основных характеристик таких устройств в квазиоптическом приближении сводится к задаче расчета коэффициентов отражения и прохождения электромагнитной волны через однородную диэлектрическую пленку, помещенную в свободном пространстве. Для пояснения приведенных ниже соотношений обратимся к рис. 2 [3].

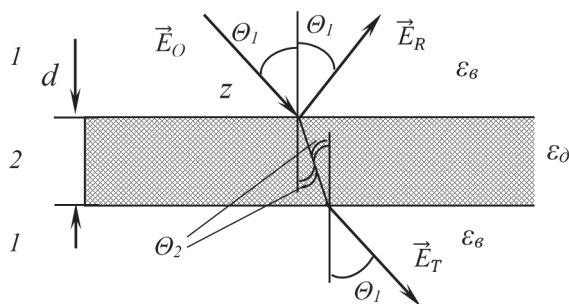


Рис. 2. Ход лучей в слое диэлектрика

На разделяющий пространство 1 (с диэлектрической проницаемостью ϵ_0) диэлектрический слой 2 (с толщиной d и диэлектрической проницаемостью ϵ_d) под углом θ_1 падает плоская волна с единичной амплитудой. Часть волны отражается, а другая часть после преломления проходит в нижнее полупространство.

Выражения для коэффициентов отражения R и прохождения T волны для пластины с диэлектрической проницаемостью ϵ_d , падающей под углом 45° и без учета потерь в высокочастотном диэлектрике, записываются в виде [3]

$$|T_{\perp, \parallel}|^2 = \frac{t_{12}^2 t_{21}^2}{1 + r_{12}^2 r_{21}^2 + 2r_{12} r_{21} \cos 2\beta}, \quad (1)$$

$$|R_{\perp, \parallel}|^2 = \frac{r_{12}^2 + r_{21}^2 + 2r_{12} r_{21} \cos 2\beta}{1 + r_{12}^2 r_{21}^2 + 2r_{12} r_{21} \cos 2\beta}. \quad (2)$$

Здесь индексы $\perp$ и $\parallel$ соответствуют перпендикулярной (вектор E волны перпендикулярен плоскости падения) и параллельной поляризациям (вектор E волны лежит в плоскости падения). Для перпендикулярной поляризации имеем

$$r_{12} = \frac{n_b \cos \theta_1 - n_d \cos \theta_2}{n_b \cos \theta_1 + n_d \cos \theta_2}, \quad r_{21} = \frac{n_d \cos \theta_2 - n_b \cos \theta_1}{n_b \cos \theta_1 + n_d \cos \theta_2}, \quad (3)$$

$$t_{12} = \frac{2n_b \cos \theta_1}{n_b \cos \theta_1 + n_d \cos \theta_2}, \quad t_{21} = \frac{2n_b \cos \theta_1}{n_b \cos \theta_1 + n_d \cos \theta_2}; \quad (4)$$

для параллельной поляризации:

$$r_{12} = \frac{\frac{1}{n_B} \cos \theta_1 - \frac{1}{n_D} \cos \theta_2}{\frac{1}{n_B} \cos \theta_1 + \frac{1}{n_D} \cos \theta_2}, r_{21} = \frac{\frac{1}{n_D} \cos \theta_2 - \frac{1}{n_B} \cos \theta_1}{\frac{1}{n_B} \cos \theta_1 + \frac{1}{n_D} \cos \theta_2}, \quad (5)$$

$$t_{12} = \frac{2 \frac{1}{n_B} \cos \theta_1}{\frac{1}{n_B} \cos \theta_1 + \frac{1}{n_D} \cos \theta_2}, t_{21} = \frac{2 \frac{1}{n_B} \cos \theta_1}{\frac{1}{n_B} \cos \theta_1 + \frac{1}{n_D} \cos \theta_2}. \quad (6)$$

Для обеих поляризаций имеем

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_B d \cos \theta_2, \quad (7)$$

$$n_B = \sqrt{\varepsilon_B}, n_D = \sqrt{\varepsilon_D}. \quad (8)$$

В различных балансных схемах часто используется трехдецибелный делитель, когда модули коэффициентов отражения и прохождения равны ($|R| = |T|$) [4–6]. Анализ выражений (1) и (2) в случае, когда слой 2 окружает воздух ($\varepsilon_s = 1,0$), показывает, что реализация подобного режима для перпендикулярной поляризации падающего поля возможна при значении диэлектрической проницаемости $\varepsilon = \varepsilon_d = 3,4$, а для параллельной поляризации: при $\varepsilon = \varepsilon_d = 11,0$. Для делителей с малым переходным ослаблением (несколько децибел) целесообразно использовать перпендикулярную поляризацию, а для делителей с большим переходным ослаблением (более 10 дБ) – параллельную. При этом наиболее широкополосное деление соответствует значению d , примерно равному нечетному кратному четвертьволновой толщины слоя диэлектрика в соответствии с выражением

$$d = \frac{\lambda_{cp}}{4\sqrt{\varepsilon - 0.5}} (2p + 1), \quad (9)$$

где λ_{cp} – длина волны в свободном пространстве на средней частоте рабочего диапазона, $p = 0, 1, 2, \dots$

На рис. 3 приведены результаты расчетных значений коэффициента отражения и прохождения плоской электромагнитной волны от диэлектрического слоя, окруженного воздухом $\varepsilon_s = 1,0$, для двух значений диэлектрической проницаемости при перпендикулярной поляризации на средней частоте 150 ГГц. Значение диэлектрической проницаемости $\varepsilon = 3,4$ (кривые 1 и 1') действительно обеспечивает деление мощности поровну в плечах устройства.

Однако в связи с отсутствием естественных материалов с требуемой диэлектрической проницаемостью представляет интерес использование естественного материала с наиболее близкими параметрами – плавленый кварц ($\varepsilon = 3,91$), кривые 2 и 2'.

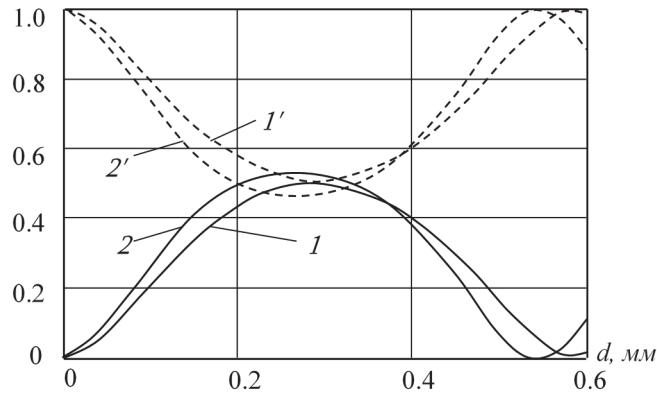


Рис.3. Зависимость коэффициентов отражения (сплошная линия) и прохождения (пунктирная линия) от толщины диэлектрического слоя

На рис.4а приведены расчетные кривые и экспериментальные значения коэффициента прохождения (квадратики) и коэффициента отражения (кружочки) трехдецибельного делителя, выполненного в виде волноводного креста на частотах 150 и 180 ГГц. В качестве диэлектрика используется плавленный кварц толщиной 0,25 мм. Получено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов. Видно, что такой делитель обладает достаточной широкополосностью. На рис. 4б показан внешний вид делителя на основе квадратного МДВ сечением 10х10 мм. На фотографии видна согласованная нагрузка, подключенная к правому плечу делителя.

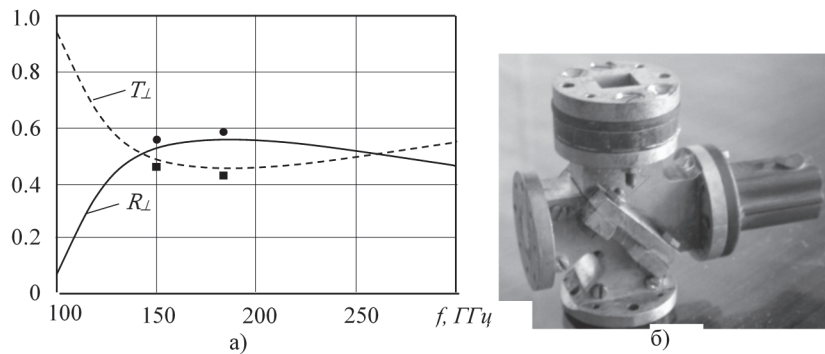


Рис. 4. Расчетные кривые и экспериментальные значения коэффициента передачи $T_{\perp}$ (квадратики) и коэффициента отражения $R_{\perp}$ (кружочки) трехдецибельного делителя (а); внешний вид делителя (б)

Заметим, что приведенные данные получены для толщины d слоя диэлектрика при $p=0$ в выражении (9). Этот случай соответствует наибольшей широкополосности коэффициентов отражения и прохождения. Широкопо-

лосность быстро уменьшается с увеличением d по выражению (9) при возрастании p . Тем не менее, по соображениям механической прочности, выбор больших толщин слоя иногда является необходимым, особенно в терагерцовом диапазоне, когда толщина слоя при $p=0$ получается слишком малой.

Проведенные исследования показывают, что диэлектрические пластины не всегда обеспечивают необходимое ответвление. Для того чтобы реализовать большее значение ответвления, используются частопериодические решетки.

Делители мощности на основе решеток. Поляризационные свойства решеток обеспечивают реализацию целого ряда устройств [6–8]. Иногда такие решетки называют дифракционными. Используются их различные типы: круглые металлические провода, плоские ленты, металлodieлектрические и другие структуры. Результаты теоретических и экспериментальных исследований дифракции электромагнитных волн на периодических структурах наиболее полно отражены в работах [8–10].

В квазиоптической технике для деления мощности волны, как уже отмечалось, широко используются решетки, которые устанавливаются на месте диэлектрической пленки в волноводном тройнике или кресте (см. рис. 1 и рис. 4б). Внешний вид делителя мощности на основе МДВ тройника, использующего решетку, приведен на рис.5.

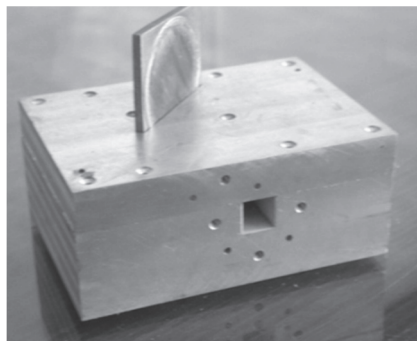


Рис. 5. Делитель мощности на основе волноводного тройника.

В приведенной на рис. 5 конструкции тройника в плоскости нахождения диэлектрической пленки (см. рис 1) выполнен паз, в который устанавливается кассета с диэлектрической пластиной или дифракционной решеткой с известными характеристиками. Волноводы делителя оканчиваются стандартными фланцами.

Прежде чем перейти к рассмотрению основных характеристик делителей на основе частопериодических решеток, рассмотрим основные характеристики решетки, приведенной на рис.6.

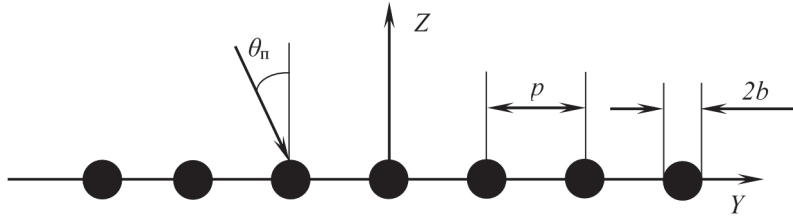


Рис. 6. Одномерная дифракционная решетка из круглых проводов

Для идеально проводящей решетки векторная задача дифракции разделяется на следующие две скалярные задачи, отличающиеся ориентацией электрического вектора по отношению к элементам решетки:

- вектор электрического поля параллелен проводникам решетки (E – поляризация);
- вектор электрического поля перпендикулярен проводникам решетки (H – поляризация).

Строгое решение задачи о прохождении электромагнитной волны сквозь решетку, показанную на рис. 6, с применением эквивалентных граничных условий Вайнштейна – Сивова приведено в [10].

В терагерцовом диапазоне используются решетки, параметры которых удовлетворяют граничным условиям анизотропной проводящей поверхности Владимирского [9–11], записываемым в виде

$$R_{\perp} = 0, \quad T_{\perp} = 1, \quad (10)$$

$$R_{\parallel} = -1, \quad T_{\parallel} = 0. \quad (11)$$

Соотношение между периодом решетки p и длиной волны λ_0 в значительной мере определяет свойства решетки, причем в рассматриваемом случае наибольший интерес представляет длинноволновая область частотного параметра $\chi_p = p/\lambda_0 \ll 1$. Этой области соответствует решетка, для которой получена асимптотика решения задачи дифракции в виде достаточно простых аналитических выражений [12].

Электродинамические свойства подобной решетки в длинноволновом приближении рассмотрены с помощью метода возмущений в работе [12], а выражения для квадрата модуля (отражение по мощности – $|R|^2$) коэффициента отражения и его фазы φ_R в случае редкой решетки с малым коэффициентом заполнения $S_p = 2b/p \ll 1$ имеют следующий вид для E – поляризации:

$$|R_E|^2 = \frac{(1-A_1A_2)^2}{(1+A_1^2)(1+A_2^2)}, \quad (12)$$

$$tg(\varphi_R^E) = \frac{A_1-A_2}{(1+A_1A_2)}, \quad (13)$$

$$A_1 = 2\chi_P \ln\left(\frac{1}{\pi S_P}\right) A_3, A_2 = \frac{\chi_P(\pi S_P)^2}{2} A_3, A_3 = \cos\theta_n;$$

для H -поляризации:

$$|R_H|^2 = \frac{(A_4+A_2A_3)^2}{(1+A_1^2)(A_3+A_4^2)}, \quad (14)$$

$$tg(\varphi_R^H) = \frac{(A_3+A_2A_4)^2}{(A_4-A_2A_3)}, \quad (15)$$

$$A_4 = \frac{A_2}{2A_3} (1 - 2\sin^2\theta_n),$$

где θ_n – угол падения (см. рис. 6).

Аналогичные выражения для рассматриваемой решетки, полученные в [10] методом последовательных приближений, несколько уточняют формулы (12) – (15). Тем не менее, как показывает сопоставление аналитических оценок с результатами строгого решения дифракционной задачи [10, 12], приведенные выражения обеспечивают достаточно высокую точность при коэффициенте заполнения $Sp < 0,25$ и частотном параметре $\chi_P < 0,5$, что характерно для решеток из бесконечных круговых цилиндров, используемых в квазиоптической технике в диапазоне длин волн $\lambda_0 \geq 0,3$ мм.

На рис. 7 приведены результаты численного исследования коэффициентов отражения и передачи делителей для решеток с различными периодами p . Экспериментально измерялись коэффициенты передачи и отражения делителя на двух частотах 150 и 180 ГГц. В кассете была установлена решетка с диаметром проводов $2b = 8$ мкм и периодом $p = 40$ мкм. Полученные результаты показывают хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов. Как и в предыдущем случае, такая конструкция обеспечивает практически идеальное согласование с волноводным трактом, т.к. отраженная от пластины мощность отводится на согласованную нагрузку.

В заключение рассмотрим применение частопериодических решеток в терагерцовом диапазоне в качестве поляризационных делителей рабочей моды.

Такой делитель является одним из базовых элементов квазиоптического тракта. Несмотря на сходство с диэлектрическим делителем, возможности поляризационного делителя рабочей моды на решетке намного шире. Решетка позволяет изменять соотношение отраженной и прошедшей волн в боковые

каналы делителя в зависимости от угла ориентации ее проводников относительно вектора электрического поля падающей волны.

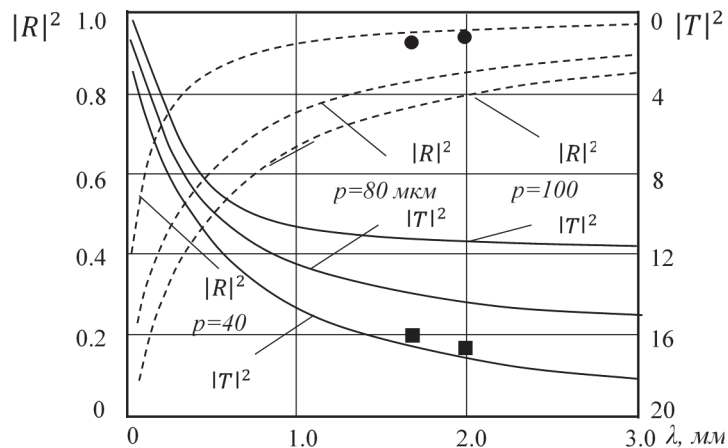


Рис. 7. Расчетные кривые и экспериментальные значения коэффициентов отражения (пунктирные линии) и передачи (сплошные линии) делителя на решетках (E – поляризация)

Закключение. Показано, что характеристики квазиоптических делителей, в которых используются решетки либо диэлектрические пленки, существенно зависят от частоты. Получено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов характеристик делителей, использующих как диэлектрические пленки, так и решетки. Указано, что устройства, использующие диэлектрические пленки, обеспечивают фиксированное значение деления мощности по плечам делителя. В делителях, использующих решетки, можно осуществить регулируемое деление мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян М.Ц., Мартиросян Р.М., Казанцев Ю.Н. Направляющие системы для терагерцового диапазона // Физические основы приборостроения. – 2016. – Т. 5, № 1. – С. 28 – 35.
2. Айвазян М.Ц. Направляющие системы для передачи больших мощностей в терагерцовом диапазоне // Известия НАН РА и НПУА. Серия «Техн. науки». – 2016. – Т. 69, № 2. – С. 151 – 160.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики / Пер. с англ.; Под ред. Г.П. Мотулевича. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
4. Квазиоптические антенно-фидерные системы / Под ред. Г.И. Хлопова. – Харьков: ИПП «Контраст», 2013. – 408 с.

5. **Костенко А.А., Хлопов Г.И.** Исследование крестообразного разветвления квази-оптических волноводов // Квазиоптическая техника миллиметровых и субмилли-метровых диапазонов волн: Сб. научн. тр. / Институт радиофизики и электроники НАН Украины. – Харьков, 1989. – С. 83-88.
6. **Кулешов Е.М., Литвинов Д.Д.** К вопросу о делении луча в квазиоптических СВЧ-трактах // Радиотехника: Респ. межвед. темат. науч. сб. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1971. – Вып. 18. – С. 98–104.
7. **Avakian R., Agababian K., Ayvazyan M., Kazantsev Yu.** Electrical characteristics of the waveguide grating system // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. – 1995. – V. 16, issue 2. – P. 411-418.
8. **Шаров Г.А.** Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 639 с.
9. **Вайнштейн Л.А.** Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1990. – 442 с.
10. **Нефедов Е.И., Сивов А.Н.** Электродинамика периодических структур. – М.: Наука, 1977. – 208 с.
11. **Каценеленбаум Б.З.** Высокочастотная электродинамика. – М.: Наука, 1966. – 240 с.
12. **Шестопалов В.П., Литвиненко Л.Н., Масалов С.А., Сологуб В.Г.** Дифракция волн на решетках. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1973. – 272 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 02.06.2020.

Մ.Ս. ԱԶՈՅԱՆ, Մ.Ց. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ՏԵՐԱՀԵՐԳԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ԲԱԺԱՆԻՉՆԵՐ

Դիտարկվում են տերահերցային տիրույթի ալիքատարային սարքերում ազդանշանի բաժանման մեթոդները: Առաջարկվող բաժանարարները կառուցված են մետաղական-դիէլեկտրիկական ալիքատարի հիման վրա ալիքատարային խաչի տեսքով, որի անկյունագծում տեղադրվում է կիսաթափանցիկ դիէլեկտրիկական թաղանթ, կամ՝ ցանց, որը բաղկացած է զուգահեռ հաղորդալարերից: Բերված են նման սարքավորումների էլեկտրամագնիսական ալիքի անդրադարձման և փոխանցման գործակիցների հաշվարկված արժեքները: Հաշվարկված և փորձարարական արդյունքները լավ համընկնում են: Առաջարկվող սարքերը կարող են լայնորեն օգտագործվել տերահերցային տիրույթի տարբեր սարքեր ստեղծելու համար:

Առանցքային բառեր. տերահերցային տիրույթ, հզորության բաժանարար, դիէլեկտրիկական թաղանթ, հաճախապարբերական ցանց, մետաղ-դիէլեկտրիկական ալիքատար:

M.S. AZOYAN, M.Ts. AYVAZYAN

THZ RANGE SIGNAL DIVIDERS

The methods of signal division in waveguide devices of the terahertz range are considered. The proposed dividers are built on the basis of an oversized metal-dielectric waveguide in the form of a waveguide tee or waveguide cross. In the diagonal of this devices are installed the dielectric film, or a grating with parallel conductors. The calculated ratios of the reflection and transmission coefficients of the electromagnetic wave from such structures are presented. Good coincidence between the calculated and experimental results is obtained. The proposed devices can be widely used to create various devices of the terahertz range.

Keywords: terahertz range, power divider, dielectric film, grating, metal-dielectric waveguide.

Մ.Գ. ԳՈՄՅԱՆ

ԵՐԿՉԱՓ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄԱԿՆԻԶԱՎՈՐՈՒՄԸ ԹՎԱՅԻՆ ՋՐԱՆԻՇՈՎ՝
ԲԱՐԵՓՈԽՎԱԾ ՎԵՑՎԼԵՏՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Դիտարկվել են տվյալների անվտանգության, ինֆորմացիայի պաշտպանության, հեղինակային և ինտելեկտուալ սեփականության իրավունքների, տվյալների գաղտնիության պահպանման խնդիրները, որոնց լուծումներից մեկն է դրանց մականիշավորումը լոգոտիպով: Մշակվել է լիֆտինգ-սխեմայով արագ վեյվլետ-ձևափոխությամբ իրականացվող երկչափ պատկերի մեջ թվային ջրանիշի ներդրման ալգորիթմ, որը կիրառում է պատկերների միաձուլման մեթոդ ադիտիվ մեխանիզմով: Ալգորիթմում օգտագործվել են MATLAB միջավայրում լիֆտինգ-սխեմայով նախապես բարեփոխված LS-bior2.6 և LS-cdf2.6 բիօթոթոգնալ վեյվլետները: Ալգորիթմի արդյունավետությունը գնահատվել է մականիշավոր պատկերի ազդանշան/աղմուկ հարաբերությամբ և վերականգնված ջրանիշի առավելագույն սխալանքով՝ ներդրման գործակցի տարբեր արժեքների դեպքում:

Առանցքային բառեր. թվային ջրանիշ, լիֆտինգ-սխեմա, բիօթոթոգնալ վեյվլետ, տրոհման և վերականգնման վեյվլետ-գտիչներ, մոտարկող և մանրամասնող վեյվլետ-գործակիցներ:

Ներածություն: Համացանցի ներկայիս լայն հնարավորությունները թույլ են տալիս դուրսի և շատ արագ մուտք գործել ինֆորմացիայի այս կամ այն աղբյուրը: Մակայն դա իր հերթին վտանգում է տվյալների անվտանգությունը, և առաջանում է ինֆորմացիայի պաշտպանության անհրաժեշտություն: Հեղինակային իրավունքների, ինտելեկտուալ սեփականության իրավունքների կամ տվյալների գաղտնիության պահպանման խնդիրները մեծ ուշադրության էին արժանանում դեռ վաղ ժամանակաշրջանում և մնում են արդիական առ այսօր:

Թվային տվյալների աուտենտիֆիկացման և անօրինական օգտագործման պաշտպանության արդյունավետ միջոց է դրանց մականիշումը թվային ջրանիշներով (ԹՋՆ): Ներկայումս գոյություն ունեն ԹՋՆ-ի տվյալներում ներդրման տասնյակ մեթոդներ: Հիմնական պահանջները, որոնք ներկայացվում են ԹՋՆ-ին, հուսալիությունն է և կայունությունը ինֆորմացիայի վրա տարատեսակ ներգործությունների նկատմամբ, այսինքն այն պետք է լինի աննկատ և կայուն՝ ազդանշանների մշակման հիմնական գործողությունների հանդեպ: Այդ ալգորիթմները հիմնված են ԹՋՆ-ի՝ պատկերի այնպիսի տիրույթներում ներդրման վրա, որոնց նկատմամբ մարդու աչքը այնքան էլ զգայուն չէ, ուստի և ներդրումն էլ դառնում է աննկատ:

Վեյվլետ-ձևափոխությունը տվյալ գործընթացում լայն կիրառում է ստացել անցյալ դարի 90-ական թվականներից և ունի մի շարք առավելություններ մյուս մեթոդների համեմատ.

- լուծաչափման տարբեր աստիճաններով հաճախականային ենթատիրույթների բաժանումը դարձնում է ԹՋՆ-ի միաձուլումը առավել արդյունավետ՝ ըստ բոլոր չափորոշիչ պարամետրերի, քանզի կարելի է ընտրել ենթատիրույթներից առավել նպատակահարմարը,

- ԹՋՆ-ի ներդրումը բարձր հաճախականային (ԲՀ) ենթատիրույթում թույլ է տալիս ապահովել աննկատությունը, քանի որ մանրամասնող գործակիցները ինֆորմացիա են պարունակում պատկերի սահմանների, սուր եզրերի և մակերևույթների անհամասեռության մասին, որոնց նկատմամբ մարդու աչքը զգայուն չէ, սակայն այդ գործակիցները ավելի զգայուն են աղմուկների նկատմամբ, ուստի կա ԹՋՆ-ի աղավաղման մեծ վտանգ,

- լոգոտիպի ներդրումը ցածր հաճախականային (ՑՀ) ենթատիրույթում ապահովում է պատկերի կայունությունը կապուղում առաջացող աղմուկների նկատմամբ և ԹՋՆ-ի ավելի ճշգրիտ վերականգնում, սակայն խնդիրներ են առաջանում աննկատության և ինֆորմացիայի վրա տարատեսակ ներգործությունների նկատմամբ կայունության առումով,

- ստորակարգված դեկոմպոզիցիայի շնորհիվ կրճատվում է հաշվարկային գործողությունների քանակը:

Աշխատանքի նպատակն է իրականացնել դասական վեյվլետ-գոիչների տարրական մոդիֆիկացիա՝ ըստ Սվեդենսի բարելավման լիֆտինգ-սխեմայի [1,2], ինչը հնարավորություն կտա կառուցել ճշգրիտ վերականգնման վեյվլետ-բազիսներ և թույլ կտա առավել արդյունավետ իրականացնել երկչափ պատկերների մակնշումը թվային ջրանիշով:

Խնդրի դրվածքը: Ըստ Վ.Սվեդենսի, եթե հայտնի է $[H(z), G(z) \text{ և } \tilde{H}(z), \tilde{G}(z)]$ ՑՀ և ԲՀ տրոհման և վերականգնման բիօրթոգոնալ գոիչների քառյակը, ապա ճշգրիտ վերականգնում կարելի է իրականացնել նաև $[H'(z), G(z) \text{ և } \tilde{H}(z), \tilde{G}'(z)]$ գոիչներով, որտեղ.

$$H'(z) = H(z) - G(z)P(z^{-2}), \quad \tilde{G}'(z) = \tilde{G}(z) + \tilde{H}(z)P(z^2): \quad (1)$$

Այստեղ $H'(z)$ և $\tilde{G}'(z)$ -ը գոիչներ են, որոնք բարեփոխվել են մեկ այլ P գոիչի միջոցով: $P(z^2)$ -ը դիտարկվում է որպես բարեփոխող վերջավոր հաջորդականություն (օրինակ՝ Լորանսի բազմանդամ): $[H(z), G(z) \text{ և } \tilde{H}(z), \tilde{G}(z)]$ բիօրթոգոնալ գոիչների անցումը բարեփոխված $[H'(z), G(z) \text{ և } \tilde{H}(z), \tilde{G}'(z)]$ բիօրթոգոնալ գոիչների կոչվում է լիֆտինգի առաջնային տարրական քայլ:

Եթե բարեփոխման ենթարկվեն $G(z)$ և $\tilde{H}(z)$ գոտիները, ապա ազդանշանի ճշգրիտ վերականգնում կարելի է իրականացնել նաև $[H(z), G'(z)$ և $\tilde{H}'(z), \tilde{G}(z)]$ գոտիներով: Դա կոչվում է լիֆտինգի երկակի քայլ: Այդ դեպքում.

$$G'(z) = G(z) - H(z)Q(z^2), \quad \tilde{H}'(z) = \tilde{H}(z) + \tilde{G}(z)Q(z^{-2}), \quad (2)$$

որտեղ $Q(z^2)$ - Լորանի բազմանդամն է:

MATLAB միջավայրում իրականացվել է bior2.6 և cdf2.6 բիօթթոգոնալ վեյվլետների բարեփոխումը, ընդ որում, բարեփոխման են ենթարկվել տրոհման և վերականգնման բոլոր չորս գոտիները: Այդ նպատակով որոշվել են լիֆտինգ-գոտիներին համապատասխանող առաջնային և երկակի քայլերի նորմավորված օպտիմալ արժեքները, ընտրվել է Լորանի բազմանդամի աստիճանը, հաշվարկվել են վեյվլետների տրոհման և վերականգնման ՑՀ և ԲՀ գոտիների գործակիցները:

LS-bior2.6 բարեփոխված վեյվլետի գոտիները ներկայացվում են հետևյալ տեսքով.

$$H(z) = -0.006905z^5 + 0.01381z^4 + 0.04696z^3 - 0.1077z^2 - 0.1699z + 0.4475 + \\ + 0.9667z^{-1} + 0.4475z^{-2} - 0.1699z^{-3} - 0.1077z^{-4} + 0.04696z^{-5} + \\ + 0.01381z^{-6} - 0.006905z^{-7},$$

$$G(z) = 0.3536z - 0.7071 + 0.3536z^{-1},$$

$$\tilde{H}(z) = 0.3536 + 0.7071z^{-1} + 0.3536z^{-2},$$

$$\tilde{G}(z) = 0.006905z^6 + 0.01381z^5 - 0.04696z^4 - 0.1077z^3 + 0.1699z^2 + 0.4475z - \\ - 0.9667 + 0.4475z^{-1} + 0.1699z^{-2} - 0.1077z^{-3} - 0.04696z^{-4} + 0.01381z^{-5} + \\ + 0.006905z^{-6}:$$

LS-cdf2.6 բարեփոխված վեյվլետի համար ստացվել են.

$$H(z) = 0.3536z + 0.7071 + 0.3536z^{-1},$$

$$G(z) = -0.006905z^5 - 0.01381z^4 + 0.04696z^3 + 0.1077z^2 - 0.1699z - 0.4475 + \\ + 0.9667z^{-1} - 0.4475z^{-2} - 0.1699z^{-3} + 0.1077z^{-4} + 0.04696z^{-5} - \\ - 0.01381z^{-6} - 0.006905z^{-7},$$

$$\tilde{H}(z) = -0.006905z^6 + 0.01381z^5 + 0.04696z^4 - 0.1077z^3 - 0.1699z^2 + 0.4475z + \\ + 0.9667 + 0.4475z^{-1} - 0.1699z^{-2} - 0.1077z^{-3} + 0.04696z^{-4} + 0.01381z^{-5} - \\ - 0.006905z^{-6},$$

$$\tilde{G}(z) = 0.3536 + 0.7071z^{-1} + 0.3536z^{-2}:$$

Պատկերի մակնիշավորում իրականացնելիս հիմք ենք ընդունել ԹՋՆ-ի ներկառուցման աղիտիվ (զծային) և միաձուլման ալգորիթմները [3]: Առաջին դեպքում ԹՋՆ-ն ներկայացվում է թվային հաջորդականության տեսքով, որը ներմուծվում

է մականշվող պատկերի ընտրված հաշվանքների բազմության մեջ [3-6]: Ալգորիթմը կոչվում է ադիտիվ, քանի որ ներդրումն իրականացվում է՝ համաձայն հետևյալ գծային բանաձևի.

$$Z'(m, n) = Z(m, n)(1 + \alpha \cdot W_i), \quad (3)$$

որտեղ $Z(m, n)$ -ը նախնական պատկերի ընտրված բազմությունն է, որում պետք է ներդրվի ԹՋՆ-ն, $Z'(m, n)$ -ն՝ ներդրումից հետո փոփոխված բազմությունը, W_i -ն՝ ԹՋՆ-ի թվային հաջորդականությանը, α -ն՝ ներդրման գործակիցը ($0 \leq \alpha \leq 1$):

ԹՋՆ-ի առանձնացումը մականշված պատկերից ընդունման կետում իրականացվում է հետևյալ կերպ.

$$W_i'' = \frac{Z''(m, n) - Z(m, n)}{\alpha \cdot Z(m, n)}, \quad (4)$$

որտեղ $Z''(m, n)$ -ը մականշված պատկերի բազմությունն է, որից դուրս է հանվելու W_i'' հաջորդականությունը:

Երկրորդ դեպքում ԹՋՆ-ն մեկ այլ պատկեր է, որի չափսերը ավելի փոքր են, քան մականշվողինը [3,7-9]: Ներդրումից առաջ այն ձևափոխվում է որևէ կերպ՝ նախնական պատկերին համապատասխան: Միաձուլման ալգորիթմների առավելությունն այն է, որ ԹՋՆ-ն նույնպես պատկեր է (օրինակ՝ ֆիրմայի լոգոտիպը) և ոչ թե պատահական թվերի հաջորդականություն: Այդ դեպքում հնարավոր են թաքնված հաղորդագրության որոշ աղավաղումներ, քանի որ մարդու աչքը, այնուամենայնիվ, կարող է ճանաչել այն: Բացի այդ, լոգոտիպի առակայությունը հանդիսանում է սեփականության իրավունքների առավել համոզիչ ապացույց, քան պատահական հաջորդականությունը:

Առաջարկվող ալգորիթմը համակցված մեթոդ է, որն իրականացվում է պատկերների միաձուլման եղանակով, սակայն պատկերի ներկառուցումը կոնտեյներների մեջ կատարվում է ադիտիվ մեխանիզմով՝ համաձայն (3)-ի: Ինչպես մականշվող, այնպես էլ ներդրվող պատկերները նախ փոխակերպվում են նույն չափսերի քառակուսի կիսատոն պատկերների՝ ներդրումը առավել արդյունավետ դարձնելու նպատակով: Ներդրումից առաջ երկուսն էլ ենթարկվում են լիֆտինգ վեյվլետ-ձևափոխության (ԼՎՁ): Արդյունքում՝ պատկերները տրոհվում են ցածր և բարձր հաճախականային (ՑՀ և ԲՀ) ենթատիրույթների, իսկ դրանց վեյվլետ-գործակիցները կպարունակեն բարեփոխված մոտարկող և մանրամասնող բաղադրիչներ մատրիցի բոլոր ուղղություններով՝ ուղղահայաց, հորիզոնական և անկյունագծային: Լոգոտիպը կարող է ներդրվել բնօրինակ պատկերի (ԲՊ) ինչպես բոլոր, այնպես էլ ընտրված ենթատիրույթների գործակիցների մեջ: Նպատակահարմար համարվեց լոգոտիպը ներդնել ՑՀ ենթատիրույթի մեջ՝ մոդիֆիկացնելով այդ տիրույթի մոտարկող գործակիցները ԹՋՆ-ի մոտարկող գործակիցներով:

ՅՀ ենթատիրույթի ընտրությունը պայմանավորված է նրանով, որ այնտեղ կենտրոնացված է ազդանշանի էներգիայի մեծ մասը, և հնարավոր է ապահովել պատկերի կայունությունը կապուղում առաջացող աղմուկների նկատմամբ և ԹՋՆ-ի ավելի ճշգրիտ վերականգնումը, իսկ աննկատությունը կարող է ապահովվել ներդրման գործակցի համապատասխան արժեքով: Մշակվող մոդելում ձևափոխությունն իրականացվել է տրոհման առաջին մակարդակով, քանի որ, ինչպես արդեն ապացուցվել է, այդ դեպքում վերականգնման սխալանքը կստացվի ավելի փոքր: Կրճատվում է նաև հաշվարկային ժամանակը, ինչը պայմանավորված է ավելի քիչ քանակությամբ գործակիցների որոշմամբ: Ներդրման գործընթացը ավարտելուց հետո իրականացվում է հակառակ ԼՎՁ՝ արդյունքում ստանալով մակնշված պատկեր (ՄՊ): Մակնշված պատկերից ԹՋՆ-ի առանձնացման համար կատարվում է ՄՊ-ի ուղիղ միամակարդակ ԼՎՁ այդ նույն բարեփոխված վեյվլետով, որն օգտագործվել է ներդրման գործընթացում: Մշակված մոդելի ալգորիթմը ներկայացված է նկ.1-ում և ներառում է հետևյալ քայլերը.

Ներդրման ալգորիթմ.

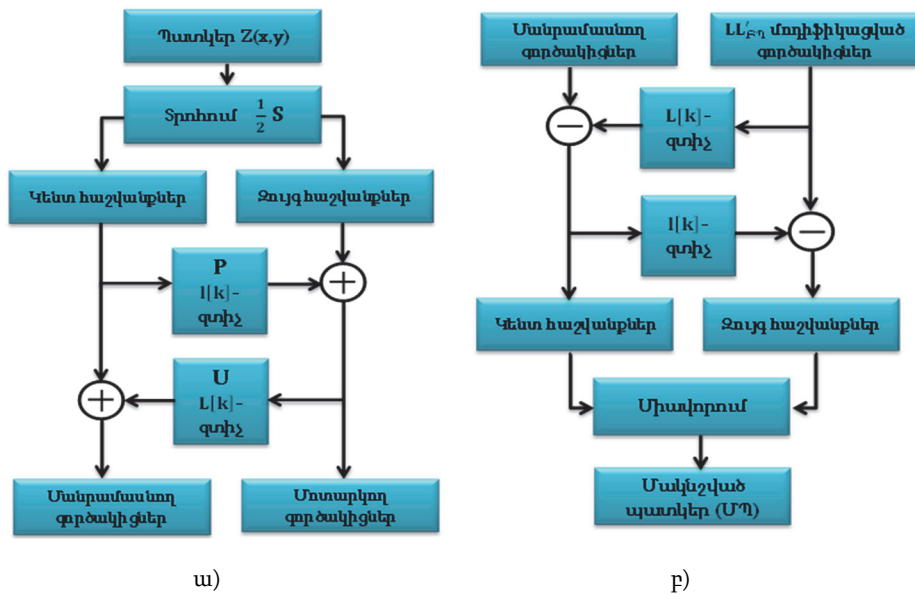
1. Միամակարդակ ԼՎՁ-ի կիրառում կիսատոն բնօրինակ պատկերի (ԲՊ) նկատմամբ և դրա cA_i ցածր հաճախականային մոտարկող և cD_i բարձր հաճախականային մանրամասնող գործակիցների հաշվարկ: Լիֆտինգ-սխեմային համապատասխան՝ այդ գործընթացն իրականացվում է $l[k]$ և $L[k]$ բարեփոխող գոտիների կիրառմամբ՝ երկակի տարրական քայլով (նկ.2,ա):

2. Նմանատիպ միամակարդակ ԼՎՁ-ի կիրառում կիսատոն թվային ջրանիշի (ԹՋՆ) նկատմամբ և դրա cA_j ցածր հաճախականային մոտարկող և cD_j բարձր հաճախականային մանրամասնող գործակիցների հաշվարկ:

3. ԲՊ-ի միայն մոտարկող $LL_{ԲՊ}$ գործակիցների մոդիֆիկացում ԹՋՆ-ի $LL_{ԹՋՆ}$ մոտարկող գործակիցներով, որն իրականացվում է հետևյալ ադիտիվ բանաձևին համապատասխան.

$$LL'_{ԲՊ} = LL_{ԲՊ} + \alpha \cdot LL_{ԹՋՆ} : \quad (5)$$

ԹՋՆ-ի ներդրման α գործակցի արժեքներից են կախված ՄՊ-ի որակն ու կայունությունը արտաքին ներգործությունների նկատմամբ և այնպիսի կարևոր չափորոշիչ պարամետրերը, ինչպիսիք են ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը, վերականգնման սխալանքը, կորելյացիայի գործակիցը: Մշակված մոդելում ներդրման գործակցի արժեքը ամրակցված չէ: Այն կարելի է ադապտիվ փոփոխել և հարմարեցնել մակնշվող պատկերի տեղային առանձնահատկություններին, ինչը թույլ կտա ջրանիշը դարձնել ավելի աննկատ և կայուն:



Նկ.2. Պատկերի միամակարդակ LՎՁ-տրոհման (ա) և սինթեզման (բ) սխեմաներ

Առանձնացման ալգորիթմ

1. Ընդունման կետում մականշված պատկերի նկատմամբ միամակարդակ ուղիղ LՎՁ-ի կիրառում և տրոհում՝ ՅՀ մոտարկող և ԲՀ մանրամասնող գործակիցների՝ նկ.2,ա-ին համապատասխան:

2. Մականշված պատկերի $LL_{U\eta}$ ՅՀ գործակիցներից ԹՋՆ-ի մոտարկող գործակիցների առանձնացում՝ հետևյալ աղիտիվ հավասարմանը համապատասխան.

$$LL''_{\theta\Delta\lambda} = \frac{LL_{U\eta} - LL_{F\eta}}{\alpha} : \quad (6)$$

3. ԹՋՆ-ի վերականգնում $LL''_{\theta\Delta\lambda}$ մոտարկող գործակիցներով:

ԹՋՆ-ի ներդրման և առանձնացման արդյունավետությունը գնահատելու համար գոյություն ունեն մի շարք չափորոշիչ պարամետրեր, որոնցից օգտագործվել են.

1. Ազդանշան/աղմուկ հարաբերության գագաթային արժեքը, որը թույլ է տալիս գնահատել բնօրինակ և մականշված պատկերի տարբերությունը.

$$PSNR = 10 \log_2 \frac{(2^B - 1) \cdot N}{\sum_{i=1}^N (X_{F\eta i} - X_{U\eta i})^2} , \quad (7)$$

որտեղ N -ը պատկերի պիքսելների քանակն է, B -ն՝ կիսատոն պատկերի պայծառության առավելագույն արժեքը (B , բիթ/պիքսել), $X_{F\eta i}$ -ն՝ բնօրինակ պատկերի պիքսելների քանակը, $X_{U\eta i}$ -ն՝ մականշված պատկերի պիքսելների քանակը: Մականշված պատկերը համարվում է թույլատրելի որակով, եթե $PSNR \geq 28 \dots 30$ դԲ [3]:

2. Կորելյացիայի նորմավորված գործակիցը, որը թույլ է տալիս գնահատել W նախնական և W'' վերականգնված ջրանիշների նույնականությունը.

$$\delta = \frac{w''w}{\|w''\| \cdot \|w\|} : \quad (8)$$

δ -ի թվային արժեքները ընկած են $[0;1]$ սահմաններում: δ -ի մեկին մոտ լինելը վկայում է, որ առանձնացված ԹՋՆ-ն մեծ հավանականությամբ կհամընկնի ներդրվողի հետ:

3. ԹՋՆ-ի վերականգնման առավելագույն սխալանքը, որը գնահատում է նախնական և վերականգնված լոգոտիպի պիքսելների տարբերության բացարձակ արժեքը.

$$\max \text{ERR} = \max \left(\text{abs}(W''(m, n) - W(m, n)) \right) : \quad (9)$$

Հետազոտության արդյունքները: Որպես մականշվող պատկեր դիտարկվել է մատնահետքի JPEG ֆորմատի նկարը ('fingerprint.jpg'), որը պետք է մականշվի Հայաստանի զինանշանով ('gerb.jpg'): Օգտագործվել են լիֆտինգ-սխեմայով բարեփոխված LS-bior2.6 և LS-cdf2.6 վեյվլետները: Համեմատության համար նույն ալգորիթմով իրականացվել է նաև Հաարայի ձևափոխությունը (haart2), որն իր պարզության և արդյունավետության շնորհիվ լայն կիրառություն է գտել պատկերները թվային ջրանիշերով մականշելիս [7,9,10]: Փորձարկվել են $\alpha = 0.001; 0.005; 0.01; 0.05; 0.1; 0.5; 0.7$ արժեքները, և յուրաքանչյուր դեպքում հաշվարկվել են մականշված պատկերի որակը գնահատող զագաթային ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը, ԹՋՆ-ի վերականգնման ճշտության և կորելյացիայի չափորոշիչ պարամետրերը:

Ալգորիթմին համապատասխան MATLAB միջավայրում մշակվել է ծրագիր, որի համառոտ նկարագրությունը բերված է նկ.3,ա-ում, իսկ նկ.3,բ և 3,գ-ում ներկայացված են համապատասխանաբար PSNR և maxEER կախվածությունները α -ի տարբեր արժեքներից՝ բարեփոխված LS-bior2.6, LS-cdf2.6 վեյվլետների և Հաարայի ձևափոխության կիրառմամբ:

Ինչպես տեսնում ենք, երեք դեպքում էլ մականշված պատկերի ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը ստացվում է նույն կարգի: Այն բավականին մեծ է սահմանված 28 ... 36 η^2 արժեքներից, ինչի շնորհիվ էլ ԹՋՆ-ն բացարձակ անտեսանելի է ՄՊ-ի վրա (նկ.4,ա): Սակայն ներդրման գործակցի մեծացման հետ մեկտեղ՝ PSNR-ի արժեքը ընկնում է և, երբ այն նվազում է 28 η^2 -ից, ջրանիշը տեսանելի է դառնում մատնահետքի վրա (նկ.4,բ): Դա համապատասխանում է $\alpha = 0.5$ և 0.7 արժեքներին: α -ի թվային արժեքները հաստատուն մեծություններ չեն, դրանք կախված են մականշվող պատկերի և ջրանիշի որակից, տեսակից, դրանց չափսերից, ինչպես նաև վեյվլետ-տրոհման մակարդակից և մոդիֆիկացմանը ենթակա վեյվլետ-

գործակիցներից (ՅՀ կամ ԲՀ): Այդ իսկ պատճառով մշակված ալգորիթում α -ն ֆիքսված չէ, և հնարավորություն կա՝ այն հարմարեցնելու մշակվող պատկերներին:

```
>>LS = liftwave('bior2.6');
>> [LLorig,LHorig,HLogig,HHorig] = lwt2(A,LS);
>> [LLw,LHw,HLw,HHw] = lwt2(B,LS);
>> LLwatermarked = LLorig+0.001*LLw;
u) >> C=lwt2(LLwatermarked,LHorig,HLogig,HHorig,LS);
>> [LLr,LHr,HLr,HHr]=lwt2(C,LS);
>> LLmarked = (LLr-LLorig)/0.001;
>> peaksnr=psnr(A,C)

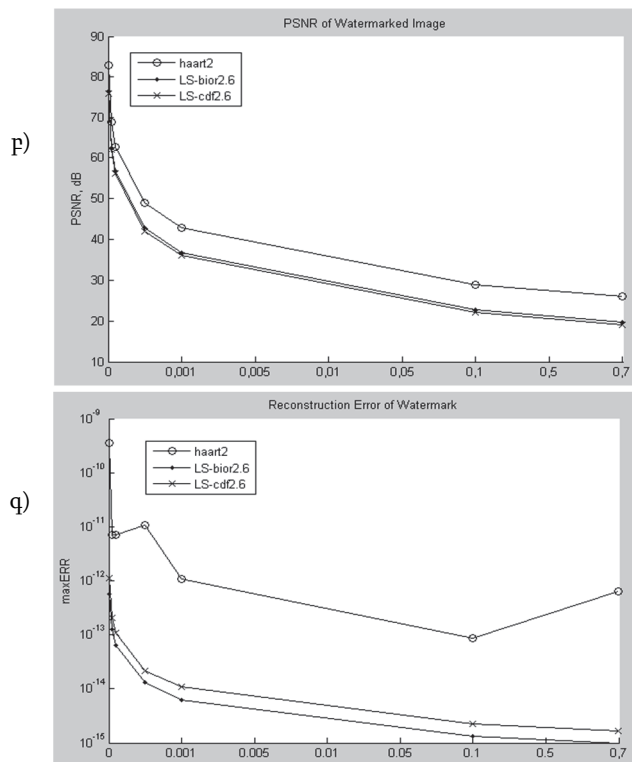
peaksnr =

    76.6879

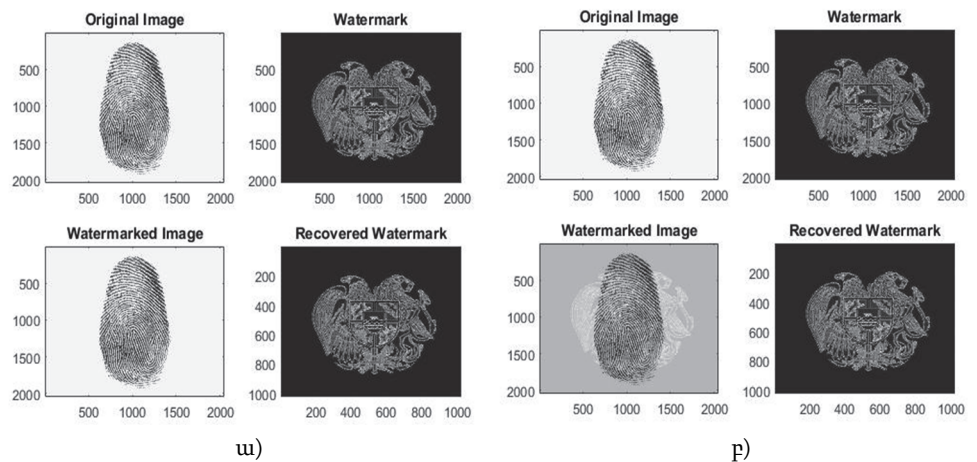
err=max(max(abs(LLmarked-LLw)))

err =

    5.6000e-13
```



Նկ.3. Պատկերի մակնիշավորման ծրագիրը (ա), ազդանշան/աղմուկ հարաբերության (p) և վերականգնման սխալանքի (q) կախվածությունները ներդրման գործակցի արժեքներից



Նկ.4. ԹՋՆ-ի տեսանելիությունը ՄՊ-ի վրա ներդրման գործակցի 0,001 (ա) և 0,5 (բ) արժեքների դեպքում

Թեև PSNR-ի տեսանկյունից Հաարայի վեյվլետ-ձևափոխությունը (ՀՎՁ) փոքր-ինչ գերազանցում է բարեփոխված LS-bior2.6, LS-cdf2.6 վեյվլետներով ստացված արժեքներից, սակայն այն զիջում է դրանց ջրանիշի վերականգնման գործընթացում, ապահովելով վերականգնման սխալանքի երկու կարգ փոքր արժեքներ (նկ.3,գ): Այս հանգամանքը վկայում է մեր կողմից մշակված ԹՋՆ-ի ներդրման ալգորիթմի արդյունավետության մասին:

Ակնառու է նաև այն փաստը, որ վերականգնման սխալանքները նվազում են α -ի մեծացման հետ մեկտեղ, իսկ ազդանշան/աղմուկ հարաբերության արժեքները ավելի լավն են ստացվում α -ի փոքր մեծությունների դեպքում:

Քանի որ maxERR-ը ստացվել է բավականին փոքր, ապա δ կորելյացիայի գործակիցը բոլոր դեպքերում էլ հավասար եղավ մեկի, ուստի դրա արժեքները չեն ներկայացվել:

Եզրակացություն: Մշակվել է պատկերների՝ ջրանիշով մակնիշավորման նոր ալգորիթմ, որը կիրառում է արագ վեյվլետ-ձևափոխություն լիֆտինգ-սխեմայով և պատկերների միաձուլման մեթոդ՝ ադիտիվ մեխանիզմով: Ալգորիթմի արդյունավետությունը գնահատվել է այնպիսի չափորոշիչ պարամետրերով, ինչպիսիք են մակնշված պատկերի ազդանշան/աղմուկ հարաբերությունը և վերականգնված ջրանիշի առավելագույն սխալանքը: ԼՎՁ-ի իրականացումը տրոհման առաջին մակարդակով ապահովում է վերականգնման սխալանքի ավելի փոքր արժեքներ, և կրճատվում է հաշվարկային ժամանակը, ինչը պայմանավորված է ավելի քիչ քանակությամբ վեյվլետ-գործակիցների որոշմամբ: Բացի դա, ալգորիթմի արդյունավետությունը բարձրացնում է LS-bior2.6 և LS-cdf2.6 բարեփոխված վեյվլետների կիրառումը: Համեմատության համար ԹՋՆ-ի ներդրման ալգո-

րիթմն իրականացվել է նաև Հասարայի ձևափոխությամբ: Արդյունքները վկայում են, որ թեև այն արդյունավետ է մակնշված պատկերի որակի տեսանկյունից, սակայն զիջում է ԼՎՁ-ին ջրանիշի ճշգրիտ վերականգնման հարցում: Ներդրման գործակցի ճիշտ ընտրության դեպքում մշակված ալգորիթը կարող է ապահովել ԹՋՆ-ի վերականգնման սխալանքից մոտ երկու կարգով ավելի փոքր արժեքներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Sweldens W.** The Lifting Scheme: A new philosophy in biorthogonal wavelet constructions/A.F. Laine and M. Unser, editors//Wavelet Applications in Signal and Image Processing III, Proc. SPIE 2569. - 1995. - P.68-79.
2. **Sweldens W.** The lifting scheme: A custom-design construction of diortogonal wavelets//Appl. Comput. Harmon.Anal. - 1996 - Vol.3, №2. - P.186-200.
3. **Грибунин В., Оков И., Туринцев И.** Цифровая стеганография. –М.: Солон Пресс, 2002.– 272с.
4. **Nicchiotti G., Ottaviano E.** Non-invertible statistical wavelet watermarking//Proc. of the 9th European Signal Processing Cong. European Association for Signal Processing.- Island of Rhodes, Greece, Sept.,1998. - P.2289-2292.
5. **Podilchuk C.I., Zeng W.** Digital image watermarking using visual models//IEEE J. on Selected Areas in Communications. - 1998. - Vol.16. - P.525-539.
6. DWT-based technique for spatiofrequency masking of digital signatures / **M. Barni, et al** // Proc. of the 11th SPIE Annual Symp. Electronic Imaging “99” Security and Watermarking of Multimedia Contents. - San Jose, CA, 1999. – Vol. 3657. - P.31-39.
7. **Chae J.J., Mukherjee D., Manjunath B.S.** A robust embedded data from wavelet coefficients//Proceedings of SPIPE, Electronic Imaging, Storage and Retrieval for Image and Video Database. - 1998. - Vol.3312. - P.208-317.
8. **Kundur D., Hatzinakos D.** A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion //Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. -1997.- Vol.1.- P.544-547.
9. **Shanmugaprabha S., Malmurugan N.** A new robust image watermarking scheme based on DWT with SVD//International Journal. - 2014. - P.16-21.
10. **Xia X.-G., Boncelet C.G., Arce G.R.** Wavelet transform based watermark for digital images//Optics Express. - 1998. - №3. - P.497-502.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրության 19.03.2020:

С.Г. ГОМЦЯН

**МАРКИРОВКА ДВУМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЦИФРОВЫМ ВОДЯНЫМ
ЗНАКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛУЧШЕННЫХ ВЕЙВЛЕТОВ**

Рассмотрены задачи, связанные с безопасностью данных, защитой информации, авторских прав и прав интеллектуальной собственности, а также конфиденциальностью данных, одним из решений которых является их маркировка логотипом. Разработан алгоритм введения цифрового водяного знака в двумерное изображение на основе быстрого вейвлет-преобразования по лифтинг-схеме, использующий метод слияния изображений аддитивным механизмом. В алгоритме использовались по лифтинг-схеме предварительно улучшенные в среде MATLAB биортогональные вейвлеты LS-bior2.6 и LS-cdf2.6. Эффективность алгоритма была оценена отношением сигнал/шум маркированного изображения и максимальной ошибкой восстановления водяного знака при различных значениях коэффициента внедрения.

Ключевые слова: цифровой водяной знак, лифтинг-схема, биортогональный вейвлет, вейвлет-фильтры разложения и восстановления, аппроксимирующие и детализирующие вейвлет-коэффициенты.

S.G. GOMTSYAN

**MARKING TWO-DIMENSIONAL IMAGES WITH A DIGITAL WATERMARK
USING IMPROVED WAVELETS**

The problems associated with data security, protection of information, copyrights and intellectual property rights, as well as data confidentiality are considered, one of the solutions of which is their marking with a logo. An algorithm has been developed for embedding a digital watermark into a two-dimensional image based on the fast wavelet-transform according to the lifting-scheme, using the method of image fusion with the additive mechanism. The algorithm has used the biorthogonal wavelets LS-bior2.6 and LS-cdf2.6 previously improved in the MATLAB environment according to the lifting-scheme. The efficiency of the algorithm was estimated by the signal-to-noise ratio of the marked image and the maximum error of the watermark restoration at various values of the embedding coefficient.

Keywords: digital watermark, lifting-scheme, biorthogonal wavelet, decomposition and reconstruction wavelet-filters, approximating and detailing wavelet-coefficients.

С.О. СИМОНЯН

**К РЕШЕНИЮ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ
ПАЛИНДРОМНЫХ ЗАДАЧ ТИПА $A(t) \cdot X^*(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$**

Предложены аналитический метод для решения однопараметрических сопряженных аналогов матричных палиндромных задач, представляющий определенный теоретический интерес, а также численно-аналитический метод на его основе для решения научно-практических задач. Основным математическим аппаратом при разработке этих методов послужили дифференциальные преобразования Г.Е. Пухова.

Ключевые слова: однопараметрические сопряженные аналоги матричных палиндромных задач, аналитический метод решения, дифференциальные преобразования, численно-аналитический метод решения, современные информационные технологии.

Введение. В работе [1] предложены методы решения однопараметрических матричных палиндромных задач типа

$$\underset{m \times m}{A(t)} \cdot \underset{m \times m}{X(t)} + \underset{m \times m}{X(t)} \cdot \underset{m \times m}{A(t)} = \underset{m \times m}{0}, \quad (1)$$

а в работе [2] – методы решения однопараметрических транспонированных аналогов матричных палиндромных задач, т.е. задач типа

$$\underset{m \times m}{A(t)} \cdot \underset{m \times m}{X^T(t)} + \underset{m \times m}{X(t)} \cdot \underset{m \times m}{A(t)} = \underset{m \times m}{0}. \quad (2)$$

Настоящая работа посвящена разработке методов решения однопараметрических сопряженных аналогов матричных палиндромных задач, т.е. задач типа

$$\underset{m \times m}{A(t)} \cdot \underset{m \times m}{X^*(t)} + \underset{m \times m}{X(t)} \cdot \underset{m \times m}{A(t)} = \underset{m \times m}{0}. \quad (3)$$

Математический аппарат**1. Редукция задачи**

Из соотношения (3) при $\det A(t) \neq 0 \Leftrightarrow \exists A^{-1}(t)$ имеем

$$X(t) = -A(t) \cdot X^*(t) \cdot A^{-1}(t),$$

откуда

$$X^*(t) = -[A(t) \cdot X^*(t) \cdot A^{-1}(t)]^* = -[A^*(t)]^{-1} \cdot X(t) \cdot A^*(t). \quad (4)$$

С другой стороны, из того же соотношения (3) следует, что

$$X^*(t) = -A^{-1}(t) \cdot X(t) \cdot A(t). \quad (5)$$

Далее, сопоставление (4) и (5) приводит к следующему выражению:

$$A^{-1}(t) \cdot X(t) \cdot A(t) = [A^*(t)]^{-1} \cdot X(t) \cdot A^*(t). \quad (6)$$

Теперь, умножив (6) на $A(t)$ слева и на $[A^*(t)]^{-1}$ – справа, получим

$$X(t) \cdot A(t) \cdot [A^*(t)]^{-1} = A(t) \cdot [A^*(t)]^{-1} \cdot X(t). \quad (7)$$

Далее, обозначив через

$$C(t) = A(t) \cdot [A^*(t)]^{-1}, \quad (8)$$

из (7) следует представление

$$C(t) \cdot X(t) - X(t) \cdot C(t) = 0, \quad (9)$$

по виду полностью совпадающее с соотношением (8) из работы [1].

Таким образом, в результате редукции - эквивалентных преобразований однопараметрического сопряженного аналога матричной палиндромной задачи (3), приходим к задаче с искомой неизвестной матрицей $X(t)$, перестановочной с матрицей $C(t)$. Однако, очевидно, определение матрицы $C(t)$ в соответствии с (8) связано с большими вычислительными затруднениями. Поэтому представим возможный численно-аналитический метод определения ее аппроксимирующего эквивалента на основе использования дифференциальных преобразований [3].

2. Определение матрицы $C(t)$

При условии $\det A^*(t) \neq 0 \Leftrightarrow \exists [A^*(t)]^{-1}$ из соотношения (8) имеем

$$C(t) \cdot A^*(t) = A(t). \quad (10)$$

Далее, предположим, что существуют дифференциальные преобразования

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K A(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad A(t) = \alpha_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (11)$$

$$C(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K C(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad C(t) = \alpha_2(t, t_v, H, C(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (12)$$

где $A(K)$ и $C(K)$ – матричные дискреты матриц $A(t)$ и $C(t)$ соответственно; $K = \overline{0, \infty}$ - целочисленный аргумент; H – масштабный коэффициент; t_v - центр

аппроксимации; символ $\overline{\cdot}$ - знак перехода из области оригиналов в область дифференциальных изображений и наоборот; $\mathfrak{x}_1(\cdot)$ и $\mathfrak{x}_2(\cdot)$ – некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы $A(t)$ и $C(t)$ соответственно.

Теперь (10) из области оригиналов переведем в область дифференциальных изображений. При этом в соответствии с алгеброй дифференциальных преобразований будем иметь спектральное представление

$$\sum_{l=0}^K C(l) \cdot A^*(K-l) = A(K), K = \overline{0, \infty}. \quad (13)$$

Тогда из (14) имеем:

при $K=0$:

$$C(0) \cdot A^*(0) = A(0),$$

откуда

$$C(0) = A(0) \cdot [A^*(0)]^{-1}, \text{ если } \det A^*(0) \neq 0; \quad (14)$$

при $K=1$:

$$C(0) \cdot A^*(1) + C(1) \cdot A^*(0) = A(1),$$

откуда

$$C(1) = [A(1) - C(0) \cdot A^*(1)] \cdot [A^*(0)]^{-1}; \quad (15)$$

при $K=2$:

$$C(0) \cdot A^*(2) + C(1) \cdot A^*(1) + C(2) \cdot A^*(0) = A(2),$$

откуда

$$C(2) = [A(2) - C(0) \cdot A^*(2) - C(1) \cdot A^*(1)] \cdot [A^*(0)]^{-1}; \quad (16)$$

при $K=3$:

$$C(0) \cdot A^*(3) + C(1) \cdot A^*(2) + C(2) \cdot A^*(1) + C(3) \cdot A^*(0) = A(3),$$

откуда

$$C(3) = [A(3) - C(0) \cdot A^*(3) - C(1) \cdot A^*(2) - C(2) \cdot A^*(1)] \cdot [A^*(0)]^{-1}; \quad (17)$$

...

при K :

$$C(0) \cdot A^*(K) + C(1) \cdot A^*(K-1) + \dots + C(K-1) \cdot A^*(1) + C(K) \cdot A^*(0) = A(K),$$

откуда

$$C(K) = [A(K) - \sum_{l=0}^{K-1} C(l) \cdot A^*(K-l)] \cdot [A^*(0)]^{-1}. \quad (18)$$

Итак, вычислив матричные дискреты (14)-(18), в соответствии с правой частью (12) можно восстановить матрицу $C(t)$. В частности, при дифференциально-тейлоровских преобразованиях и $H=I$ будем иметь аппроксимирующий эквивалент матрицы (8) в виде представления

$$C(t) = \sum_{l=0}^K C(K) \cdot (t - t_v)^l. \quad (19)$$

3. Определение аналитических решений $X(t)$

Используя аппарат кронекеровых произведений матриц [4], матричное уравнение (9) представим в виде

$$[c(t) \otimes E^T - E \otimes c^T(t)]_{m^2 \times m^2} \cdot X^{\wedge}(t)_{m^2 \times 1} = \hat{0}_{m^2 \times 1} \quad (20)$$

или

$$G(t) \cdot X^{\wedge}(t) = \hat{0}, \quad (21)$$

где $G(t)$ – гиперматрица порядка m^2 ; $X^{\wedge}(t)$ – гипервектор

$$X^{\wedge}(t) = (x_{11}(t), \dots, x_{1m}(t); x_{21}(t), \dots, x_{2m}(t); \dots; x_{m1}(t), \dots, x_{mm}(t))^T \quad (22)$$

с размерами $m^2 \times 1$, порожденный матрицей

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_{11}(t) & x_{12}(t) & \dots & x_{1m}(t) \\ x_{21}(t) & x_{22}(t) & \dots & x_{2m}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}(t) & x_{m2}(t) & \dots & x_{mm}(t) \end{bmatrix} \quad (23)$$

порядка m ; $E \equiv E^T$ – единичная матрица того же порядка, а символ $\otimes$ - знак кронекерова произведения матриц.

Из гиперматрично-гипервекторного однородного матричного уравнения (21) следуют условия

$$a) X^{\wedge}(t) = 0, \text{ если } \det G(t) = 0; \quad (24 \text{ а})$$

$$б) X^{\wedge}(t) = 0, \text{ если } \det G(t) \neq 0; \quad (24 \text{ б})$$

$$\text{в) } \hat{X}(t) \neq 0, \text{ если } \det G(t) = 0, \quad (24 \text{ в})$$

первые два из которых из-за тривиальности решений не представляют практического интереса, а третье обуславливает последовательное выполнение следующих операций для нахождения нетривиального решения $\hat{X}(t) \neq 0$:

- определение гиперматрицы $G(t)$;
- определение $\det G(t)$;
- составление уравнения $\det G(t) = 0$,
- определение корней этого уравнения $t_1, t_2, \dots, t_p$, где p – некоторое число, указывающее на количество этих корней.

Определение. Изолированные точки $t_1, t_2, \dots, t_p$ назовем сингулярными, т.к. в этих точках определители гиперматриц $G(t_i), i = \overline{1, p}$ равны нулю.

Замечание 1. Задача (3) (или (9)) имеет p ненулевых решений ($\hat{X}(t_i) \neq 0, i = \overline{1, p}$) на конечном множестве Ω сингулярных точек $t_1, t_2, \dots, t_p$ кронекеровой гиперматрицы $G(t)$, если $\Omega \neq \emptyset$, и не имеет ни одного ненулевого решения ($\hat{X}(t_i) = 0, i = \overline{1, p}$), если $\Omega = \emptyset$.

- определение числовых гиперматриц $G(t_i), i = \overline{1, p}$;
- определение числовых гипервекторов $\hat{X}(t_i), i = \overline{1, p}$ с учетом рангов $m^2 - r_i$ (где $0 < r_i \leq m^2$) гиперматриц $G(t_i), i = \overline{1, p}$, при которых можно произвольно выбрать $r_i, i = \overline{1, p}$ компонентов гипервектора $\hat{X}(t_i), i = \overline{1, p}$, а остальные $m^2 - r_i$ компонентов определять с точностью до этих выбранных значений;
- составление числовых матриц $X(t_i), i = \overline{1, p}$ решений исходной задачи в изолированных сингулярных точках $t_i, i = \overline{1, p}$;
- осуществление матричного аппроксимационного синтеза решения $X(t)$ с использованием числовых матриц $X(t_i), i = \overline{1, p}$ на основе методов теории аппроксимации [5].

Замечание 2. Для определения детерминанта кронекеровой гиперматрицы $G(t)$ можно использовать результаты, полученные в работе [6].

Замечание 3. Для решения уравнения (24в) можно использовать результаты, полученные в работе [7].

4. Определение численно-аналитических решений $X(t)$

Теперь перейдем к численно-аналитическому решению задачи (9), полагая, что существуют дифференциальные преобразования

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K X(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \in \mathfrak{A}_j(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (25)$$

иными словами - матричные дискреты

$$X(K) = \begin{bmatrix} X_{11}(K) & X_{12}(K) & \cdots & X_{1m}(K) \\ X_{21}(K) & X_{22}(K) & \cdots & X_{2m}(K) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1}(K) & X_{m2}(K) & \cdots & X_{mm}(K) \end{bmatrix}, K = \overline{0, \infty}, \quad (26)$$

порожденные матрицей (23) в соответствии с левой частью соотношения (25).

Итак, гиперматричное уравнение (9) из области оригиналов переведем в область дифференциальных изображений. При этом получим спектральное представление

$$\sum_{l=0}^k C(l) \cdot X(K-l) - \sum_{l=0}^k X(l) \cdot A(K-l) = 0, K = \overline{0, \infty}, \quad (27)$$

откуда:

при $K=0$:

$$C(0) \cdot X(0) - X(0) \cdot C(0) = 0, \quad (28)$$

откуда

$$[C(0) \otimes E^T - E \otimes C^T(0)] \cdot \hat{X}(0) = \hat{0} \quad (29)$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(0) = \hat{0}. \quad (30)$$

Из последнего гиперматрично-гипервекторного уравнения следуют условия

$$\text{а) } \hat{X}(0) = \hat{0}, \text{ если } \det G(0) = 0; \quad (31 \text{ а})$$

$$\text{б) } \hat{X}(0) = \hat{0}, \text{ если } \det G(0) \neq 0; \quad (31 \text{ б})$$

$$\text{в) } \hat{X}(0) \neq \hat{0}, \text{ если } \det G(0) = 0, \quad (31 \text{ в})$$

первые два из которых не представляют практического интереса из-за тривиальности решений, а третье представляет возможность определения нетривиальных решений. Действительно, если

$$\text{rang} G(0) = m^2 - r \quad (32)$$

(где $0 < r \leq m^2$), то при этом можно произвольно выбрать r компонентов гипервектора $\hat{X}(0)$, а остальные $m^2 - r$ компонентов определять с точностью до этих выбранных значений. Тогда, естественно, в качестве центров аппроксимации должны выступать сингулярные точки $t_1, t_2, \dots, t_p$, при которых могут быть определены гипервекторные дискреты $\hat{X}(0) \neq 0, \hat{X}(1), \hat{X}(2)$ и т.д.

Итак, с учетом (31в) и (32) имеем:

при $K=1$:

$$C(1) \cdot X(0) + C(0) \cdot X(1) = X(1) \cdot C(0) + X(0) \cdot C(1),$$

откуда

$$[C(0) \otimes E^T - E \otimes C^T(0)] \cdot \hat{X}(1) = -[C(1) \otimes E^T - E \otimes C^T(1)] \cdot \hat{X}(0),$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(1) = -G(1) \cdot \hat{X}(0),$$

откуда

$$\hat{X}(1) = -G^+(0) \cdot G(1) \cdot \hat{X}(0); \quad (33)$$

при $K=2$:

$$C(2) \cdot X(0) + C(1) \cdot X(1) + C(0) \cdot X(2) = X(2) \cdot C(0) + X(1) \cdot C(1) + X(0) \cdot C(2),$$

откуда

$$\begin{aligned} [C(0) \otimes E^T - E \otimes C^T(0)] \cdot \hat{X}(2) = & -[C(1) \otimes E^T - E \otimes C^T(1)] \cdot \hat{X}(1) - \\ & -[C(2) \otimes E^T - E \otimes C^T(2)] \cdot \hat{X}(0), \end{aligned}$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(2) = -G(1) \cdot \hat{X}(1) - G(2) \cdot \hat{X}(0),$$

откуда

$$\hat{X}(2) = -G^+(0) \cdot [G(1) \cdot \hat{X}(1) + G(2) \cdot \hat{X}(0)]; \quad (34)$$

при $K=3$:

$$C(3) \cdot X(0) + C(2) \cdot X(1) + C(1) \cdot X(2) + C(0) \cdot X(3) = X(3) \cdot C(0) + X(2) \cdot C(1) + \\ + X(1) \cdot C(2) + X(0) \cdot C(3),$$

откуда

$$[C(0) \otimes E^T - E \otimes C^T(0)] \cdot \hat{X}(3) = -[C(1) \otimes E^T - E \otimes C^T(1)] \cdot \hat{X}(2) - \\ - [C(2) \otimes E^T - E \otimes C^T(2)] \cdot \hat{X}(1) - [C(3) \otimes E^T - E \otimes C^T(3)] \cdot \hat{X}(0),$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(3) = -G(1) \cdot \hat{X}(2) - G(2) \cdot \hat{X}(1) - G(3) \cdot \hat{X}(0),$$

откуда

$$\hat{X}(3) = -G(0)^+ \cdot [G(1) \cdot \hat{X}(2) + G(2) \cdot \hat{X}(1) + G(3) \cdot \hat{X}(0)]; \quad (35)$$

...

при $K=K$:

$$C(K) \cdot X(0) + C(K-1) \cdot X(1) + \dots + C(1) \cdot X(K-1) + C(0) \cdot X(K) = \\ = X(K) \cdot C(0) + X(K-1) \cdot C(1) + \dots + X(1) \cdot C(K-1) + X(0) \cdot C(K),$$

откуда

$$[C(0) \otimes E^T - E \otimes C^T(0)] \cdot \hat{X}(K) = -[C(1) \otimes E^T - E \otimes C^T(1)] \cdot \hat{X}(K-1) - \dots - \\ - [C(K) \otimes E^T - E \otimes C^T(K)] \cdot \hat{X}(0),$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(K) = -\sum_{l=1}^K G(l) \cdot \hat{X}(K-l),$$

откуда

$$\hat{X}(K) = -G(0)^+ \cdot \sum_{l=1}^K G(l) \cdot \hat{X}(K-l). \quad (36)$$

Итак, имея матричные дискреты (31в), (33), (34) - (36), в соответствии с правой частью (25) можно восстановить матрицы $X(t)_\nu, \nu = \overline{l, p}$. В частности, при дифференциально-тейлоровских преобразованиях [3] имеем

$$X(t)_\nu = -\sum_{l=0}^K X(K)_\nu \cdot (t-t_\nu)^l, \quad \nu = \overline{l, p}. \quad (37)$$

Замечание 4. Таким образом, в общем случае преобразованная и эквивалентная к исходной задаче (3) однопараметрическая матричная палиндромная задача (9) будет обладать решениями с соответствующими точностями в зависимости от количеств $K+1$ слагаемых в соотношениях типа (37). К тому же, при фиксированном центре аппроксимации $t_\nu, \nu \in \overline{1, p}$, в зависимости от выбора произвольных r компонент вектора $\hat{X}(0)_\nu, \nu \in \overline{1, p}$, может быть получено бесчисленное множество решений $\hat{X}(t)_\nu, \nu \in \overline{1, p}$. Следовательно, в результате организации численных процедур по определению решений задачи (3) в соответствии с численно-аналитическим методом в общем случае приходим к бесчисленному множеству решений $\hat{X}(t)_\nu, \nu \in \overline{1, p}$.

Замечание 5. При линейных по параметру t элементах матриц $C(t)$, очевидно, следует, что

$$G(K) \equiv 0, K \geq \overline{2, \infty}. \quad (38)$$

Следовательно, при этом соотношения по определению гипервекторных дискрет (33)-(36) вырождаются и приобретают вид

$$\begin{cases} \hat{X}(1) = -G^+(0) \cdot G(1) \cdot \hat{X}(0), \\ \hat{X}(2) = -G^+(0) \cdot G(1) \cdot \hat{X}(1), \\ \hat{X}(3) = -G^+(0) \cdot G(1) \cdot \hat{X}(2), \\ \dots\dots\dots \\ \hat{X}(K) = -G^+(0) \cdot G(1) \cdot \hat{X}(K-1), \end{cases} \quad (39)$$

откуда имеем

$$\hat{X}(K) = [-G^+(0) \cdot G(1)]^K \cdot \hat{X}(0), K \geq \overline{1, \infty}. \quad (40)$$

Дальнейшие процедуры по составлению матричных дискретов $\hat{X}(K)_\nu, K = \overline{0, \infty}, \nu \in \overline{1, p}$ и восстановлению матричных решений $\hat{X}(t)_\nu, \nu \in \overline{1, p}$ не представляют трудности.

Заключение. Таким образом, для решения однопараметрической матричной палиндромной задачи типа (3) предложен численно-аналитический метод, представляющий определенный научно-практический интерес и сравнительно легко реализуемый средствами современных информационных технологий [8, 9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О.** К решению однопараметрических матричных палиндромных задач типа $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$ // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - 2019. - Т. LXXII, №3. - С. 418-428.
2. **Симонян С.О.** К решению однопараметрических матричных палиндромных задач типа $A(t) \cdot X^T(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$ // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2019.- №2.- С. 28-34.
3. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений.- Киев: Наукова думка, 1990.- 419 с.
4. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц.- М.: Наука, 2010.- 560 с.
5. **Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.** Численные методы.- М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.- 632с.
6. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Вычисление определителей неавтономных матриц на основе ДТ-формализма // Известия НАН РА и ГИУА. Серия Техн. наук.- 1999.- Т. 52, №1.- С. 88-94.
7. **Симонян С.О.** Прикладные аспекты применения ДТ-преобразований при построении траекторий равновесных состояний динамических систем // Электронное моделирование.- 1993.- Т. 15, №2.- С. 58-65.
8. **Joshua Bloch.** Effective Java (3rd Edition). - Addisou-Wesley Professional, 2017.- 414p.
9. **Stormy Attaway.** Matlab: A practical Introduction to Programming and Problem Solving (3rd Edition). - Butterworth-Heinemann, 2013.- 560p.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 21.04.2020.

Մ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

A(t)·X*(t)+ X(t)·A(t)=0 ՏԻՊԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՊԱԼԻՆԴՐՈՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Առաջարկվել է միապարամետրական մատրիցային պալինդրոմային խնդիրների համալուծ նմանակների լուծման անալիտիկ մեթոդ, որը ներկայացնում է որոշակի տեսական հետաքրքրություն, ինչպես նաև նրա հիման վրա՝ թվա-անալիտիկ մեթոդ՝ գիտա-գործնական խնդիրների լուծման համար: Այդ մեթոդների մշակման ժամանակ որպես հիմնական մաթեմատիկական ապարատ են ծառայել Գ.Ե. Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունները:

Առանցքային բառեր. միապարամետրական մատրիցային պալինդրոմային խնդիրների համալուծ նմանակներ, լուծման անալիտիկ մեթոդ, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, լուծման թվա-անալիտիկ մեթոդ, ժամանակակից տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ:

S.H. SIMONYAN

**THE SOLUTION OF ONE-PARAMETRIC MATRIX PALINDROMIC PROBLEMS
OF THE TYPE $A(t) \cdot X^*(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$**

An analytical method for solving one-parameter conjugate analogues of matrix palindromic problems of certain theoretical interest, as well as a numerical-analytical method based on it for solving scientific and practical problems is proposed. The main mathematical apparatus in the development of these methods are the differential transformations of G.E. Pukhov.

Keywords: one-parameter conjugate analogues of matrix palindromic problems, analytical method of solution, differential transformations, numerical-analytical method of solution, modern information technologies.

Т.Р. МЕЛКОНЯН, Г.С. СУКИАСЯН

**КУСОЧНО-ЛИНЕЙНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ДВУМЕРНОЙ
ФУНКЦИИ МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ХУДШЕГО ОТРЕЗКА**

Предложен алгоритм автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации двумерной непрерывной функции с переменной сеткой. Алгоритм минимизирует погрешность аппроксимации при заданном числе сеточных узлов. Разработанный подход апробирован на модели двумерной параболической функции.

Ключевые слова: кусочно-линейная аппроксимация, переменная сетка, триангуляция Делоне.

Введение. При численном решении двумерных нелинейных задач математической физики часто применяют метод конечных элементов, который предполагает, что исследуемая область разделена на мелкие подобласти (элементы), внутри которых искомая функция полагается линейной. Таким образом, искомая функция аппроксимируется кусочно-линейной функцией, ее график состоит из треугольников, проекции которых на плоскость OXY составляют треугольную сетку.

В последние годы часто применяют сетки с переменным числом узлов (см. [1]), т.е. процесс последовательных приближений распространяется не только на аппроксимируемую функцию, но и на соответствующую сетку. При этом дополнительные узлы последовательно добавляются в участках исследуемой области, наихудших в смысле погрешности аппроксимации. Таким образом, сетка последовательно улучшается и минимизируется погрешность аппроксимации.

В [2] был предложен алгоритм автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации с неравномерной решеткой для одномерной функции. Алгоритм минимизировал погрешность аппроксимации при заданном числе точек решетки и был основан на принципе деления наихудшего отрезка. В [3] одномерный алгоритм, предложенный в [2], был обобщен для двумерного случая. Однако алгоритм, предложенный в [3], не был рекурсивным.

Рекурсивные алгоритмы. Алгоритм называется рекурсивным, если каждый последующий шаг не приводит к изменениям параметров, полученных ранее. Рекурсивные алгоритмы удобны для приложений, так как они легко программируются с помощью операторов цикла.

В задаче построения сетки с переменным числом узлов алгоритм будет рекурсивным, если добавление каждого нового узла оставляет на месте старые узлы и связи между ними. Одномерную равномерную решетку невозможно построить с помощью рекурсивного алгоритма, так как при добавлении нового узла все старые узлы решетки смещаются. Алгоритм автоматизированного построения одномерной кусочно-линейной аппроксимации с неравномерной решеткой, предложенный в [2], является рекурсивным.

В настоящей работе предложен рекурсивный алгоритм автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации двумерной непрерывной функции методом деления худшего отрезка. Изучен также улучшенный (но не рекурсивный) алгоритм автоматизированного построения двумерной кусочно-линейной аппроксимации методом деления худшего отрезка, который можно назвать полурекурсивным, так как добавление каждого нового узла оставляет на месте все старые узлы и почти все старые связи между узлами.

Треугольные сетки. Напомним определение треугольной сетки и триангуляции Делоне (см. [4]). Пусть на плоскости задано конечное множество точек $M_k = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$. Множество треугольников $\{T_j\}$ называется треугольной сеткой с вершинами M_k , если выполнены следующие три условия:

- 1) внутренности треугольников попарно не пересекаются;
- 2) вершины всех треугольников принадлежат M_k ;
- 3) объединение треугольников заполняет выпуклую оболочку точек M_k .

Если к тому же выполнено следующее условие, а именно:

- 4) для каждого T_j внутри описанного круга нет ни одной точки из M_k ,
- то такая треугольная сетка называется триангуляцией Делоне с узлами M_k .

Сетку Делоне с системой узлов M_k обозначим через $D(M_k)$. В [4] доказано, что для любого конечного множества точек M_k можно построить сетку $D(M_k)$ (иногда не единственным образом).

Метод деления худшего отрезка. Пусть на плоскости задана двумерная непрерывная функция $F(x, y)$, областью определения которой является прямоугольник $[a, b] \times [c, d]$. Наша цель - построить рекурсивный алгоритм автоматизированного построения кусочно-линейного приближения к функции $F(x, y)$. Вначале рассмотрим следующий рекурсивный алгоритм построения последовательности узлов $M_k = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ и соответствующей сетки S_k .

На прямоугольнике $[a, b] \times [c, d]$ рассмотрим первичное множество узлов M_4 , состоящее из 4-ех вершин: $P_1=(a, c)$, $P_2=(b, c)$, $P_3=(b, d)$, $P_4=(a, d)$, и первичную сетку S_4 , состоящую из двух треугольников: $\Delta P_1 P_2 P_4$ и $\Delta P_2 P_3 P_4$ (см. рис. 1).

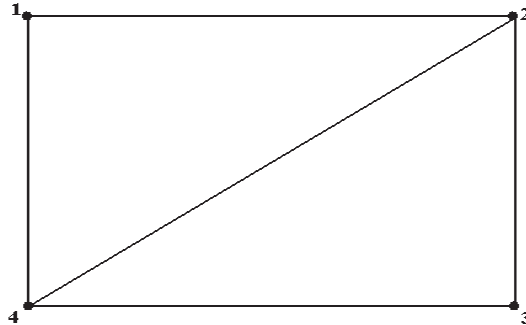


Рис. 1. Первичная сетка S_4

Отметим, что сетка S_4 является сеткой Делоне с четырьмя узлами $P_1, \dots, P_4$, т.е. $S_4 = D(M_4)$.

Предположим, что множество узлов $M_{k-1} = \{P_1, P_2, \dots, P_{k-1}\}$ и соответствующая сетка треугольников S_{k-1} уже построены. Построим очередную точку P_k следующим образом.

Два узла P_i и P_j называем соседними и обозначаем $P_i \sim P_j$, если они являются концами стороны какого-нибудь треугольника сетки. У первичной сетки S_4 все пары узлов являются соседними, кроме пары P_1 и P_3 .

Пары соседних узлов сетки называем ребрами сетки. Обозначим через $R(S_{k-1})$ множество всех ребер сетки S_{k-1} , т.е.

$$R(S_{k-1}) = \{(P_i, P_j) : P_i \sim P_j\}.$$

Для каждого ребра из $R(S_{k-1})$ с вершинами P_i, P_j вычисляются значения разностей $|z_i - z_j|$, где $z_i = F(x_i, y_i)$, $z_j = F(x_j, y_j)$, а (x_i, y_i) , (x_j, y_j) – декартовы координаты вершин P_i и P_j соответственно.

Назовем наихудшим то ребро r_k из $R(S_{k-1})$, которое дает максимальную разность значений $|z_i - z_j|$. В середине этого ребра добавим новый узел – это и есть искомый узел P_k .

Определим, какие новые ребра появятся у сетки S_k при добавлении новой вершины P_k . Обозначим через $\text{conv}(M_k)$ выпуклую оболочку точек M_k . Возможны два случая:

1) новый узел P_k принадлежит внутренности оболочки $\text{conv}(M_k)$. Такой узел называем внутренним, а ребро r_k – диагональным. В этом случае при добавлении новой вершины возникают два новых ребра (см. рис. 2);

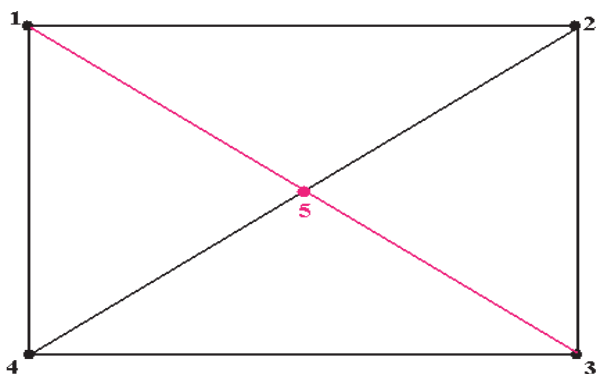


Рис. 2. Случай внутреннего нового узла, худший отрезок - P_2P_4

2) новый узел P_k лежит на границе оболочки $\text{conv}(M_k)$. Такой узел называем краевым, а ребро r_k – граничным. В этом случае при добавлении новой вершины возникает одно новое ребро (см. рис. 3).

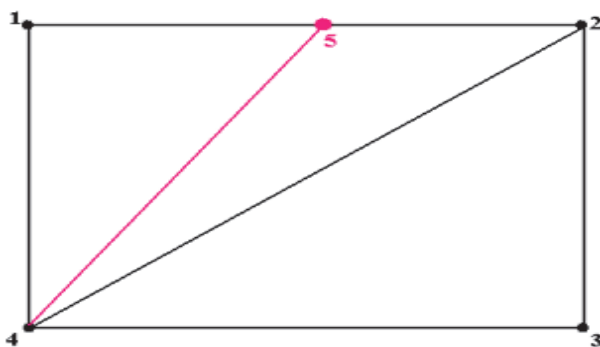


Рис. 3. Случай краевого нового узла, худший отрезок - P_1P_2

Будем продолжать добавлять узлы делением пополам ребра P_i, P_j , соответствующего наибольшему из значений разностей $|z_i - z_j|$, до тех пор, пока количество узлов не достигнет заданного значения n .

Отметим, что сетка, получающаяся в результате применения предложенного рекурсивного алгоритма, необязательно будет триангуляцией Делоне – это зависит от вида приближаемой функции $F(x,y)$. Так, сетка на рис. 2 является триангуляцией Делоне, в то время как сетка на рис. 3 – не является триангуляцией Делоне.

Имея треугольную сетку S_n , построим приближение $F_n(x,y)$ к функции $F(x,y)$ следующим образом. Приближение $F_n(x,y)$ является кусочно-линейной функцией, ее график состоит из плоских треугольников, проекции которых на плоскость OXY составляют треугольную сетку S_n с системой узлов M_n . Заметим, что число узлов этой сетки равно фиксированному числу n .

Обозначим через E_n погрешность аппроксимации F_n :

$$E_n = \max_{\{a < x < b, c < y < d\}} |F(x,y) - F_n(x,y)|.$$

Погрешность E_n можно оценить при помощи наибольшей разности E_{S_n} значений функции $F(x,y)$ в узлах сетки S_n :

$$E_{S_n} = \max \{p_i \sim p_j \mid |z_i - z_j|,$$

где $z_i = F(x_i, y_i)$, а максимум берется по всем парам соседних узлов сетки S_n .

Разумеется, погрешность E_n зависит не только от вида функции $F(x,y)$, но и от выбора точечного множества M_n . Наша цель – построить для данной функции $F(x,y)$ и заданного числа узлов n точечное множество M_n так, чтобы погрешность E_n была как можно меньше.

Легко видеть, что для предложенного алгоритма последовательность E_{S_n} монотонно убывает с ростом числа узлов n . Так как для гладких функций $F(x,y)$ при достаточно больших n имеем $E \sim E_{S_n}$, то предложенный алгоритм приводит к погрешности аппроксимации E_n , стремящейся к нулю.

Полурекурсивный алгоритм. Теперь видоизменим предложенный рекурсивный алгоритм автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации двумерной непрерывной функции методом деления худшего отрезка, разрешив операцию “флип”, если она применима.

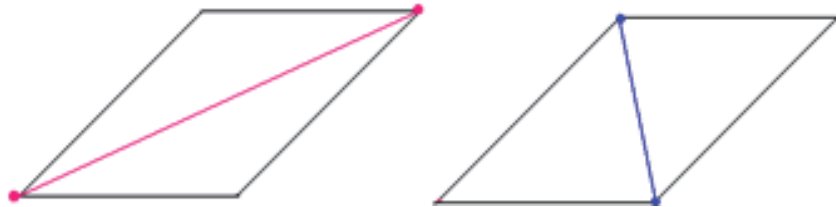


Рис. 4. Операция “флип”: длинная диагональ заменяется на более короткую

Замена в четырехугольнике более длинной диагонали на более короткую называется операцией “флип” (рис. 4). В сетке на рис. 2 нет четверки узлов, для которых применима операция “флип”, в то время как в сетке на рис. 3 есть одна такая четверка узлов – это узлы $P_2P_3P_4P_5$. Применив к этой четверке узлов операцию “флип”, получим триангуляцию, показанную на рис. 5. Здесь старое ребро P_2P_4 заменено на более короткое P_3P_5 .

Видоизмененный алгоритм автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации двумерной функции методом деления худшего отрезка с добавлением операции “флип” можно назвать полурекурсивным, так как добавление каждого нового узла оставляет на месте все старые узлы и почти все старые ребра, кроме, может быть, одного.

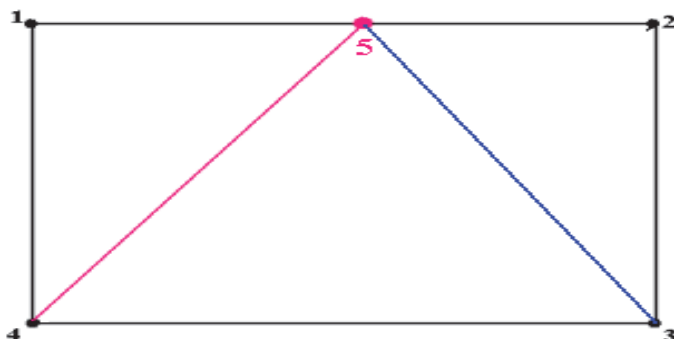


Рис. 5. Сетка из рис. 3 после применения операции “флип”

Легко видеть, что у сетки, получающейся в результате работы полурекурсивного алгоритма с добавлением операции “флип”, длина наибольшего ребра меньше, чем у такой же сетки, получающейся в результате работы рекурсивного алгоритма без операции “флип”. Так как для гладких функций $F(x,y)$ погрешность аппроксимации E_n уменьшается с уменьшением длины наибольшего ребра, то получаем следующее утверждение.

Утверждение 1. Погрешность аппроксимации E_n , получающаяся в результате работы полурекурсивного алгоритма автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации двумерной функции методом деления худшего отрезка с добавлением операции “флип”, с возрастанием числа узлов n стремится к нулю быстрее, чем погрешность, получающаяся в результате работы рекурсивного алгоритма без операции “флип”.

В [5] показано, что операция “флип” уменьшает сумму котангенсов внутренних углов треугольной сетки. Также доказано, что триангуляция Делоне минимизирует сумму котангенсов внутренних углов сетки. Отсюда получаем следующее утверждение.

Утверждение 2. Для любой аппроксимируемой функции $F(x,y)$ и любого числа вершин n сетка, получающаяся в результате работы полурекурсивного алгоритма построения кусочно-линейной аппроксимации методом деления худшего отрезка с добавлением операции “флип”, является триангуляцией Делоне.

Численные результаты. На рис. 6 представлен пример работы рекурсивного алгоритма (без операции “флип”) построения кусочно-линейной аппроксимации методом деления худшего отрезка для параболической функции $F(x,y) = 0,457x^2 + 0,382y^2$ на прямоугольнике $[a,b] \times [c,d]$, причем $a=0$, $b=6$, $c=0$, $d=6$. Число узлов n равно 100.

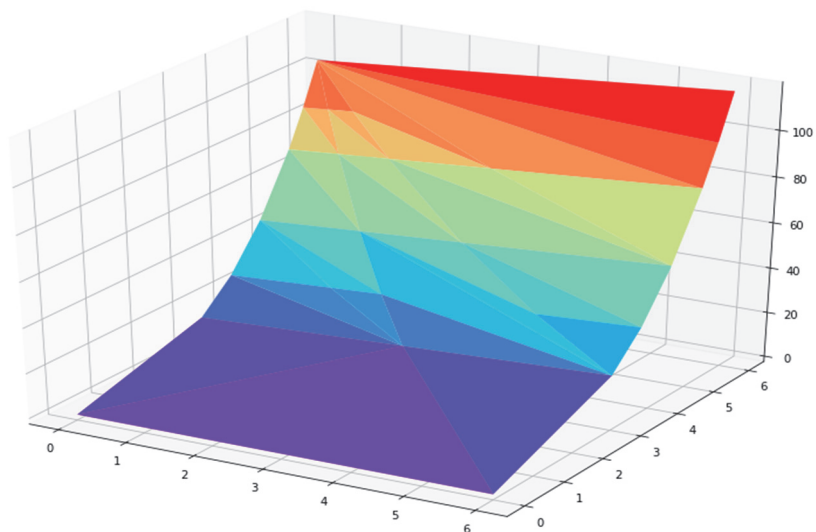


Рис. 6. Пример кусочно-линейной аппроксимации рекурсивным алгоритмом

На рис. 7 представлен пример работы уже полурекурсивного алгоритма построения кусочно-линейной аппроксимации методом деления худшего отрезка для той же параболической функции тем же методом, но уже с операцией “флип”.

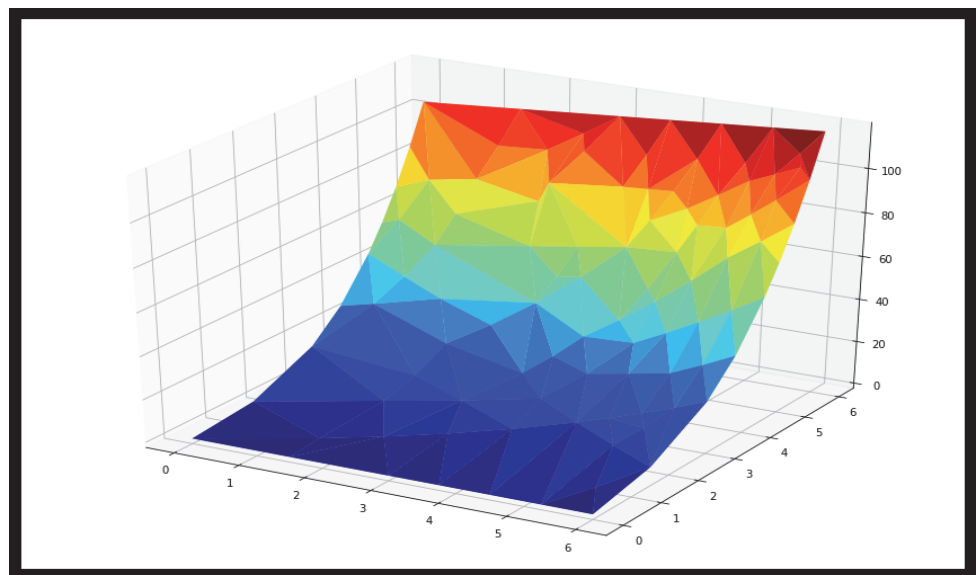


Рис. 7. Пример кусочно-линейной аппроксимации полурекурсивным алгоритмом

На рис. 8а представлена треугольная сетка, получающаяся предложенным рекурсивным алгоритмом (без операции “флип”) при автоматизированном

построении кусочно-линейной аппроксимации указанной двумерной непрерывной функции методом деления худшего отрезка.

На рис. 8б представлена треугольная сетка, получающаяся в результате работы предложенного полурекурсивного алгоритма с операцией “флип” для той же параболической функции и тем же методом деления худшего отрезка.

Наглядно видно, что интенсивность сеточных узлов в разных участках двумерной сетки существенно разная. Четко соблюдается условие: густота сеточных узлов тем больше, чем сильнее меняется функция.

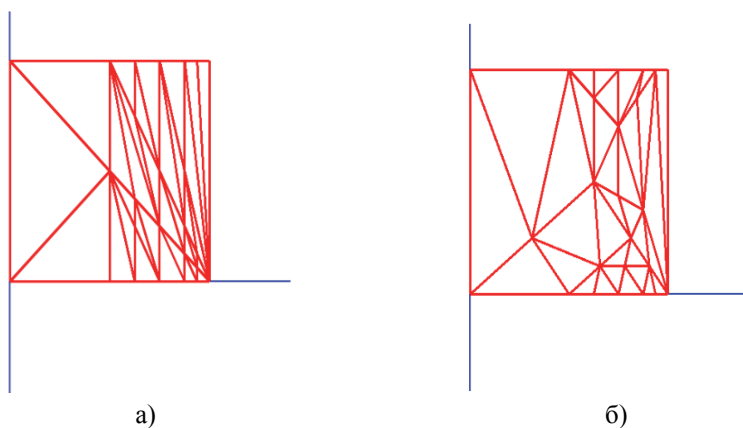


Рис. 8. Соответствующие треугольные сетки, полученные в результате работы предложенного алгоритма: а- без операции “флип”, б- с операцией “флип”

Хорошо видно, что на левой стороне сетки, где функция $F(x,y)$ медленно меняется, густота сеточных узлов относительно невелика. А на правой стороне сетки, где наблюдается быстрое изменение функции, интенсивность сеточных узлов возрастает, и треугольники становятся мелкими.

Визуально видно, что треугольники на рис. 8б удовлетворяют условию Делоне и распределены более равномерно, чем треугольники на рис. 8а.

Заключение. Развиты и реализованы рекурсивные и полурекурсивные алгоритмы автоматизированного построения кусочно-линейной аппроксимации двумерных функций методом деления худшего отрезка. Показано, что сетка, получающаяся в результате работы полурекурсивного алгоритма, всегда является триангуляцией Делоне.

Развитый подход реализован на модельной задаче аппроксимации двумерной параболической функции.

Работа выполнена в базовой научно-исследовательской лаборатории “Автоматизированные системы и моделирование” Национального политехнического университета Армении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е.** О расчете магнитных полей методом конечных элементов с динамической композицией элементов дискретизации // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2005. - Т. 58, № 2. - С. 332-339.
2. **Еномян К.Р., Алаеи М.Е., Сукиасян Г.С.** Об автоматическом построении кусочно-линейной аппроксимации с нерегулярной решеткой // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - 2017. - Т. 70, № 4. - С. 409-414.
3. **Мелконян Т.Р., Сукиасян Г.С.** О кусочно-линейной аппроксимации двумерной функции с нерегулярной сеткой // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - 2018. - Т. 71, № 1. - С. 80-85.
4. **Делоне Б.Н.** О пустоте сферы // Известия АН СССР. - 1934. - Т. 4. - С. 793-800.
5. **Sukiasyan H.S.** On Extremal Property of the Sum of Cotangents and Its Applications in Mathematical Physics// Lobachevskii Journal of Mathematics. - 2019. - Vol. 40, No. 8. - P. 1137-1140.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 10.01.2020.

S.Ռ. ՄԵԼԻՔՈՆՅԱՆ, Հ.Ս.ՍՈՒԲԻԱՍՅԱՆ

ԵՐԿՉԱՓ ՖՈՒՆԿՑԻԱՅԻ ԿՏՈՐ-ԳԾԱՅԻՆ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄԸ՝ ՎԱՏԱԳՈՒՅՆ ՀԱՏՎԱԾԻ ԿԻՍՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Առաջարկվել է ոչ կանոնավոր ցանցով երկչափ անընդհատ ֆունկցիայի կտոր-գծային մոտարկման ավտոմատ կառուցման ալգորիթմ: Ալգորիթմը նվազեցնում է մոտարկման սխալանքը ցանցային հանգույցների տրված քանակի դեպքում: Զարգացված մոտեցումը կիրառվել է երկչափ պարաբոլային ֆունկցիայի մոդելի վրա:

Առանցքային բառեր. կտոր-գծային մոտարկում, փոփոխվող ցանց, Դելոնեի եռանկյունապատում:

T.R. MELKONYAN, H.S. SUKIASYAN

PIECE-WISE LINEAR APPROXIMATION OF THE TWO-DIMENSIONAL FUNCTION BY THE METHOD OF DIVIDING THE WORST SEGMENT

An algorithm for automatic construction of a piece-wise linear approximation of a two-dimensional continuous function with an irregular mesh is proposed. The algorithm minimizes the approximation error for a given number of mesh nodes. The developed approach is tested on the model of a two-dimensional parabolic function.

Keywords: piece-wise linear approximation, variable grid, Delaunay triangulation.

Т.А. НАЛЧАДЖЯН

ОБ ОБОБЩЕНИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ

Изучается вопрос обобщения детерминированных математических моделей с точки зрения практического внедрения полученных оптимальных решений. Доказывается, что процесс внедрения оптимальных решений в реальных условиях всегда осуществляется с некоторой неопределенностью, в результате чего полученный реальный эффект становится значительно меньше ожидаемого теоретического уровня. Предлагается метод обобщения как линейных, так и нелинейных математических моделей.

Ключевые слова: математические модели, оптимальное управление, неопределенность, обобщение.

Введение. Известно, что основной целью математического моделирования является повышение эффективности существующих и проектируемых процессов и систем в различных отраслях науки и техники. Оптимальное управление исследуемыми процессами и системами должно обеспечить рациональное использование природных, сырьевых, материальных, энергетических, финансовых и трудовых ресурсов. Для достижения этой цели разработано и широко применяется множество методов и подходов оптимального управления.

В большинстве случаев задачи оптимального управления детерминированными процессами решаются относительно легко, так как методы и модели управления ими хорошо изучены. Однако обширный класс процессов характеризуется сложностью и случайным характером параметров управления, т.е. эти процессы являются не детерминированными, а стохастическими.

Большинство существующих методов исследования вероятностных (стохастических) задач рассматривают относительно узкий класс объектов, в которых входные и выходные параметры подчинены нормальному закону распределения. Решениям таких задач посвящена обширная литература.

Еще в 1968 году Я.З. Цыпкин писал, что “счастливые времена детерминизма уже прошли, и наука подошла к периодам стохастичности и адаптации” [1]. Автор справедливо отмечает, что существующие детерминированно-аналитические методы “обычно уводят далеко за пределы реальных задач”. Возникает вопрос: куда и насколько уводят?

Другой видный ученый Д.Б. Юдин в 1974 г., продолжая вышеприведенную мысль Я.З. Цыпкина, пишет: “Предметом стохастического программирования являются условные экстремальные задачи, в которых параметры условий, или составляющие решения, или те и другие являются случайными величинами” [2]. В этих словах кроется часть ответа на вышеуказанный вопрос.

Известно, что при принятии решений в условиях даже частичной неопределенности значительные трудности возникают при постановке задач, в которых наблюдаются тонкие ситуации прогнозирования и управления. В таких ситуациях в качестве цели управления рассматриваются модели не с жесткими, как в детерминированных моделях, а с вероятностными ограничениями. Здесь в качестве цели управления выбирают не экстремальные значения целевой функции, а ее математическое ожидание, что является более реалистическим подходом и обеспечивает физическую реализуемость оптимального управления.

При решении вероятностных задач часто экспериментальным путем определяются законы распределения вероятностей параметров управления, которые стараются подогнать под нормальный закон Гаусса, т.к. большинство существующих методов моделирования обоснованы при условии нормального распределения вероятностей параметров управления.

Но позже А.И. Орлов, с целью построения более адекватных математических моделей, задает вопрос: “Часто ли распределения результатов наблюдений являются нормальными?” [3]. Ответ на этот вопрос отрицательный.

Опыт наших многочисленных экспериментальных исследований тоже подтверждает отрицательность ответа на этот вопрос.

В экономических исследованиях последних лет появились работы, посвященные вариантности экономики и полос неопределенностей [4], в которых считается, что значения экономических показателей не являются постоянными величинами, а находятся внутри жестко заданных полос, внутри которых все значения равновероятны.

Постановка задачи и обобщение математических моделей. Считаем, что неучет реально существующих форм законов распределения управляющих параметров в ближайшем будущем станет причиной затруднения или полного отказа использования оптимизации посредством детерминированных моделей. Даже при практическом применении результатов детерминированной оптимизации часто на практике не обеспечивается получение ожидаемого эффекта, и реально полученные эффекты оказываются значительно меньше теоретически ожидаемой величины. Возникает вопрос: в чем причина такого несоответствия? На наш взгляд, основными причинами являются неучет неопределенностей в виде реальных форм законов распределения параметров управления и, как следствие, неадекватность моделей.

Для обоснования сказанного вспомним из математики: определенный интеграл

$$M[C(X)] = \int_{-\infty}^{\infty} C(X)f(X)dX, \quad (1)$$

где $f(X)$ – дифференциальный закон распределения случайной величины X (вектора), является математическим ожиданием функции $C(X)$. Если же $f(X)$ ограничена слева и/или справа, то численное значение интеграла (1), которое является постоянной величиной, всегда будет меньше $M[C(X)]$.

Замечание. Так как предлагаемый метод обобщения математических моделей всегда сводится к вычислению определенных интегралов типа (1) при всевозможных законах распределения, то часто могут возникнуть затруднения при попытке получить аналитические решения. Следует отметить, что использование современных информационных технологий создает благоприятные условия для решения этой проблемы.

При внедрении результатов оптимизации определенными детерминированными моделями $C(X)$ оптимум X_{opt} является "заданием на систему", которое в течение реализации принимает случайные значения, распределенные по некоторому закону $f(X)$, т.е. применение оптимального задания практически подвергается имитации (статистическому испытанию), и в результате получается не $C(X_{opt})$, а $M[C(X)]$, которое всегда хуже, чем $C(X_{opt})$:

$$M[C(X)] \leq C(X_{opt}). \quad (2)$$

Покажем вышеуказанное несоответствие на элементарных примерах.

1. Пусть $C(x) := -x^3 - x^2 + 4x + 1$ - одномерная нелинейная модель, максимум которой находится в точке $X_{opt} = 0.875, C(0.875)=3$. График модели $C(X)$ показан на рис. 1.

Допустим, что в течение функционирования системы равномерно распределенная случайная величина с плотностью распределения $f(X) = 0,5$ в пределах $0 \leq X \leq 2$.

В результате внедрения получим: $M[C(X)] = \int_0^2 C(X)f(X)dX = 1,667, 1,667 < 3$. Условия этого примера графически показаны на рис.1.

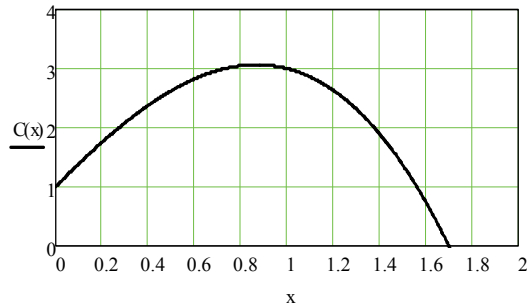


Рис.1. График модели $C(X)$

2. Рассмотрим эту же задачу в общем случае равномерного распределения. Пусть заданы

$$C(x) \text{ и } f(x) := \frac{1}{b-a}.$$

Математическое ожидание модели будет

$$M(C(X)) = \int_a^b \frac{1}{b-a} C(x) dx = \frac{1}{b-a} \int_a^b C(x) dx,$$

т.е. при равномерном распределении всегда закон распределения умножается на интегральную площадь детерминированной модели.

3. Пусть $C(x) = 2 + 3x - 4x^2$. $x_{opt} = 0,375$, $C(0,375) = 2,263$.

Если $f(x) := \frac{e^{-x}}{m}$, $m = 0,5$, пределы интегрирования от 0 до 1, то

$$M[C(x)] = \int_0^1 (2 + 3x - 4x^2) f(x) dx = 1,974, 1,974 < 2,563.$$

Условия этого примера графически показаны на рис.2.

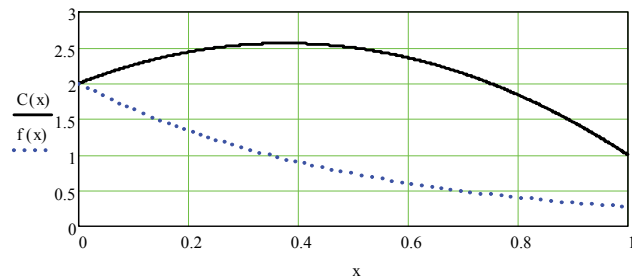


Рис.2. Условия задачи 3

4. Пусть, $C(x) := 2 + 3 \cdot x - 4 \cdot x^2$, $f(x) = \frac{x e^{\frac{-x^2}{2M^2}}}{M^2}$, $M = 0,4$,

$$x_{opt} = 0,375, C(375) = 2,563,$$

$$M[C(x)] = \int_0^1 C(x) f(x) dx = 2,218 < 2,563,$$

Условия примера 4 графически показаны на рис. 3.

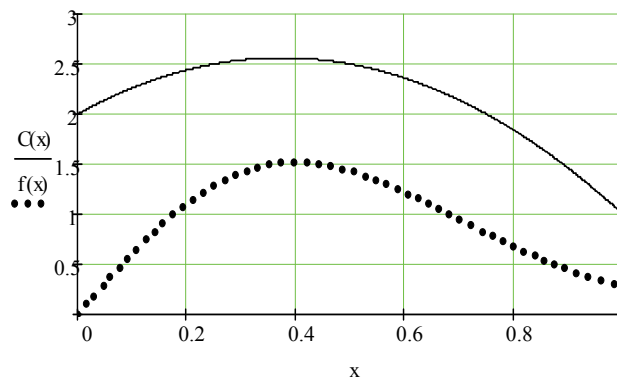


Рис.3. Условия примера 4

5. Двумерная задача. Пусть $C(X, Y) = 5 + [-(X - 1)^2 - (Y - 2)^2]$,

$$X_{opt} = 1, Y_{opt} = 2, C(1, 2) = 5,$$

$$f(X, Y) = \frac{X e^{\frac{-X^2}{2M^2}}}{M^2} \frac{Y e^{\frac{-Y^2}{2N^2}}}{N^2}, M = 1, N = 1.$$

Численное значение двойного интеграла определено в пределах: по x - от 1 до 3, а по y - от 2 до 4. $M[C(X, Y)] = 3.522 < 5$.

График двумерной модели показан на рис.4.

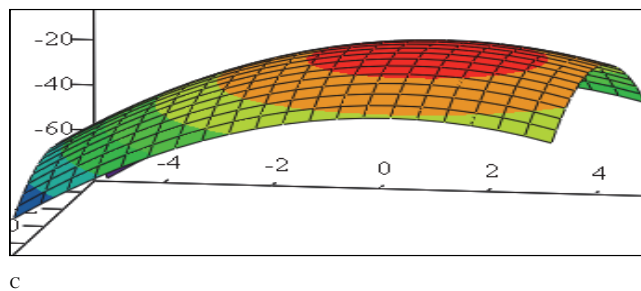


Рис.4. Поверхность двумерной модели $C(X, Y)$

6. Линейные модели. Пусть $C(x) = kx + n$, $k = 0,125$, $n = 0,1$,

$$a = 2, b = 4, s = 0,6, x_{opt} = 4, C(4) = 0,6, f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-b)^2}{2s^2}}}{s\sqrt{2\pi}},$$

$$M[C(x)] = \int_2^4 C(x)f(x)dx = 0,27, 0,27 < 0,6.$$

Условия этого примера графически показаны на рис.5.

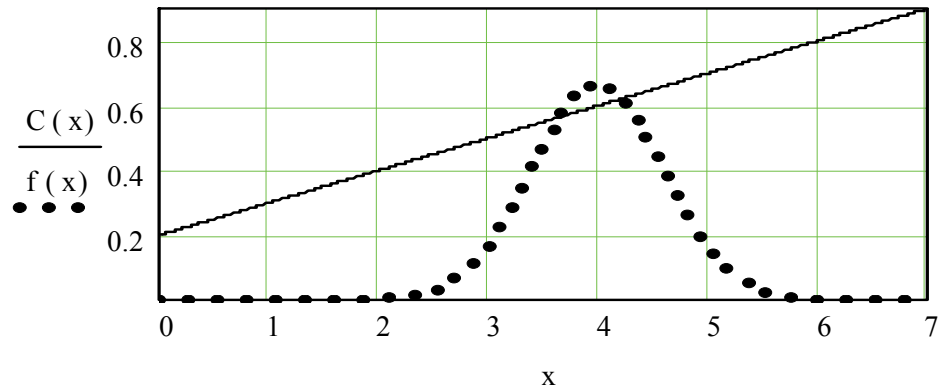


Рис.5. Условия примера 6

7. Пусть $C(x) = 0,1x + 0,2$, $f(x) = \frac{xe^{-\frac{(x-3)^2}{2M^2}}}{M^2}$, $M=2,5$.

Пределы интегрирования от 2 до 4. $x_{opt} = 4$, $C(x) = 0,6$,

$$M[C(x)] = \int_2^4 C(x)f(x)dx = 0,478, 0,478 < 0,6.$$

Условия этого примера графически показаны на рис.6,

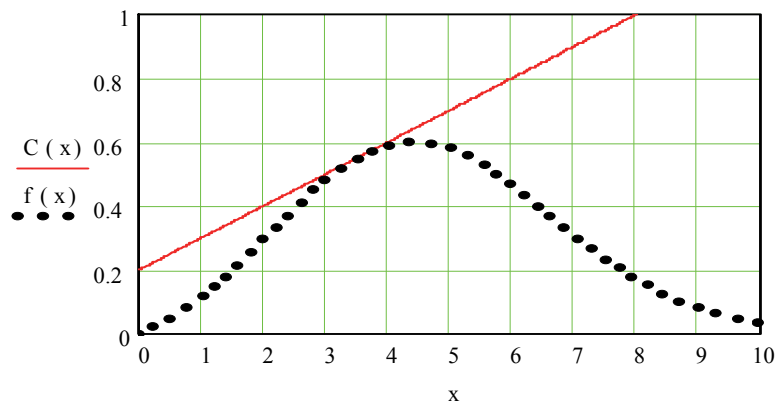


Рис.6. Условия примера 7

8. Рассмотрим линейную модель на минимум. Пусть

$$C(x) = 2x, x_{\min} = 2, C(2) = 4.$$

Пределы интегрирования - от 2 до 2,5,

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-2)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma^2}, \sigma = 1.$$

Тогда $M[C(x)] = \int_2^{2.5} C(x)f(x)dx = 4,56 > 4$.

Условия этого примера графически показаны на рис.7.

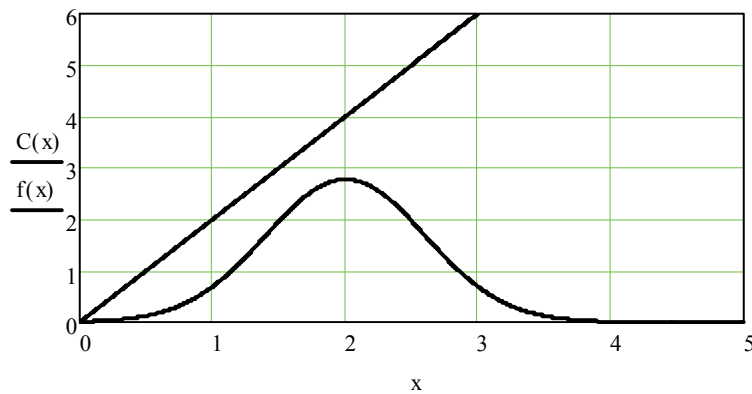


Рис.7. Условия примера 8

Для исследования всевозможных аналогичных задач на рис. 8 приведена блок-схема обобщенного алгоритма.

Замечание. При поиске максимального значения целевой функции в блоке 9 следует использовать знак “минус”, а при поиске минимума - знак “плюс”.

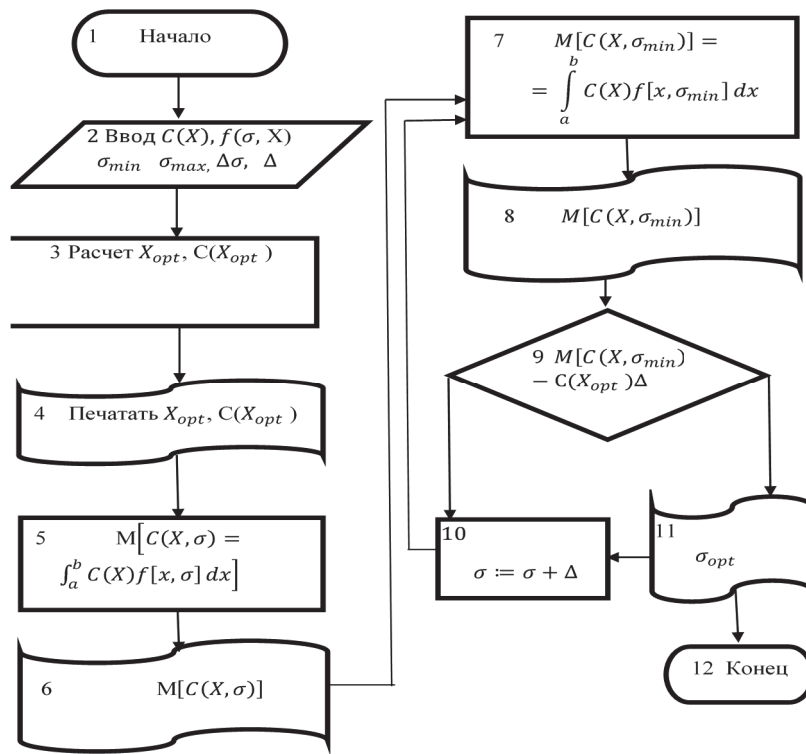


Рис.8. Блок-схема обобщенного алгоритма

Выводы

1. Задачи оптимального управления и ожидаемые эффективности, определенные детерминированными моделями, всегда неточны, так как внедренные детерминированные оптимальные управления на практике преобразуются в случайные величины с отличными от нуля дисперсиями.

2. При уменьшении дисперсии (например, при автоматическом регулировании оптимальной настройки) эффективность постепенно приближается к детерминированному оптимуму, никогда не достигая значения $C\langle X_{opt} \rangle$, т.е. всегда $C\langle X_{opt} \rangle > M[C(X)]$, когда ищется максимум, и $C\langle X_{opt} \rangle < M[C(X)]$, когда ищется минимум детерминированной модели.

3. Точное совпадение значений $C\langle X_{opt} \rangle$ и $M[C(X)]$ возможно только тогда, когда управление распределено по закону Дирака, что практически невозможно.

4. Реальное значение целевой функции зависит от типа законов распределения.

5. Для всех типов задач уменьшение дисперсии приводит только к постепенному асимптотическому приближению к $C\langle X_{opt} \rangle$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Цыпкин Я.З.** Адаптация и обучение в автоматических системах.-М.: Наука, 1968.- 400 с.
2. **Юдин Д.Б.** Математические методы управления в условиях неполной информации.- М.: Сов.радио, 1974.- 400 с.
3. **Орлов А.И.** Эконометрика.- М.: Экзамен, 2002.- 576 с.
4. **Тавадян А.А.** Полосы неопределенности и вариантность экономики.- М.: Изд. “Флинта”, 2019.-104 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 30.01.2020.

Թ.Ա. ՆԱԼՉԱՋՅԱՆ

ԴԵՏԵՐՄԻՆԱՑՎԱԾ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐԻ ԸՆՊԻԱՐԱԳՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Քննարկվում է դետերմինացված մաթեմատիկական մոդելների ընդհարացման խնդիրը օպտիմալ վճիռների գործնական կիրառման տեսակետից: Ցույց է տրված, որ իրական պայմաններում օպտիմալ վճիռների ներդրման գործընթացները միշտ ընթանում են որոշակի անորոշության պայմաններում, որի հետևանքով ստացվող իրական արդյունքը զգալիորեն փոքր է լինում տեսականորեն ակնկալվող չափից: Առաջարկվում է ինչպես գծային, այնպես էլ ոչ գծային դետերմինացված մաթեմատիկական մոդելների ընդհանրացման մեթոդ:

Առանցքային բառեր. մաթեմատիկական մոդելներ, օպտիմալ կառավարում, անորոշություն, ընդհանրացում:

T.A. NALCHAJYAN

GENERALIZATION OF DETERMINISTIC MATHEMATICAL MODELS

The issue of generalizing the deterministic mathematical models from the standpoint of practical introduction of the obtained optimal solutions is considered. It is proved that the introduction of optimal solutions under real conditions is always carried out with some uncertainty, as a result of which the obtained real effect is considerably smaller than the anticipated theoretical level. A method for generalizing both linear and non-linear mathematical models is proposed.

Keywords: mathematical models, optimal control, uncertainty, generalization.

ՀՏԴ 621.337.1

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ ԵՎ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Տ.Բ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

**ՊԱՏԿԵՐԻ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԶՎԵՐԱՀԱՄԱԿՈՂ ՎԱՐԺԵՑՄԱՄԲ
ՆՆՅՐՈՆԱՅԻՆ ՑԱՆԳԻ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Ներկայացված է պատկերում խորությունների գնահատման մեթոդ՝ խոր ուսուցման և նեյրոնային ցանցերի միջոցով: Առաջարկվում է պատկերում խորությունների գնահատումը կատարել՝ համատեղ կիրառելով երկու մեթոդներ՝ խորության գնահատումը երկկապիճային անհամատեղելիության միջոցով և խորության գնահատումը շարժվող տեսանկարահանող սարքի միջոցով: Այդ նպատակով կառուցվել է նեյրոնային ցանց, որը վարժեցվել է չվերահսկվող վարժեցման եղանակով՝ երկկապիճային տեսանկյունների միջոցով:

Առանցքային բառեր խոր ուսուցում, նեյրոնային ցանց, պատկերի խորություն, չվերահսկվող վարժեցում:

Ներածություն: Պատկերում խորության գնահատումը տեսարանի եռաչափ կառուցվածքի նկարագրման հիմնական բաղադրիչներից մեկն է: Պատկերի խորության գնահատումը կամ ճանաչումը տեսարանի երկչափ պատկերից տեսարանում առկա օբյեկտների հեռավորությունները բնութագրող խորության քարտեզի ստացումն է:

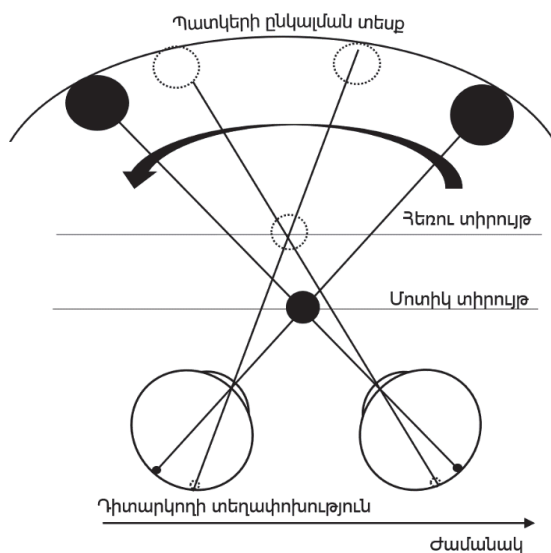
Ինքնավար շարժական համակարգերում շատ կարևոր է ինքնավար համակարգի շարժումից բխող խորության փոփոխության գնահատումը: Այդ առումով կարևոր է կենտրոնանալ պատկերում շարժումից բխող խորության գնահատման մեթոդների վրա:

Որպես նման խնդիրների լուծման լավագույն միջոց ընտրվել է վերջին ժամանակներում մեծ հաջողությունների հասած, խոր ուսուցման և նեյրոնային ցանցերի վրա հիմնված մեթոդը՝ փաթույթային նեյրոնային ցանցը:

Չվերահսկվող վարժեցմամբ մեթոդ. Ներկայումս մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում չվերահսկվող եղանակով վարժեցված մոդելները, քանի որ այս դեպքում նեյրոնային ցանցը վարժեցվում է միայն պատկերների միջոցով, և այլ զգայունակներից ստացված տվյալներ անհրաժեշտ չեն: Կարելի է առանձնացնել պատկերի խորության գնահատման նեյրոնային ցանցերի չվերահսկվող վարժեցման երկու հիմնական եղանակ՝ երկկապիճային անհամատեղելիությունների եղանակը և միակապիճային՝ շարժումից պատկերի տեղափոխության եղանակը: Առավել լավ ուսումնասիրված և տարբեր աշխատանքներում կիրառված է երկկա-

պիճային անհամատեղելիությունների եղանակը [1-3]: Ըստ այս եղանակի առանձնահատկության՝ վարժեցման համար ներդրոնային ցանցին տրամադրվում է երկու նկարահանող սարքերից տեղեկություն՝ պատկեր՝ նկարահանված միևնույն պահին տարբեր անկյուններից: Այս հանգամանքի պատճառով ներդրոնային ցանցը չի պարունակում տեղափոխության վերաբերյալ վարժեցման տվյալներ, ինչի հետևանքով հետագա օգտագործման ժամանակ լավ արդյունքներ են գրանցվում միայն այն պատկերներում, որտեղ համեմատաբար քիչ շարժվող տարրեր կան: Ինքնավար շարժական համակարգերի համար սա կարելի է դիտել որպես թերություն:

Խորության գնահատումը՝ շարժումից պատկերի տեղափոխության եղանակով. Դիտարկող համակարգի շարժումից բխող դիտարկվող օբյեկտների տեղափոխությունը հանդիսանում է խորության հուշիչ [4]: Շարժման հետևանքով պատկերում ավելի շատ տեղափոխություն են կրում ավելի մոտ օբյեկտները (նկ. 1):



Նկ. 1. Խորության ընկալումը շարժումից պատկերի տեղափոխության միջոցով

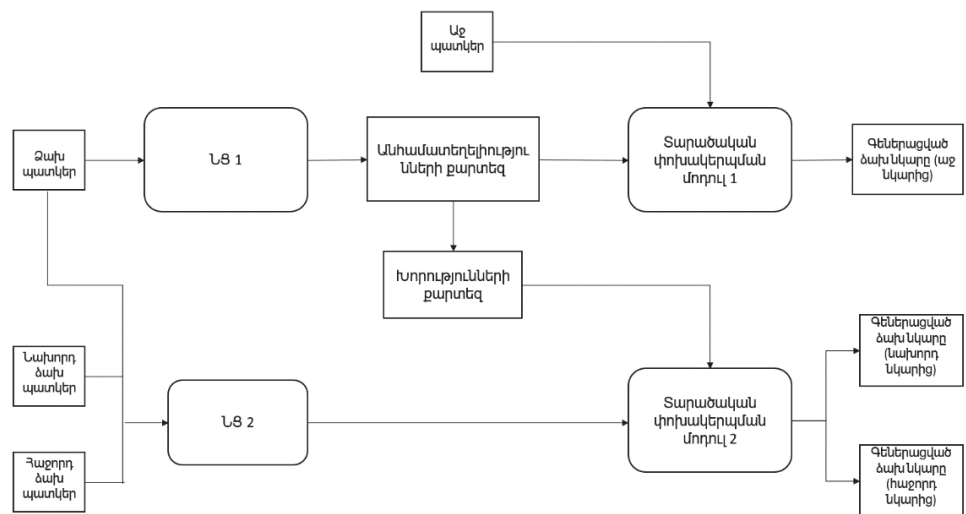
Ունենալով շարժվող տեսանկարահանող սարքի գրանցած տեսարանի հաջորդական պատկերները, կարող ենք դատողություններ անել տեսարանում առկա օբյեկտների հեռավորությունների մասին:

Խորության գնահատման առաջարկվող եղանակը: Խորության գնահատման երկկապիճային անհամատեղելիությունների և շարժումից պատկերի տեղափոխության եղանակների համատեղումը թույլ կտա տարբեր պայմաններում նույնականացնել խորությունը: Նման մոտեցումը կերկարացնի ներդրոնային ցանցի վարժեցման գործընթացը, քանի որ մուտքային տվյալների քանակն ավելանում է:

Բայց այս հանգամանքը, բնականաբար, չի վերաբերում ցանցի առերեսմանը, ինչը համակարգի առումով թիրախային գործոն է:

Այս մեթոդի իրականացման համար կառուցվել է նոր մոդել, որը բաղկացած է երկու փաթույթային նեյրոնային ցանցերից: Դրանցից առաջինը նախատեսված է ձախ և աջ պատկերների երկկապիճային անհամատեղելիությունների, իսկ երկրորդը՝ շարժումից պատկերի տեղափոխության հայտնաբերման համար: Երկու ցանցերը միավորված են ընդհանուր նպատակային ֆունկցիայով:

Նկ. 2-ում պատկերված է կառուցված մոդելի ընդհանուր գծապատկերը:



Նկ.2. Առաջարկվող մոդելի ընդհանուր կառուցվածքը

Առաջին նեյրոնային ցանցն ունի ավտոկոդավորիչի կառուցվածք, որը բաղկացած է երկու հիմնական մասերից՝ կոդավորիչից և վերծանիչից: Կոդավորիչը ներկայացնում է փաթույթային շերտերի հաջորդականություն, որը մուտքին ստանալով ձախ նկարը՝ այն հաջորդաբար անցկացնում է փաթույթային շերտերի միջով՝ կոդավորելով պատկերում եղած հիմնական ինֆորմացիան և փոքրացնելով նկարի չափերը: Կոդավորված ինֆորմացիայի մեջ են մտնում նաև ձախ և աջ նկարների անհամատեղելիությունները, որոնցից կարող ենք ստանալ խորությունների քարտեզը՝ օգտվելով հետևյալ հավասարությունից՝

$$d = x - x' = \frac{Bf}{z} \quad (1)$$

Նեյրոնային ցանցի մյուս բաղադրիչը՝ վերծանիչը, փորձում է վերծանել կոդավորված նկարը՝ գտնել ձախ և աջ նկարների անհամատեղելիությունները, ինչպես նաև վերականգնել նկարի սկզբնական չափերը:

Երկրորդ նեյրոնային ցանցը մուտքին ստանում է ձախ պատկերը, ինչպես նաև դրա նախորդ ու հաջորդ պատկերները և փորձում է գտնել այդ պատկերներում շարժումից բխող օբյեկտների հարաբերական տեղափոխությունները: Երկրորդ ցանցը կրկնվող նեյրոնային ցանց է, որի մեջ ներդրված են նաև փաթույթային շերտեր [5]: Նեյրոնային ցանցի այսպիսի կառուցվածքը հնարավորություն է տալիս օգտագործել տեսարանի հաջորդական պատկերներում պարունակվող տեղեկատվությունը: Այնուհետև, նախորդ և հաջորդ պատկերներից սինթեզվում է ձախ պատկերը, ինչի համար օգտագործվում են երկրորդ նեյրոնային ցանցի հաշվարկած օբյեկտների հարաբերական տեղափոխությունները և առաջին նեյրոնային ցանցի հաշվարկած ձախ պատկերի խորությունների քարտեզը: Պատկերների սինթեզը կատարվում է տարածական փոխակերպման մոդուլի միջոցով [6]:

Ցանցի վարժեցման համար որպես նպատակային ֆունկցիա օգտագործվել է վերակառուցված և իրական պատկերների տարբերությունների ստուգման ֆունկցիան: Նեյրոնային ցանցը պատկերների խորությունները գտնում է անուղղակի եղանակով՝ վերակառուցված և իրական պատկերների տարբերությունների չափից ելնելով՝ թարմացվում են նեյրոնային ցանցի պարամետրերը, ինչը ցանցին ստիպում է ստանալ ճշգրիտ խորությամբ քարտեզներ:

Վարժեցման համար օգտագործված կորստի ֆունկցիաները: Վարժեցման կորստի ֆունկցիան բաղկացած է երկու բաղադրիչից՝

$$C = C_1 + \alpha C_2, \quad (2)$$

որտեղ C_1 -ն ընդհանուր կորստի ֆունկցիայի երկկապիճային անհամատեղելիությունների եղանակի բաղադրիչն է [2], C_2 -ը՝ շարժումից պատկերի տեղափոխության եղանակի բաղադրիչը, իսկ α -ն շարժման կարևորությունը բնութագրող գործակից է:

Կորստի ֆունկցիայի C_2 բաղադրիչը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$C_2 = \alpha_{ap}(C_{ap}^p + C_{ap}^n) + \alpha_{ms}(C_{ms}^p + C_{ms}^n), \quad (3)$$

որտեղ C_{ap}^p -ն և C_{ap}^n -ն, համապատասխանաբար նախորդ և հաջորդ նկարներից ձախ նկարի վերակառուցման կորստի ֆունկցիաներն են, C_{ms}^p -ն և C_{ms}^n -ն՝ համապատասխանաբար նախորդ և հաջորդ նկարներում շարժումից բխող, օբյեկտների հարաբերական տեղափոխությունների հարթեցման կորստի ֆունկցիաները, իսկ α_{ap} -ն և α_{ms} -ն համապատասխան կորստի ֆունկցիաների կարևորությունը բնութագրող գործակիցներ են: Կորստի ֆունկցիայի վերևում թվարկված բաղադրիչները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով (պարզության համար նշված են միայն նախորդ պատկերի բաղադրիչները)՝

$$C_{ap}^p = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \alpha \frac{1-SSIM(I_{ij}^l, \tilde{I}_{ij}^l)}{2} + (1-\alpha) \|I_{ij}^l - \tilde{I}_{ij}^l\|, \quad (4)$$

որտեղ N -ը նկարի կետերի քանակն է, $SSIM$ -ը՝ իրական և նեյրոնային ցանցի միջոցով սինթեզված պատկերների կառուցվածքային նմանությունների ինդեքսը,

$$C_{ms}^p = \frac{1}{N} \sum_{i,j} |\partial_x d_{ij}^l| e^{-\|\partial_x I_{ij}^l\|} + |\partial_y d_{ij}^l| e^{-\|\partial_y I_{ij}^l\|} : \quad (5)$$

Եզրակացություն: Ինչպես և պետք էր ակնկալել տվյալների քանակի ավելացումից և նպատակային ֆունկցիայի բարդացումից, այս մեթոդի վարժեցման փուլն ավելի երկար է՝ համեմատած միայն երկապիճային անհամատեղելիության վարժեցման տևողությանը: Այն կազմել է մոտավորապես 90 ժամ՝ KITTI տվյալների հավաքածուի և մեկ գրաֆիկական մշակող միավորի օգտագործման դեպքում: Բայց առերեսման ժամանակահատվածի խիստ տարբերություններ չեն բացահայտվել: Թեև այս մեթոդի ամենամեծ առանձնահատկությունը պետք է լինի շարժական տեսանկարահանող սարքերի շարժման արագությունից կախված նկարահանած պատկերներում խորության գնահատման ճշտությունը, սակայն այդ գործոնը այս աշխատանքի ընթացքում դեռևս չի դիտարկվել:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Garg R., BG V.K., Carneiro G., Reid I.** Unsupervised CNN for Single View Depth Estimation: Geometry to the Rescue // ECCV.- 2016. - P. 740-756.
2. **Godard C., Mac Aodha O., Brostow G. J.** Unsupervised Monocular Depth Estimation with Left-Right Consistency // Computer Vision and Pattern Recognition.-2017. – P. 6602-6611.
3. **Liu G., Jiang G., Xiong R., Ou Y.** Binocular Depth Estimation Using Convolutional Neural Network With Siamese Branches // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO).- 2019. - P. 1717-1722.
4. **Kim H.R., Angelaki D.E., DeAngelis G.C.** The neural basis of depth perception from motion parallax // Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences.- 2016.- P. 1697-1708.
5. **Wang R., Pizer S.M., Frahm J.M.** Recurrent Neural Network for (Un-)supervised Learning of Monocular Video, Visual Odometry and Depth // Computer Vision and Pattern Recognition.- 2019. - P. 5555-5564.
6. **Jaderberg M., Simonyan K., Zisserman A.** Spatial Transformer Networks // Advances in Neural Information Processing Systems.- 2015. - P. 2017-2025.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 26.02.2020:

Т.Б. ХАЧАТРЯН

**ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ
БЕСКОНТРОЛЬНО ТРЕНИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Представлен метод оценки глубин изображения путем глубокого обучения и использования нейронных сетей. Для оценки глубин изображения предлагается использовать комбинацию двух методов: оценка глубин с помощью стереоизображений и оценка глубины с помощью видеокамеры. С этой целью была устроена нейронная сеть, которая была тренирована бесконтрольным методом с помощью стереовидеороликов. При применении нейронной сети глубина изображения оценивается с помощью одной картины.

Ключевые слова: глубокое обучение, нейронная сеть, глубина изображения, бесконтрольная тренировка.

T.B. KHACHATRYAN

**ESTIMATING THE IMAGE DEPTH BY AN UNSUPERVISED TRAINED
NEURAL NETWORK**

A method is presented for estimating the depth of images using deep learning and neural networks. The combination of two methods is proposed to estimate the image depths: depth estimation with stereo images and depth estimation with a moving camera. A neural network was built for that purpose which was trained in an unsupervised manner using stereo videos. At inference time, the depth is estimated by one image.

Keywords: deep learning, neural network, image depth, unsupervised training.

Э.П. АЩИАНИЦ

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОПОРОЖНЕНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ
ТРУБОПРОВОДА**

Рассматривается движение жидкости в нагнетательном трубопроводе с участками различного уклона в процессе опорожнения его последнего участка. Получены простые расчетные зависимости, с помощью которых определяется продолжительность опорожнения этого участка. В случае, когда истечение жидкости из трубопровода в атмосферу происходит через отверстие в тонкой стенке, диаметр которого меньше диаметра трубопровода, рекомендуется формула, определяющая продолжительность опорожнения жидкости из последнего участка.

Результаты расчета по полученным формулам сопоставлены с соответствующими экспериментальными данными.

Ключевые слова: трубопровод, участки различного уклона, опорожнение жидкости, скорость, гидравлические сопротивления.

Введение. При проектировании и эксплуатации напорных автоматизированных оросительных систем, включающих гидравлические линии связи в виде полиэтиленовых труб малых диаметров [1], возникает необходимость определения продолжительности их опорожнения.

Анализ исследований [2-4], посвященных этому вопросу, показывает, что для случая опорожнения водоводов, имеющих участки различного уклона, в технической литературе не приводится общего аналитического решения этой задачи. Даже в случае опорожнения водовода с участками постоянного уклона, если при расчетах учитывать одновременно влияние как местных, так и распределенных по длине водовода гидравлических сопротивлений, аналитическое решение задачи значительно усложняется и является предметом дальнейших исследований.

Постановка задачи и методы исследования. Целью настоящей работы является устранение некоторых недостатков существующих зависимостей, с помощью которых определяется продолжительность опорожнения жидкости на последнем участке трубопровода, а также рекомендация формулы, с помощью которой определяется вышеуказанное время в случае истечения жидкости из трубопровода в атмосферу через отверстие в тонкой стенке.

Изменение скорости колонны жидкости при ее опорожнении из трубопровода (см. рис.) определяется путем использования уравнения Д. Бернулли [5], взятого для двух сечений. Первое сечение принимается на свободной поверхности жидкости в опорожняющемся трубопроводе (точка А, рис.), а второе - на выходе жидкости из трубопровода (точка В, рис.) в атмосферу.

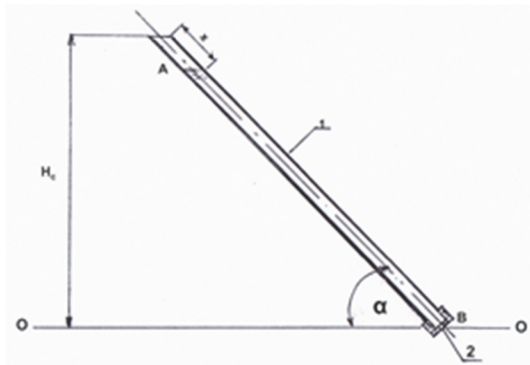


Рис. Расчетная схема трубопровода: 1 – трубопровод, 2 - отверстие

В результате интегрирования этого уравнения при нулевых начальных условиях для скорости в работе [2, гл. XII] получена зависимость изменения скорости колонны жидкости в трубопроводе в процессе ее опорожнения от времени:

$$V = a \frac{e^{2akt} - 1}{e^{2akt} + 1}, \quad (1)$$

где $a = \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{k}}$; $k = \lambda / 2d$; λ - коэффициент гидравлического трения по длине трубопровода; d - диаметр трубопровода; $\sin \alpha = H_c / l$ (рис.1); H_c - статический напор жидкости в конце трубопровода при его полном заполнении; l - длина трубопровода; g - ускорение силы тяжести.

При выводе формулы (1) предполагалось, что в трубопроводе отсутствуют местные гидравлические сопротивления и жидкость свободно вытекает из трубопровода в атмосферу.

Если в (1) обозначить $T_0 = 1 / 2ak$, то уравнение (1) примет вид

$$V = ath \frac{\tau}{2T_0}, \quad (2)$$

t - текущее время.

Таким образом, зависимость (2) показывает, что при опорожнении трубопровода средняя скорость колонны жидкости изменяется по закону гиперболического тангенса.

Для определения продолжительности опорожнения жидкости из трубопровода в формуле (1) скорость V представляется в виде $V = dx / dt$, где x - координата перемещения свободной поверхности колонны жидкости в трубопроводе (рис.). Интегрируя это уравнение с учетом начального условия (при $t = 0$, $x = 0$), получим зависимость

$$x = \frac{1}{k} [\ln(1 + e^{2akt}) - \ln 2] - at. \quad (3)$$

Продолжительность полного опорожнения жидкости из трубопровода определяется из (3) путем подстановки в это уравнение такого значения t , при котором $x = l$.

Зависимость (3) можно представить в виде

$$Chakt = e^{kx}, \quad (4)$$

а для определения продолжительности опорожнения жидкости из трубопровода используем таблицы показательных, гиперболических и тригонометрических функций [6]. Например, при $x = l$, определив значение e^{kl} , которое равно численному значению гиперболического косинуса, из вышеуказанной таблицы [6] определяется соответствующее значение его аргумента $M = akT$, где T - продолжительность опорожнения жидкости из трубопровода. Из равенства следует, что

$$T = \frac{M}{ak}.$$

Для установления корректности зависимостей (3), (4) в гидравлической лаборатории Института водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова были смонтированы экспериментальные установки, схема которых показана на рисунке.

Опорожняющиеся трубопроводы представляли собой полиэтиленовые шланги диаметром $d = 0,016$ м, имеющие различные уклоны и длины. При проведении экспериментов краники на концах трубопроводов отсутствовали, и закрытие их концов осуществлялось с помощью резиновых пробок. После закрытия концов трубопроводов они полностью заполнялись водой. Затем

пробки быстро удалялись, и с помощью секундомера фиксировалось время их опорожнения. В результате получены следующие экспериментальные значения продолжительности опорожнения жидкости из трубопроводов - T^o :

- при параметрах трубопровода: $d = 0,016$ м, $l_1 = 6,2$ м, $\sin \alpha_1 = 0,293$, $\lambda_1 = 0,026$, где его численные значения определялись с учетом рекомендаций, приведенных в работах [7,8], согласно эксперименту - $T_1^o = 4,0$ с , а согласно расчету по зависимостям (3) и (4) - $T_1^P = 3,85$ с ;

- при изменении угла наклона вышеуказанного трубопровода, при котором $\sin \alpha_2 = 0,207$: $T_2^o = 4,7$ с, а $T_2^P = 4,5$ с ;

- при дальнейшем уменьшении угла наклона этого трубопровода, при котором $\sin \alpha_3 = 0,172$: $T_3^o = 5$ с, а $T_3^P = 4,95$ с .

- при опорожнении вертикального полиэтиленового шланга диаметром $d = 0,016$ м, длиной $l = 2,95$ м и $\lambda = 0,023$: $T_4^o = 1$, а $T_4^P = 1,06$ с.

Из сопоставления видно, что результаты расчета по зависимостям (3) и (4) хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Следует отметить, что если трубопровод имеет участки различного уклона, то при опорожнении последнего участка скорость колонны жидкости на этом участке определяется путем интегрирования уравнения Д. Бернулли при начальном условии для скорости, отличной от нуля. В этом случае зависимость для скорости будет иметь вид

$$V_1 = a \frac{e^{2ak(t-c)} - 1}{e^{2ak(t-c)} + 1}, \quad (5)$$

где $c = -\frac{1}{ak} \ln \frac{a + V_0}{a - V_0}$; V_0 - скорость колонны жидкости на последнем участке в начале его опорожнения.

Заменяя в (5) $V_1 = dx/dt$ и интегрируя (5) с учетом начального условия (при $t = 0$, $x = 0$) , получается зависимость

$$x = \frac{1}{k} [\ln(e^c + e^{2akt}) - \ln(e^c + 1)] - at . \quad (6)$$

Из (6) видно, что при $c < 0$ продолжительность опорожнения этого участка уменьшается.

Полученные выше зависимости справедливы в случае отсутствия на трубопроводе местных гидравлических сопротивлений. Если же в конце трубопровода установлены различные запорные устройства, то аналитическое решение задачи существенно затрудняется и является предметом дальнейших исследований.

В этих условиях при проектировании трубопроводов используются различные приближенные формулы, позволяющие при минимальных затратах времени с удовлетворительной погрешностью определить время опорожнения жидкости из трубопровода. В настоящей работе рекомендуется формула, справедливая для случая, когда в выходном отверстии трубопровода (рис.) крепятся шайбы с отверстиями, диаметр которых меньше диаметра трубопровода d :

$$T = \beta \frac{W}{Q_0}, \quad (7)$$

где β - коэффициент, численное значение которого зависит от характера изменения расхода жидкости в процессе истечения из трубопровода; W - объём жидкости в трубопроводе; Q_0 - значение расхода жидкости в трубопроводе в условиях стационарного течения при напоре H_c [5], равное

$$Q_0 = \frac{\varepsilon A_0 \sqrt{2gH_c}}{\sqrt{1 + \xi_0 - (\varepsilon n)^2 + \lambda \frac{l}{d} \left(\frac{A_0}{A_T} \right)^2}}. \quad (8)$$

Здесь ε - коэффициент сжатия струи при выходе ее из отверстия в атмосферу; A_0 - площадь отверстия шайбы; ξ_0 - коэффициент сопротивления отверстия в тонкой стенке, который при истечении холодной воды, согласно рекомендациям [5], принимается равным $\xi_0 = 0,06$; $n = A_0 / A_T$ и называется степенью сжатия потока; A_T - площадь сечения трубы.

Коэффициент сжатия ε определяется с помощью формул и графика кривой $\varepsilon = f(n)$, приведенных в работах [2,5].

Численное значение коэффициента β определено исходя из полученных экспериментальных данных. Экспериментальная установка представляла собой вертикальный полиэтиленовый шланг длиной $l = 2,95$ м и диаметром

$d = 0,016$ м, в выходном сечении которого крепились шайбы с диаметрами отверстий 16; 13,5; 10,5 и 6,5 мм.

При каждом диаметре отверстия в шайбе экспериментально определялись продолжительности опорожнения жидкости из трубопровода, которые были равны 1,2; 1,8; 2,4 и 5,6 с.

При соответствующих диаметрах отверстий по формуле (8) определялись расходы Q_0 при постоянных значениях $H_c = 2,95$ м и $\lambda = 0,023$ (639,9, 434,32, 311,9, 139,46) $см^3/с$. Эти значения Q_0 подставлялись в формулу (7), где значение $W = 590$ $см^3$ также было неизменным при всех диаметрах отверстий в шайбах.

Подставляя в (7) вместо T соответствующее значение T_2^* , определялось значение коэффициента β , которое в среднем принято равным 1,32.

Таким образом, при истечении жидкости из трубопровода в атмосферу через отверстие в тонкой стенке время его опорожнения рекомендуется определять по формуле

$$T = 1,32 \frac{W}{Q_0}. \quad (9)$$

Формула (9) одновременно учитывает влияние всех основных факторов, влияющих на продолжительность опорожнения жидкости из трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Արտոնազիր N 2651A. Ճնշումային ռոբոտիկայի ավտոմատացված համակարգ / Է. Աշիյանց, Ա. Մարգարյան, Վ. Թորմաջյան. - 2012:
2. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз и др. - М.: Машиностроение, 1981. -464 с.
3. Рафаэлян Р.М., Ащиянц Э.П., Мелконян А.С. Расчет параметров неустановившегося движения жидкости при заполнении и опорожнении водовода // Известия АН Армении. Сер. ТН. - 1992. - Т.45, № 2. - С. 50-55.
4. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в нагнетательных водоводах.- Ереван: Лимуш., 2010. – 210 с.
5. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика.- М.: Стройиздат, 1987. - 414 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике.- М.: Наука, 1967.- 608 с.

7. **Ащиянц Э.П., Токмаджян В.О.** Рекомендуемые зависимости для определения коэффициентов гидравлического трения в пластмассовых трубах малых диаметров // Известия Национального аграрного университета Армении. – 2013. - №4. - С. 87-91.
8. **Ухин Б.В.** Гидравлика.- М.: Форум, 2014. – 464 с.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиазарова. Материал поступил в редакцию 18.11.2019.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ՈՐՈՇ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄԸ ԶՐԻ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ

Դիտարկվում է հեղուկի շարժման բնութագիրը տարբեր թեքությամբ հատվածներ ունեցող մղման խողովակաշարում՝ դրա վերջին հատվածի դատարկման ընթացքում: Ստացված են պարզ վերլուծական հաշվարկային բանաձևեր, որոնցով որոշվում է այդ հատվածի դատարկման տևողությունը: Այն դեպքում, երբ հեղուկի արտահոսումը խողովակաշարից մթնոլորտ կատարվում է բարակ պատ ունեցող անցքի միջով, որի տրամագիծն ավելի փոքր է խողովակաշարի տրամագծից, առաջարկվում է բանաձև, որով որոշվում է ջրի խողովակի վերջին հատվածի դատարկման տևողությունը: Վերլուծական բանաձևերով կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատվել են համապատասխան փորձարարական տվյալների հետ:

Առանցքային բառեր. խողովակաշար, տարբեր թեքությամբ հատվածներ, հեղուկի դատարկում, արագություն, հիդրավլիկական դիմադրություններ:

E.P. ASHCİYANTS

CONSIDERING THE INFLUENCE OF SOME FACTORS AT CALCULATING THE TIME OF EMPTYING THE PIPELINE

The flow of liquid arising in the forcing pipeline with the sections of various inclinations in the emptying process of the last section is investigated. Simple calculation dependences are obtained by which the emptying duration of that section is determined. In the case when the emptying of the liquid from the pipeline into the atmosphere takes place through an opening in the thin wall, the diameter of which is smaller than that of the pipeline, a formula, defining the emptying time of the last section is recommended. The results of calculation by the obtained formulae are compared with the corresponding experimental data.

Keyword: pipeline, sections of different gradients, emptyng of liquid, hydraulic resistances, speed.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

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

ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ԲԱՂԱԴՐԱԿԱԶՄՈՎ «ԲԱՍՏԵՆԻՏ» ՏԻՊԻ ՇՓԱՆՅՈՒԹ
ԹՄԲՈՒԿԱՎՈՐ ԱՐԳԵԼԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ 243

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ.Ս., ԱՖՐԻԿՅԱՆ Տ.Հ.

ԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅԱՄԲ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԵՎ ԱԼՄԱՍՍԱՅԻՆ
ՀԱՏԻԿՆԵՐՈՎ ԼԵԳԻՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՏԱՔ
ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 253

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Մ.Կ.

ՊԱՐԱՄԵՏՐԱՅՎԱԾ ԲԶԻԶՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ԻՆՏԵԳՐԱԼ
ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ 262

ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ Ն.Է.

ԻՆՔՆԱՌԻՍՈՒՅՎՈՂ ԴԻՆԱՄԻԿ ՀԻՇԱՍԱՐՔԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ
ՄԵԹՈԴ 268

ԱԶՈՅԱՆ Մ.Ս., ԱՅՎԱԶՅԱՆ Մ.Յ.

ՏԵՐԱՀԵՐՑԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ԲԱԺԱՆԻՉՆԵՐ 277

ԳՈՄՅՅԱՆ Ս.Գ.

ԵՐԿՉԱԾ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄԱԿՆԻՇԱՎՈՐՈՒՄԸ ԹՎԱՅԻՆ ԶՐԱՆԻՇՈՎ՝
ԲԱՐԵԹՈՒՎԱԾ ՎԵՅՎԼԵՏՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ 287

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս.Հ.

$A(t) \cdot X^*(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$ ՏԻՊԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ
ՊԱԼԻՆԴՐՈՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ 299

ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ Տ.Ռ., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս.

ԵՐԿՉԱԾ ՖՈՒԿՅՑԻԱՅԻ ԿՏՈՐ-ԳԾԱՅԻՆ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄԸ՝ ՎԱՏԱԳՈՒՅՆ
ՀԱՏՎԱԾԻ ԿԻՍՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ 310

ՆԱԼՉԱԶՅԱՆ Թ.Ա.

ԴԵՏԵՐՄԻՆԱՅՎԱԾ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ
ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ 319

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Տ.Բ.

ՊԱՏԿԵՐԻ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՉՎԵՐԱՀՄԿՈՂ
ՎԱՐԺԵՑՄԱՄԲ ՆԵՅՐՈՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՄԻԶՈՑՈՎ 328

ԱՇՉԻՅԱՆՑ Է.Պ.

ՈՐՈՇ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄԸ ԶՐԻ
ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ԴՏԱՐԿՄԱՆ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ
ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ 334

СОДЕРЖАНИЕ

МЕЛИКСЕТАН Н.Г., АГБАЛЯН С.Г., МЕЛИКСЕТАН Г.Н., АСЧЯН Г.О. ФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ТИПА “БАСТЕНИТ” С УЛУЧШЕННЫМ КОМПОЗИЦИОННЫМ СОСТАВОМ ДЛЯ БАРАБАНЫХ ТОРМОЗОВ	243
ПЕТРОСЯН А.С., АФРИКЯН Т.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ И ЛЕГИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫМИ ЗЕРНАМИ.....	253
МАРТИРОСЯН М.К. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ ЯЧЕЕК	262
МЕЛИКЯН В. Ш., МАМИКОНЯН Н.Э. САМООБУЧАЮЩИЙСЯ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ.....	268
АЗОЯН М.С., АЙВАЗЯН М.Ц. ДЕЛИТЕЛИ СИГНАЛА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА.....	277
ГОМЦЯН С.Г. МАРКИРОВКА ДВУМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЦИФРОВЫМ ВОДЯНЫМ ЗНАКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛУЧШЕННЫХ ВЕЙВЛЕТОВ.....	287
СИМОНЯН С.О. К РЕШЕНИЮ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ ПАЛИНДРОМНЫХ ЗАДАЧ ТИПА $A(t) \cdot X^*(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$	299
МЕЛКОНЯН Т.Р., СУКИАСЯН Г.С. КУСОЧНО-ЛИНЕЙНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ДВУМЕРНОЙ ФУНКЦИИ МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ХУДШЕГО ОТРЕЗКА	310
НАЛЧАДЖЯН Т.А. ОБ ОБОБЩЕНИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	319
ХАЧАТРИАН Т.Б. ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БЕСКОНТРОЛЬНО ТРЕНИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	328
АЩИЯНЦ Э.П. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОПОРОЖНЕНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ ТРУБОПРОВОДА	334

CONTENTS

MELIKSETYAN N.G., AGHBALYAN S.G., MELIKSETYAN G.N., ASCHYAN G.H.	
A BASTENITE- TYPE FRICTIONAL MATERIAL WITH AN IMPROVED COMPOSITION FOR DRUM BRAKES	243
PETROSYAN H.S., AFRIKYAN T.H.	
STUDY OF THE PROCESSES OF HOT EXTRUSION OF COMPOSITE MATERIALS REINFORCED IN THE LONGITUDINAL DIRECTION AND ALLOYED WITH DIAMOND GRAINS	253
MARTIROSYAN M.K.	
THE PHYSICAL DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS USING PARAMETERIZED CELLS	262
MELIKYAN V.SH., MAMIKONYAN N.E.	
A SELF-LEARNING DYNAMIC MEMORY DESIGN METHOD	268
AZOYAN M.S., AYVAZYAN M.Ts.	
THZ RANGE SIGNAL DIVIDERS	277
GOMTSYAN S.G.	
MARKING TWO-DIMENSIONAL IMAGES WITH A DIGITAL WATERMARK USING IMPROVED WAVELETS	287
SIMONYAN S.H.	
THE SOLUTION OF ONE-PARAMETRIC MATRIX PALINDROMIC PROBLEMS OF THE TYPE $A(t) \cdot X^*(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$	299
MELKONYAN T.R., SUKIASYAN H.S.	
PIECE-WISE LINEAR APPROXIMATION OF THE TWO-DIMENSIONAL FUNCTION BY THE METHOD OF DIVIDING THE WORST SEGMENT	310
NALCHAJYAN T.A.	
GENERALIZATION OF DETERMINISTIC MATHEMATICAL MODELS	319
KHACHATRYAN T.B.	
ESTIMATING THE IMAGE DEPTH BY AN UNSUPERVISED TRAINED NEURAL NETWORK	328
ASHCIYANTS E.P.	
CONSIDERING THE INFLUENCE OF SOME FACTORS AT CALCULATING THE TIME OF EMPTYING THE PIPELINE	334

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 Ազոյան Միքայել Սարգսի | ՀԱՊՀ, «Կապի համակարգերի» ամբիոն, տ.գ.թ., դոցենտ
Էլ. հասցե -miqaell1945@mail.ru |
| 2 Աղբալյան Սուրեն Գևորգի | ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր,
Էլ. հասցե -metalsur@polytechnic.am: |
| 3 Ալվազյան Մարտին Ցոլակի | ՀԱՊՀ, «Կապի համակարգերի» ամբիոն, տ.գ.դ., դոցենտ
Էլ. հասցե -aivazyan@seua.am |
| 4 Աշխիյան Էդուարդ Պետրովի | տ.գ.դ., ավագ գիտ. աշխատող, Ի.Վ. Եղիազարովի անվան
ջրային հիմնահարցերի և հիդրոտեխնիկայի ինստիտուտ |
| 5 Ասյան Գրիգոր Հովհաննեսի | ՀԱՊՀ, ասպիրանտ,
Էլ. հասցե -grigor_aschyan@rambler.ru |
| 6 Աֆրիկյան Տելեմակ Հայկի | Եվրոպական համալսարան, տ.գ.դ., դոցենտ |
| 7 Գոմցյան Սվետլանա Գևորգի | ՀԱՊՀ, «Ռադիոսարքավորումներ» ամբիոնի ասիստենտ,
տ.գ.թ.
Էլ. հասցե -gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 8 Խաչատրյան Տիգրան Բազրատի | «Սինոփսի Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտի
ուսանող, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե -tigran.khachatryan1@gmail.com |
| 9 Մամիկոնյան Նարեկ Էդուարդի | ԵՊՀ մագիստրոս,
Էլ. հասցե -narekmamikonyan073@gmail.com |
| 10 Մարտիրոսյան Մերուժան
Կարապետի | «Սինոփսի Արմենիա», Համալսարանական ծրագրերի
մասնագետ
Էլ. հասցե -meruzha@synopsys.com |
| 11 Մելիքյան Վազգեն Շավարշի | «Սինոփսի Արմենիա» ՓԲԸ, Համալսարանական ծրագրերի
տնօրեն, «Միկրոէլեկտրոնային սխեմաների և համակարգի»
ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ, տ.գ. դ., պրոֆեսոր, Հայաստանի
Գիտությունների ազգային ակադեմիայի թղթակից անդամ,
Էլ. հասցե -vazgenm@synopsys.com |
| 12 Մելիքսեթյան Գալուստ Նորիկի | ՀԱՊՀ, տ.գ.թ.,
Էլ. հասցե - g_meliksetyan93@mail.ru: |
| 13 Մելիքսեթյան Նորիկ Գալուստի | ՀԱՊՀ, Վանաձորի մասնաճյուղ, տ.գ.դ., դոցենտ,
Էլ. հասցե - n_meliksetyan@mail.ru |
| 14 Մելքոնյան Տաթևիկ Ռազմիկի | ՀԱՊՀ, «Ավտոմատացված համակարգեր և մոդելավորում»
բազային գիտահետազոտական լաբորատորիա,
Էլ. հասցե - t.r.melkonyan@gmail.com |
| 15 Նալչաջյան Թորգոմ Աղաբեկի | ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր,
Էլ. հասցե -t.a.nalchajyan @ gmail.com |
| 16 Պետրոսյան Հասմիկ Սամսոնի | ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր,
Էլ. հասցե -univ70@mail.ru |
| 17 Սիմոնյան Սարգիս Հովհաննեսի | ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր,
Էլ. հասցե -simonyan@seua.am |
| 18 Սուքիասյան Հայկ Ստեփանի | ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., «Ավտոմատացված համակարգեր և մոդելա-
վորում» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիա,
Էլ. հասցե -hayksukiasyan28@gmail.com |

СПИСОК АВТОРОВ

- | | |
|---|--|
| 1 Агбалин Сурен Геворкович | д.т.н., профессор, НПУА,
Эл. почта - metalsur@polytechnic.am: |
| 2 Азоян Микаел Саркисович | к.т.н., доцент, кафедра Систем связи, НПУА,
Эл. почта - miqael1945@mail.ru |
| 3 Айвазян Мартин Цолакович | д.т.н., доцент, кафедра Систем связи, НПУА,
Эл. почта - aivazyana@seua.am |
| 4 Асчян Григор Оганнесович | аспирант, НПУА,
Эл. почта - grigor_aschyan@rambler.ru |
| 5 Африкян Телемак Гайкович | д.т.н., доцент, Европейский университет |
| 6 Ащиянц Эдуард Петрович | д.т.н., с.н.с., Институт водных проблем и гидротехники
им. И.В. Егiazарова |
| 7 Гомцян Светлана Геворковна | к.т.н., ассистент кафедры Радиоустройств, НПУА
Эл. почта - gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 8 Мамиконян Нарек Эдуардович | магистр инженерных наук, ЕГУ.
Эл. почта - narekmamikonyan073@gmail.com |
| 9 Мартиросян Меружан Карапетович | Специалист по университетским программам,
ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - meruzha@synopsys.com |
| 10 Меликсетян Галуст Норикович | к.т.н., Ванадзорский филиал НПУА,
Эл. почта - g_meliksetyan@mail.ru |
| 11 Меликсетян Норик Галустович | д.т.н., доцент, Ванадзорский филиал НПУА,
Эл. почта - n_meliksetyan@mail.ru |
| 12 Меликян Вазген Шаваршевич | директор университетских программ, ЗАО “Синописис
Армения”, зав. каф. Микроэлектронных схем и систем
НПУА, д.т.н., проф., член-корр.
НАН РА,
Эл. почта - vazgenm@synopsys.com |
| 13 Мелконян Татевик Размиковна | базовая научно-исследовательская лаборатория
“Автоматизированные системы и моделирование”,
НПУА,
Эл. почта - t.r.melkonyan@gmail.com |
| 14 Налчаджян Торгом Агабекович | д.т.н., профессор, НПУА
Эл. почта - t.a.nalchajyan @ gmail.com |
| 15 Петросян Асмик Самсоновна | д.т.н., профессор, НПУА,
Эл. почта - univ70@mail.ru |
| 16 Симонян Саркис Оганесович | д.т.н., профессор, НПУА,
Эл. почта - simonyan@seua.am |
| 17 Сукиасян Гайк Степанович | д.т.н., базовая научно-исследовательская лаборатория
“Автоматизированные системы и моделирование”,
НПУА,
Эл. почта - hayksukiasyan28@gmail.com. |
| 18 Хачатрян Тигран Багратович | студент учебного департамента ЗАО “Синописис
Армения”, НПУА,
Эл. почта - tigran.khachatryan1@gmail.com |

LIST OF THE AUTHORS

- | | |
|--|--|
| 1 Aghbalyan Suren Gewor | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA,
E-mail - metalsur@polytechnic.am: |
| 2 Afrikyan Telemak Hayk | Dr. of tech. sci., Assoc. Prof., Evropa university |
| 3 Ashciyants Eduard Petrov | Dr. of tech. sci., Institute of Water Problems and Hydro-
Engineering Named After I.V. Yeghiazarov |
| 4 Aschyan Grigor Hovannes | Post-graduate student, NPUA,
E-mail - grigor_aschyan@rambler.ru |
| 5 Ayvazyan Martin Tsolak | Dr. of tech. Sci., Assoc. Prof. of the Chair “Communication
systems”, NPUA,
E-mail - aivazyan@seua.am |
| 6 Azoyan Micael Sarkis | Cand. of tech. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Communication
systems”, NPUA,
E-mail - miqael1945@mail.ru |
| 7 Gomtsyan Svetlana Gevorg | Assistant of the Chair Radio devices, Ph.D., NPUA,
E-mail - gomtsyan.sveta@gmail.com |
| 8 Khachatryan Tigran Bagrat | Student of “Synopsys Armenia” educational department,
NPUA,
E-mail - tigran.khachatryan1@gmail.com |
| 9 Mamikonyan Narek Eduard | Master of Engineering, YSU,
E-mail - narekmamikonyan073@gmail.com |
| 10 Martirosyan Meruzhan
Karapet | Synopsys Armenia, University program specialist,
E-mail - meruzha@synopsys.com |
| 11 Meliksetyan Galust Norik | Cand. of tech.sci., NPUA,
E-mail - g_meliksetyan@mail.ru |
| 12 Meliksetyan Norik Galust | Dr. of tech. sci., Assoc. Prof., NPUA,
E-mail - n_meliksetyan@mail.ru |
| 13 Melikyan Vazgen Shavarsh | Director of University Programs, Synopsys Armenia CJSC,
Head of the Chair of Microelectronic Circuits and System,
NPUA, Dr. of tech. sci, Prof., Corresponding Member of
National Academy of Sciences of Armenia,
E-mail - vazgenm@synopsys.com |
| 14 Melkonyan Tatevik Razmik | Research base laboratory “Automated Systems and
Modeling”, NPUA,
E-mail - t.r.melkonyan@gmail.com |
| 15 Nalchajyan Torgom Agabek | Dr. of tech. sci, Prof. NPUA,
E-mail - t.a.nalchajyan @ gmail.com |
| 16 Petrosyan Hasmik Samson | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA,
E-mail - univ70@mail.ru |
| 17 Simonyan Sargis Hovhannes | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA,
E-mail - simonyan@seua.am |
| 18 Sukiasyan Hayk Stepan | Dr. of tech. sci., research base laboratory “Automated
Systems and Modeling”, NPUA,
E-mail - hayksukiasyan28@gmail.com. |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ 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, ՄԺԿ, 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 (անոտացիա) 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. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

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

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

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

RULES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS

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

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

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

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 500 characters including the spaces, the number of keywords or word combinations - 4-8.

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

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

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

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

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

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

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

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И НАЦИОНАЛЬНОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

PROCEEDINGS

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

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

2020

3

ՀԱՏՈՐ

ТОМ 73

VOLUME

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ

ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ

JULY - SEPTEMBER

Հրատ. Խմբագիր՝

ԺԱՆԱ Ա. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 13.11.2020

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

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 7.1 տպ. մամ.::

Պատվեր՝ 303: Տպաքանակ՝ 200

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

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

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