

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНЯН (ответственный секретарь), С.Г. АГБАЛЯН,
Р.В. АТОЯН, В.В. БУНИАТЯН, Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН,
В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН,
С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН, В.С. ХАЧАТРЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editor-in-Chief), H.A. TERZYAN (Vice-Editor-in-Chief),
Z.K. STEPANYAN (Secretary - in - Chief), S.G. AGHBALYAN,
R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, Zh.D. DAVIDYAN, S.P. DAVTYAN,
S.M. GHAZARYAN, V.Z. MARUKHYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN,
S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN, V.S. KHACHATRYAN

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

ՀԱՍՄԻԿ ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2012

Ք.Ռ. ԲՈՆԻԱԹՅԱՆ, Ա.Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Վ. ՍԱՐՈՅԱՆ

ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՀԱՎԵԼԱՆՑՈՒԹԵՐՈՎ ՔՍԱՅՈՒՂԵՐԻ ՇՓԱԳԻՏԱԿԱՆ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՄԱՆ ՀԱՇՎԵԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴ

Փորձարկումների արդյունքով ստացված են տվյալներ, որոնք բացահայտում են շփման գործակցի և մաշվածքի չափի վրա Ի-40Ա մակնիշի յուղի հակաշփական հատկությունները բարելավող օրգանական հավելանյութերի տեսակի և տոկոսային բաղադրության ազդեցությունն ըստ բեռնվածքի մեծության: Նշված պարամետրերի միջև առկա բազմաչափ կապերի գործնական կիրառման նպատակներով կառուցվել են նոմոգրամներ, որոնք տարբեր զուգորդումներով թույլ են տալիս որոշել նշված մեծությունները՝ օգտագործելով ստացված երկչափ ռեգրեսիայի հավասարումները:

Առանցքային բառեր. շփման գործակից, մաշվածքի չափ, քսայուղ, հավելանյութ, սահմանային յուղում, նոմոգրամ:

Տարբեր դասի օրգանական միացություններից հավելանյութերի հակամաշվածքային և հակաքերծվածքային հատկությունների փորձարարական հետազոտությունները բացահայտում են յուրաքանչյուր դասի հավելանյութերի ազդեցության մեխանիզմի յուրահատկությունները և հաստատում են մեկ ընդհանուր օրինաչափություն [1], այն է՝ հավելանյութերի լավարկային ընտրությունը կարող է ապահովել քսայուղային նյութերի բարձր հակամաշվածքային և հակաքերծվածքային հատկություններ: Դժվար չէ ենթադրել, որ մաշման և կերամաշման գործընթացների հիմքում ընկած են որոշ ընդհանուր երևույթներ, ուստի և բնական է քսայուղային նյութերի նշված հատկությունների միջև նաև ընդհանուր հարաբերակցական կապի առկայությունը [2]:

Հետազոտման առարկա են հանդիսացել տարբեր քանակությամբ քլորի ատոմներ պարունակող դիքլորբութան (ԴԲԲ), դիքլորէթան (ԴԲԷ), դիքլորկապրիլետ (ԴԲԿ) և կատամին ԱԲ-14 (Կ-ԱԲ 14) միացությունները: Հավելանյութերի կիրառմամբ մշակվել են տարբեր տոկոսային բաղադրակազմերով յուղային կոմպոզիտներ՝ Ի-40Ա (ԳՕՍՍ 20799-88) արդյունաբերական յուղի հիման վրա: Փորձարկումների մեթոդիկան, հավելանյութերի բաղադրակազմը և ստացված արդյունքները ներկայացված են [2]-ում:

Քսուքների շփագիտական հատկություններն ուսումնասիրվել են MAST տիպի քառագունդ շփման մեքենայի միջոցով, որն ապահովում է փորձարկումները 0,23...0,92 մ/վ (600...2400 ընտր.) սահմանի արագության և 200...1400 Ն բեռնվածքի պայմաններում [2,3]: Համաձայն ԳՕՍՍ 9490-88-ի՝ շփական կարճատև, բայց աստիճանա-

բար աճող բեռնվածքի պայմաններում փորձարկումների արդյունքում գրանցվել են շփման f գործակցի արժեքները [2], իսկ յուղման նյութերի հակամաշվածքային հատկությունները բնութագրող Δd մաշվածքի չափի բացահայտման նպատակով МИМ-8 մակնիշի օպտիկական մանրադիտակով հետազոտվել են մետաղական գնդիկների հպակներում շփման հետևանքով առաջացած մաշման հետքն ու մակերևութային թաղանթները [3]:

Ուսումնասիրվող պարամետրերի միջև ֆունկցիոնալ կապերի բացահայտումը ներկայացված է [2-4]-ում: Օգտագործվել է արդյունքների մշակման նվազագույն քառակուսիների մեթոդը, և հաշվի առնելով փորձարարական տվյալների փոփոխման բնույթը՝ դիտարկվել են ուղղագծային և 2-րդ կարգի պարաբոլական կապեր [5]՝

$$\bar{y}_x = a + bx, \quad \bar{y}_x = a + bx + cx^2: \quad (1)$$

Հաշվակները կատարվել են MATLAB համակարգչային ծրագրով: Կատարված հաշվարկների արդյունքով ստացվել են դիտարկվող քսայուղային նյութերի շփման գործակցի և բեռնվածքի միջև ռեգրեսիայի հետևյալ հավասարումները (աղ.1):

Աղյուսակ 1

$\Delta d = \varphi_3(f)$ ռեգրեսիայի հավասարումները

N°	Յուղի և հավելանյութերի անվանումը	Հավելանյութի պարունակությունը, %	Մաթեմատիկական մոդելը
1	<i>Ի-40Ս մաքուր յուղ</i>	-	$\bar{y}_{x_i} = 4,67x + 0,187$
2	<i>Ի-40Ս + ԴՔԲ</i>	1	$\bar{y}_{x_i} = 8,25x + 0,110$
		2	$\bar{y}_{x_i} = 8,97x + 0,103$
		5	$\bar{y}_{x_i} = 6,48x + 0,256$
3	<i>Ի-40Ս + ԴՔԷ</i>	1	$\bar{y}_{x_i} = 4,78x + 0,135$
		2	$\bar{y}_{x_i} = 4,99x + 0,266$
		5	$\bar{y}_{x_i} = 5,21x + 0,230$
4	<i>Ի-40Ս + ԴՔԿ</i>	1	$\bar{y}_{x_i} = 8,53x + 0,244$
		2	$\bar{y}_{x_i} = 3,52x + 0,326$
		5	$\bar{y}_{x_i} = 7,736x + 0,232$
5	<i>Ի-40Ս + Կ-ՍԲ14</i>	1	$\bar{y}_{x_i} = 9,06x + 0,006$
		2	$\bar{y}_{x_i} = 14,14x + 0,08$
		5	$\bar{y}_{x_i} = 15,34x + 0,147$

Հաշվի առնելով ազդող բոլոր գործոնները՝ ընդհանուր դեպքում շփագիտական ցուցանիշների միջև կապերը կարելի է ներկայացնել բազմապարամետրական տեսքով՝

$$F(P, f, \Delta d, A, B, C) = 0, \quad (2)$$

որտեղ $P, f, \Delta d$ -ն ազդող նորմալ ուժը, շփման գործակիցը և մաշվածքի չափի ցուցանիշն են, A -ն՝ շփամաշվածքային գործընթացի տեսակը (հեղուկային յուղում, սահմանային յուղում, առանց յուղման “չոր”), B -ն՝ քսայուղում հավելանյութի տեսակը և C -ն՝ հավելանյութի տոկոսային պարունակությունը (մեր դեպքում՝ $C=1...5\%$):

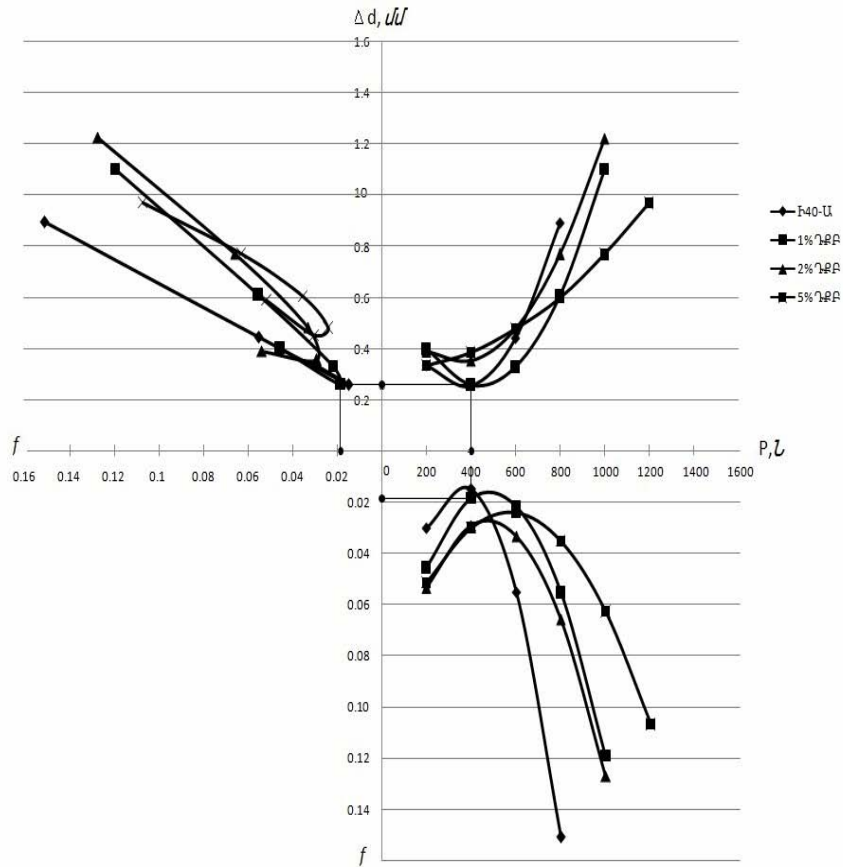
(2)-ում բերված շփագիտական ցուցանիշները տարբեր զուգորդումներով բացահայտում են երկչափ և եռաչափ պարամետրական ֆունկցիոնալ կապեր, որոնք կարող են օգտագործվել հաշվարկային, տեխնոլոգիական, արտադրական, շահագործական և նորոգման տարբեր գործընթացներում: Պարամետրական կապերի բոլոր հնարավոր զուգորդումներից միայն տրամաբանական առնչությունների դասակարգումը և ընտրությունը հանգեցնում են հետևյալ դեպքերի դիտարկմանը.

$$\begin{aligned} f, \Delta d &= \varphi_{1,2}(P), & f, \Delta d &= \varphi_{10,11}(P, A), & \Delta d &= \varphi_{18}(f, C), \\ \Delta d &= \varphi_3(f), & f, \Delta d &= \varphi_{12,13}(P, B), & f, \Delta d &= \varphi_{19,20}(A, B), \\ f, \Delta d &= \varphi_{4,5}(A), & f, \Delta d &= \varphi_{14,15}(P, C), & & \\ f, \Delta d &= \varphi_{6,7}(B), & \Delta d &= \varphi_{16}(f, A), & f, \Delta d &= \varphi_{21,22}(B, C), \\ f, \Delta d &= \varphi_{8,9}(C), & \Delta d &= \varphi_{17}(f, B), & f, \Delta d &= \varphi_{23,24}(A, C): \end{aligned} \quad (3)$$

Քանի որ սույն աշխատանքում քննարկվում է A պարամետրի (գործոնի) հնարավոր տարբերակներից միայն սահմանային յուղման դեպքը, ապա (3)-ի հնարավոր 24 ֆունկցիոնալ կապերից կդիտարկվեն միայն 15-ը, որոնցում բացակայում է A -ն: Դրանց զգալի մասը, հատկապես երկչափ կապերը նվազագույն քառակուսիների մեթոդի օգտագործմամբ հաշվարկված և ներկայացված են ուղղագծային և պարաբոլական ֆունկցիաների տեսքով [2-4]: Սակայն (3)-ում ներկայացված կապերի գործնական և նպատակաուղղված կիրառումը հեշտացնելու նպատակով դրանց բազմազանությունը թելադրում է տրամաբանված հաջորդականությամբ դասակարգել և խմբավորել այդ կապերը և ներկայացնել դրանք նոմոգրամների տեսքով [6]: Կոորդինատային տարբեր քառորդամասերում իրար հետ փոխկապակցված (3) արտահայտությունների ներկայացմամբ և պարզ գրաֆիկական կառուցումներով հնարավոր է ստանալ շփագիտական բոլոր անհրաժեշտ ցուցանիշները՝ դրանք շփահանգույցների նախագծման նախնական փուլում և որոնողական հետազոտություններում գործունե կիրառելու նպատակով:

Կատարված դասակարգման արդյունքով առաջադրվել են նոմոգրամների հետևյալ տարբերակները (յուրաքանչյուր տարբերակից ներկայացվում է միայն մեկը).

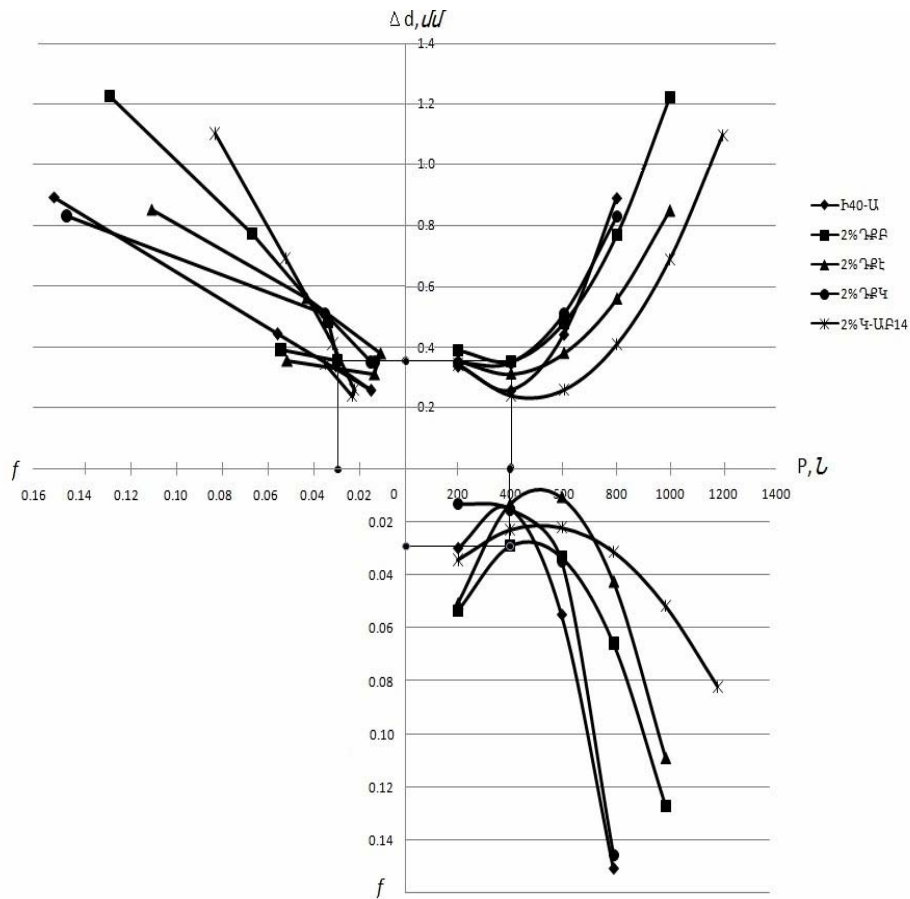
1. Նումոգրամ՝ $f - \Delta d - P$ պարամետրերով (նկ. 1).



Նկ. 1. $f - \Delta d - P - C$ նումոգրամը (T-40U + ԴՔԲ) քսայուղային կոմպոզիտի համար.
կորերը համապատասխանում են հավելանյութի 0%, 1%, 2% և 5%-ային պարունակությանը

Կոորդինատային I և II քառորդամասերում տրվում են $\Delta d = \varphi_2(P)$ և $f = \varphi_1(P)$ կապերը, իսկ III քառորդամասում՝ $\Delta d = \varphi_3(f)$ կապը յուրաքանչյուր առանձին հավելանյութի համար: Եթե նշված ֆունկցիաները ներկայացվում են կորերի ընտանիքների տեսքով, որոնցում պարամետրը C %-ային պարունակությունն է, ապա նումոգրամում փաստորեն ընդգրկվում են նաև $\Delta d = \varphi_{21,22}(B, C)$ և $f_{\Delta d} = \varphi_{8,9}(C)$, $f_{\Delta d} = \varphi_{14,15}(P, C)$, $\Delta d = \varphi_{18}(f, C)$ ֆունկցիաները: Արդյունքում ստացվում է 4 նումոգրամ՝ յուրաքանչյուր փորձարկված հավելանյութի (ԴՔԲ, ԴՔԷ, ԴՔԿ, Կ-ԱԲ14) համար:

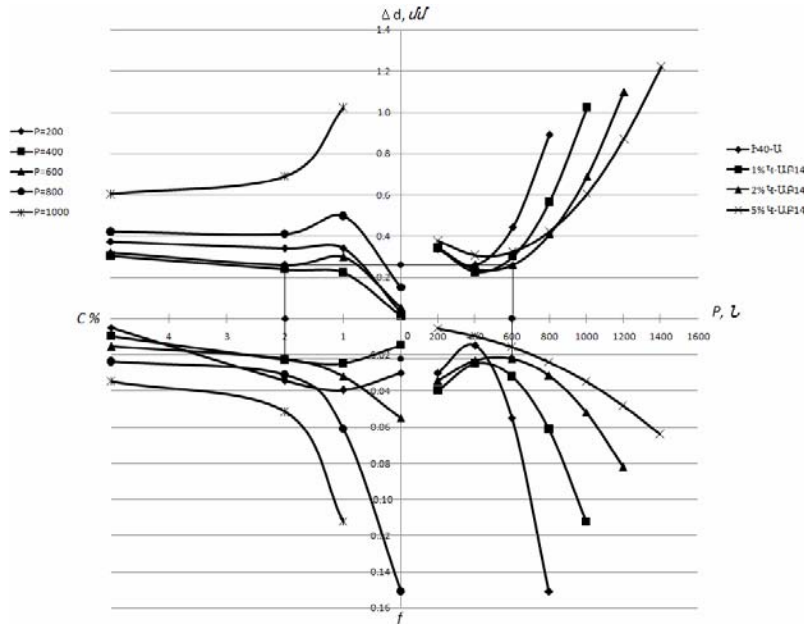
2. Նոմոգրամ՝ $f - \Delta d - P$ պարամետրերով (նկ. 2).



Նկ.2. $f - \Delta d - P - B$ նոմոգրամը հավելանյութերի 2%-ային պարունակության դեպքում.
կորերը համապատասխանում են $F-40U$, $(F-40U+F-F)$, $(F-40U+F-E)$, $(F-40U+F-G)$ և
 $(F-40U+F-U14)$ քայուղային կոմպոզիտներին

Նման է 1-ին նոմոգրամին, բայց այն տարբերությամբ, որ նշված նույն կոորդի-
նատային քառորդամասերում տրվում են $\Delta d = \varphi_2(P)$, $f = \varphi_1(P)$ և $\Delta d = \varphi_3(f)$ ֆունկ-
ցիաները որոշակի C %-ային պարունակության դեպքում, իսկ կորերի ընտանիքնե-
րում պարամետր է վերցվում B հավելանյութի տեսակը: Այս դեպքում օգտագործվում
են $f, \Delta d = \varphi_{6,7}(B)$, $f, \Delta d = \varphi_{12,13}(P, B)$, $\Delta d = \varphi_{17}(f, B)$ և $f, \Delta d = \varphi_{21,22}(BC)$ ֆունկցիաները:
Արդյունքում ստացվում է 3 նոմոգրամ՝ հավելանյութերի յուրաքանչյուր C %-ային
պարունակության (1%, 2%, 5%) համար առանձին-առանձին:

3. Նոմոգրամ՝ $f - \Delta d - P - C$ պարամետրերով (նկ. 3).



Նկ.3. $f - \Delta d - P - C$ նոմոգրամը (R-40U+ Կ-ԱԲ14) քայուղային կոմպրիմի համար. I և II քառորդամասերում կորերը համապատասխանում են հավելանյութի R-40U, 1%, 2% և 5%-ային պարունակությանը, իսկ III և IV քառորդամասերում՝ բեռնվածքի $P=200, 400, 600, 800$ և 1000 Ն արժեքներին

Կոորդինատային I և II քառորդամասերում տրվում են $\Delta d = \varphi_{15}(P, C)$ և $f = \varphi_{14}(P, C)$ ֆունկցիաները յուրաքանչյուր հավելանյութի համար՝ կորերի ընտանիքների տեսքով, որոնց պարամետրը C %-ային պարունակությունն է: III և IV քառորդամասերում ներկայացվում են նույն ֆունկցիաները, բայց դրանց արգումենտը C %-ային պարունակությունն է, իսկ կորերի ընտանիքների պարամետրը՝ P -ն, փորձերում ընդունված արժեքների համար՝ $P = 200, 400, 600, 800$ և 1000 Ն: Արդյունքում ստացվում է 4 նոմոգրամ՝ փորձարկված յուրաքանչյուր հավելանյութի համար:

Նոմոգրամներում ներկայացված ֆունկցիոնալ կապերի փոխկապակցությունը թույլ է տալիս որոշակի հերթականությամբ կատարվող գրաֆիկական քայլերով որոշել շփագիտական պարամետրերի ամբողջ արժեքները, եթե տրված է դրանցից որևէ մեկի ելակետային մեծությունը, ինչը թելադրված է իրագործվող հետազոտության, շփման հանգույցի նախագծման, շահագործման կամ տեխնիկական սպասարկման և նորոգման պահանջներով: Նկ.1-3-ում որպես օրինակներ տրված է նման մեծությունների որոշման հերթականությունը՝ կախված դրանցից որևէ մեկի նախապես տրված արժեքից:

Նոմոգրամների յուրաքանչյուր խմբում բացահայտվում են շփագիտական ցուցա-

նիշների արժեքների ձևավորման որոշակի առանձնահատկություններ, որոնք, հավանաբար, բխում են շփամաշվածքի միկրոկառուցվածքային մակարդակով ընթացող շփման մեխանիզմների ֆիզիկա-քիմիա-մեխանիկական բնույթից:

Նոմոգրամների 1-ին և 2-րդ խմբերում օգտագործված ֆունկցիոնալ կապերը և դրանց ներկայացումը բովանդակային առումով նույնական են, տարբերությունը միայն այդ ֆունկցիաների տարբեր խմբավորումներն են, որոնց շնորհիվ լուծվում են հետևյալ խնդիրները.

- 1-ին խմբում շեշտադրվում է նույն հավելանյութի տոկոսային տարբեր պարունակության ազդման բնույթը շփագիտական ցուցանիշների վրա,
- 2-րդ խմբում դիտարկվում է տարբեր հավելանյութերից տոկոսային նույն պարունակության պայմաններում լավագույնի ընտրության գործընթացը, որը կապահովի նույն ցուցանիշների լավարկային տարբերակը:

Նոմոգրամների 1-ին և 2-րդ խմբերի ֆունկցիաների համար բեռնվածքի $P = 200 \dots 1000$ Ն միջակայքում ընդհանրական են հետևյալ օրինաչափությունները.

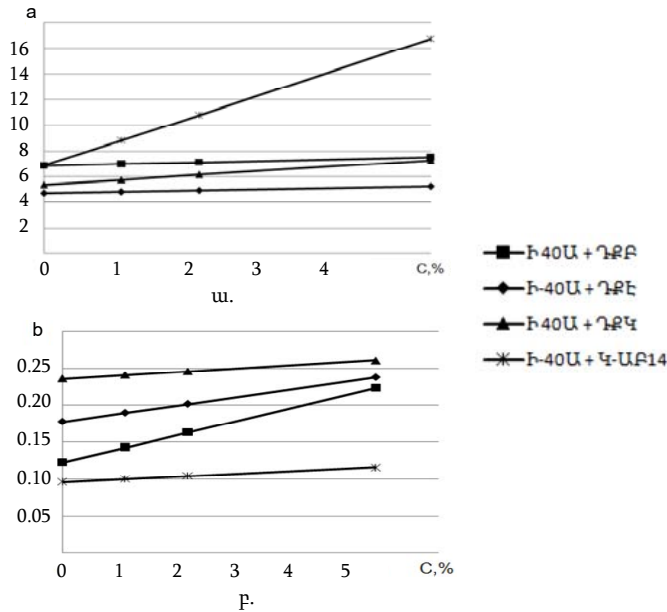
- $f, \Delta d = \varphi_{1,2}(P)$, $f, \Delta d = \varphi_{12,13}(PB)$ և $f, \Delta d = \varphi_{14,15}(PC)$ ֆունկցիաները բավարար ճշտությամբ նկարագրվում են 2-րդ կարգի պարաբոլական հավասարումներով [2-4],
- նշված ֆունկցիաների փոփոխման բնույթը P -ի միջակայքում, ինչպես նաև գրադիենտները նույնական են,
- դիտարկված հավելանյութերի շարքում անցումը ԴԲԲ-ԴՔԷ-ԴՔԿ-Կ-ԱԲ14, ինչպես նաև յուրաքանչյուր հավելանյութի C %-ային պարունակության մեծացումը 1%-ից մինչև 5 % հանգեցնում է $f, \Delta d$ պարամետրերի համեմատական աճի,
- $f = \varphi_1(P)$, $\Delta d = \varphi_2(P)$, ինչպես նաև $f = \varphi_{12}(P, B)$, $f = \varphi_{14}(P, C)$ և $\Delta d = \varphi_{13}(P, B)$, $\Delta d = \varphi_{15}(P, C)$ ֆունկցիաների՝ ըստ P -ի համատեղ լուծման արդյունքում ստացվում են $\Delta d = \varphi_3(f)$, $\Delta d = \varphi_{17}(f, B)$ և $\Delta d = \varphi_{18}(f, C)$ նոր ֆունկցիաներ, որոնք ուղղագծային են և P -ի մեծացման հետ մեկտեղ՝ ունեն համեմատական աճի միտումներ, ինչը նույնպես հաստատում է նշված ֆունկցիաների գրադիենտների նույնական փոփոխման միտումները: $\Delta d = \varphi_3(f)$, $\Delta d = \varphi_{17}(f, B)$ և $\Delta d = \varphi_{18}(f, C)$ ֆունկցիաներն ունեն թույլ արտահայտված պարաբոլական փոփոխման բնույթ, որն առաջին մոտարկմամբ կարելի է ներկայացնել

$$y_x = a + bx \quad (4)$$

տեսքով, որի a , b գործակիցները որոշվում են համաձայն [5]-ի: Այդ գործակիցներից a -ն բնորոշում է f -ի, Δd -ի ելքային մեծությունները Ի-40Ա մակնիշի յուղի համար, իսկ b -ն՝ փոփոխման ուժգնությունը (գրադիենտը)՝ կախված C %-ային պարունակությունից և հավելանյութերի B տեսակից (նկ.4): Տվյալներին համապատասխանող կորերի գծային մոտարկումից նկատելի է (նկ.4.ա) Ի-40Ա + Կ-ԱԲ14 յուղին համապատասխանող գծի թեքության անկյան կտրուկ աճ, ինչը բնութագրվում է հավելա-

նյութի բաղադրակազմում ազոտի պարունակությամբ և նշանակում է էլքային մեծությունների լավարկում:

Նկատելի է նաև շփամաշվածքային մեծությունների փոփոխման ուժգնությունը՝ կախված հավելանյութերի տեսակից (նկ 4.բ):



Նկ.4. a էլքային մեծությունների (w) և b ուժգնության (p) գործակիցների փոփոխման կախվածությունը Ի-40Ա յուղում հավելանյութերի C %-ային պարունակությունից (ԴՔԲ), (ԴՔԷ), (ԴՔԿ) և (Կ-ԱԲ14)

Նոմոգրամների 3-րդ խմբին հատկանշական են հետևյալ օրինաչափությունները.

- $P = 0 \dots 800$ Ն միջակայքում մաշվածքի չափը C %-ային պարունակությունից էական փոփոխություններ չի կրում, և ֆունկցիան 2-րդ կարգի պարաբոլին մոտ բնույթ է կրում,
- $P > 800$ Ն-ից սկսած՝ նշված ֆունկցիան ուղղագծային տեսք է ստանում, որոշ չափով առավել արտահայտված, բայց նույն բնույթով է փոխվում նաև $f = \varphi_8(C)$ ֆունկցիան, ինչը բխում է $f, \Delta d = \varphi_{14,15}(P, C)$ ֆունկցիաների համանման տեսքից,
- $C = 0 \dots 2\%$ -ային պարունակություն ունեցող յուղերում $f, \Delta d = \varphi_{14,15}(P, C)$ ֆունկցիան ունի 2-րդ կարգի պարաբոլային կապ, իսկ $C = 2 \dots 5\%$ -ային պարունակության արդյունքում ուղղագծայինին մոտ բնույթ է կրում:

Նշված փոփոխումների հաշվառմամբ, համաձայն [5]-ի, որոշված են ռեգրեսիայի հավասարումների պարամետրերը (աղ.2):

$f, \Delta d = \varphi_{8,9}(C)$ ռեգրեսիայի հավասարումները

№	Յուղի և հավելանյութերի անվանումը	Բեռնվածքը, Ն	Մաթեմատիկական մոդելը			
			$f = \varphi_8(C)$		$\Delta d = \varphi_9(C)$	
			1-պարաբոլային	2-ուղղագծային	1-պարաբոլային	2-ուղղագծային
1	Ի-40Ա + ԴՔԲ	200	$\bar{y}_{X_i} = 0,03 + 0,02x - 0,003x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,0001x + 0,05$	$\bar{y}_{X_i} = 0,89 - 0,50x + 0,22x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,42x - 0,02$
		400	$\bar{y}_{X_i} = 0,01 - 0,003x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,0001x + 0,03$	$\bar{y}_{X_i} = 0,26 - 0,04x + 0,046x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,34x + 0,01$
		600	$\bar{y}_{X_i} = 0,05 + 0,05x - 0,02x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,003x + 0,04$	$\bar{y}_{X_i} = 0,44 - 0,24x + 0,13x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,001x + 0,48$
		800	$\bar{y}_{X_i} = 0,15 - 0,01x + 0,05x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,01x + 0,09$	$\bar{y}_{X_i} = 0,89 - 0,50x + 0,22x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,056x + 0,88$
		1000	$\bar{y}_{X_i} = 0,096 + 0,029x - 0,007x^2$	-	$\bar{y}_{X_i} = 0,84 + 0,328x - 0,068x^2$	-
2	Ի-40Ա + ԴՔԷ	200	$\bar{y}_{X_i} = 0,03 - 0,002x + 0,006x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,001x + 0,05$	$\bar{y}_{X_i} = 0,34 - 0,07x + 0,05x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,01x + 0,41$
		400	$\bar{y}_{X_i} = 0,01 - 0,03x - 0,02x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,0001x + 0,01$	$\bar{y}_{X_i} = 0,25 - 0,02x + 0,01x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,025x + 0,40$
		600	$\bar{y}_{X_i} = 0,05 - 0,002x - 0,01x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,0001x + 0,01$	$\bar{y}_{X_i} = 0,44 - 0,20x + 0,11x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,065x + 0,61$
		800	$\bar{y}_{X_i} = 0,15 - 0,1x - 0,02x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,01x + 0,06$	$\bar{y}_{X_i} = 0,89 - 0,75x + 0,34x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,13x + 1,03$
		1000	$\bar{y}_{X_i} = 0,120 - 0,001x - 0,002x^2$	-	$\bar{y}_{X_i} = -0,196 + 1,08x - 0,185x^2$	-
3	Ի-40Ա + ԴՔԿ	200	$\bar{y}_{X_i} = 0,03 - 0,03x + 0,011x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,001x + 0,01$	$\bar{y}_{X_i} = 0,34 - 0,12x - 0,06x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,01x + 0,32$
		400	$\bar{y}_{X_i} = 0,0001x + 0,014$	$\bar{y}_{X_i} = 0,0001x + 0,015$	$\bar{y}_{X_i} = 0,24 - 0,064x - 0,01x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,03x + 0,41$
		600	$\bar{y}_{X_i} = 0,05 - 0,02x + 0,01x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,01x + 0,05$	$\bar{y}_{X_i} = 0,44 + 0,32x - 0,014x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,05x + 0,61$
		800	$\bar{y}_{X_i} = 0,15 + 0,001x - 0,001x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,03x + 0,2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,89 + 1,28x - 0,65x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,08x + 0,98$
4	Ի-40Ա + Կ-ԱԲ14	200	$\bar{y}_{X_i} = 0,03 + 0,02x - 0,007x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,01x + 0,05$	$\bar{y}_{X_i} = 0,03 + 0,47x - 0,16x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,01x + 0,32$
		400	$\bar{y}_{X_i} = 0,01 + 0,02x - 0,005x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,004x + 0,03$	$\bar{y}_{X_i} = 0,01 + 0,31x - 0,09x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,02x + 0,19$
		600	$\bar{y}_{X_i} = 0,05 - 0,03x + 0,006x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,002x + 0,03$	$\bar{y}_{X_i} = 0,05 + 0,39x - 0,14x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,02x + 0,22$
		800	$\bar{y}_{X_i} = 0,15 - 0,12x + 0,03x^2$	$\bar{y}_{X_i} = -0,002x + 0,04$	$\bar{y}_{X_i} = 0,15 + 0,56x - 0,22x^2$	$\bar{y}_{X_i} = 0,003x + 0,40$
		1000	$\bar{y}_{X_i} = 0,200 - 0,102x + 0,013x^2$	-	$\bar{y}_{X_i} = 1,507 - 0,560x + 0,075x^2$	-

Կատարված համալիր հաշվեգրաֆիկական հետազոտությունը թույլ է տալիս շփագիտական փորձարկումների արդյունքների ընդհանրացմամբ և համապատասխան մաթեմատիկական մոդելների ձևավորմամբ իրականացնել հիմնավորված տեխնիկական առաջարկություններ, քայլուղերում որոշել հավելանյութի անհրաժեշտ պարունակությունը և դրա հիման վրա բացահայտել շփագիտական պարամետրերի լավարկային արժեքները, որոնք բխում են նախագծվող շփահանգույցի աշխատանքային ռեժիմներից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Tribological Properties of Serpentine Nanoparticles as Oil Additive under Different Material Friction Pairs /Xiao Wen Qi, Zhi Nng Jia, Yu Lin Yang, Bing Li Fan, Lei Shi //Advanced Materials Research .- February, 2011.- Vol. 199 – 200.- P. 1051-1057.
2. **Բոնիաթյան Բ.Ռ., Սարոյան Վ.Վ., Պողոսյան Ա.Կ., Ստակյան Մ.Գ.** Օրգանական հավելանյութերով յուղերի շփագիտական փորձարկումների արդյունքների վիճակագրական մշակումը// Հայ. ճարտ. ակադ. Տեղեկագիր.-2011.-Հ.8, №1.-Էջ 99 -104:
3. **Բոնիաթյան Բ.Ռ., Սարոյան Վ.Վ., Պողոսյան Ա.Կ., Ստակյան Մ.Գ.** Քլոր պարունակող հավելանյութերի կիրառմամբ քայլուղերի շփման գործակցի արժեքների վիճակագրական մշակումը // Հայ. ճարտ. ակադ. Տեղեկագիր.-2011.-Հ.8, №2.-Էջ 332 -335:
4. **Pogosian A., Boniatian Ch., Saroyan W., Stakyan M.** Statistical analyses of Tribological Properties of Several Chlorinated Compounds in Mineral Oil// Proc.Inter. Conf. Balttrib.-2011.- P. 69-73.
5. **Ստակյան Մ. Գ.** Գիտափորձի արդյունքների վիճակագրական մշակման մեթոդները: Ուս. ձեռն.-Երևան, 2003. -100 էջ:
6. **Хованский Г.С.** Основы номографии.-М.: Наука, 1986.-352с.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.11.2011:

К.Р. БОНИАТЯН, А.К. ПОГОСЯН, М.Г. СТАКЯН, В.В. САРОЯН

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СМАЗОК С ОРГАНИЧЕСКИМИ ПРИСАДКАМИ

По результатам испытаний получены данные, выявляющие влияние процентного содержания органических присадок на коэффициенты трения и величину износа, что улучшает антифрикционные свойства смазки марки И-40А при разных нагрузках. Для практического применения действующих многомерных связей между рассмотренными параметрами построены номограммы, позволяющие определить их величины, используя полученные уравнения двумерной регрессии.

Ключевые слова: коэффициент трения, величина износа, смазка, присадка, граничная смазка, номограмма.

CH.R. BONIATIAN, A.K. POGOSIAN, M.G. STAKYAN, W.V. SAROYAN
COUNTABLE GRAPHICAL METHOD OF TRIBOLOGICAL PARAMETER
OPTIMIZATION BY ORGANIC ADDITIVE LUBRICANTS

As a result of experiments, data which reveal the anti-friction characteristics of I-40A base oil in the form of improving organic additives and their percentage influence on friction coefficient and wear value according to the load are obtained. Nomograms are constructed for numerous connections present among mentioned parameters which by various combinations allow defining the mentioned values using two-dimensional regression equations.

Keywords: friction coefficient, wear value, lubricant, additive, boundary lubrication, wear, nomogram.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Տ.Ն. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀՐԱՍՈՒՐ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔԻ ՍՈՂՔԻ ԵՎ
ԵՐԿԱՐԱԺԱՄԿԵՏ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

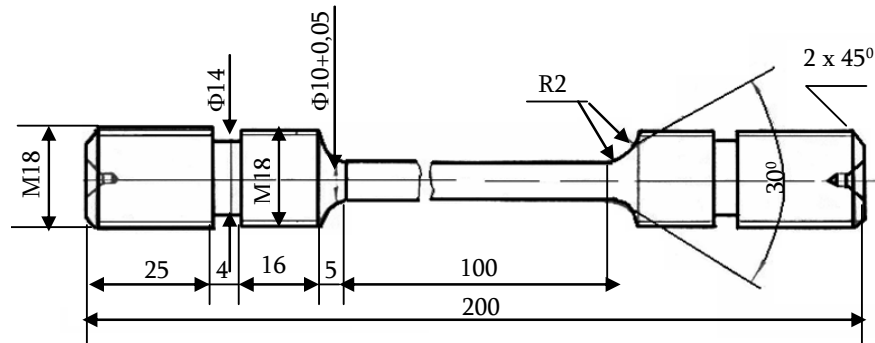
Հետազոտվել են $2,5\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Ni+1,2\%Fe+Al_{96}$ բաղադրությամբ փոշեհամա-
ձուլվածքի սողքի գործընթացը և երկարաժամկետ ամրության փոփոխությունը տարբեր
ջերմաստիճաններում՝ տարբեր սկզբնական լարումներով բեռնավորման ժամանակ՝ միառանցք
ձգման և սեղմման պայմաններում: Բացահայտվել է, որ հոսունության կորերի վերջին հատ-
վածներում հոսունության արագությունն անընդհատ աճում է լարման մեծացման հաշվին,
որն արդյունք է նմուշի լայնական կտրվածքի մակերեսի փոքրացման: Ձգման և սեղմման
միևնույն պայմանների դեպքում կատարված սողունության փորձարկման արդյունքում
հաստատվել է ոչ զգալի տարբերություն սողունության կորերի միջև, հատկապես երբ
դեֆորմացիաները նվազագույնն են:

Առանցքային բառեր. տաք արտամղում, փոշեհամաձուլվածք, ձգում, սեղմում, սողք,
լարում, երկարաժամկետ ամրություն, հոսունության սահման:

Սողքի և երկարաժամկետ ամրության հետազոտման համար մեծ տարածում
է ստացել միառանցք ձգման փորձարկումը հաստատուն լարման պայմաններում
[1], որի արդյունքում ստացվում են նյութի հոսունության կորեր՝ դեֆորմացիայի (ε)
կախվածությունը ժամանակից (τ) կոորդինատներով: Հաստատուն ձգման ուժի դեպ-
քում միայն փոքր դեֆորմացիաների ժամանակ, սովորաբար՝ ոչ ավել 5%-ից, լարումը
մոտավորապես կարելի է համարել հաստատուն: Հետազոտում լայնակի կտրվածքի
մակերեսի փոքրացման հաշվին լարումը մեծանում է:

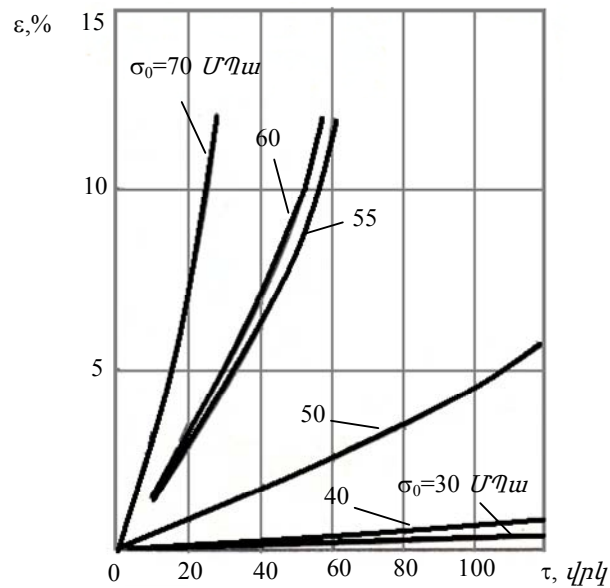
Օպտիմալ բաղադրությամբ բովախառնուրդից ($2,5\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Ni+$
 $+1,2\%Fe+Al_{96}$) պատրաստված մամլվածքները ($\Phi 40$ մմ, $h=50$ մմ) ենթարկվել են տաք
արտամղման $T_w=525^{+10}$ °C ջերմաստիճանում 30 րոպե ջրածնի միջավայրում պահելուց
հետո: Արտամղման գործակիցը վերցվել է 5 [2]: Ստացված նախապատրաստվածք-
ներից մեխանիկական մշակմամբ պատրաստվել են փորձանմուշներ նկ. 1-ում բերված
չափերով, որոնք ենթարկվել են ջերմային մշակման ($t_d=500...525$ °C, միսման ժամա-
նակ պահման տևողությունը՝ $\tau_d=45$ րոպե, ծերացման ջերմաստիճանը՝ $t_s=200...225$ °C
և ծերացման ժամանակ պահման տևողությունը՝ $\tau_s=30...35$ ժամ):

Սողքի փորձարկումները կատարվել են “AUMA-5” մակնիշի ձգման մեքենայի
վրա տարբեր ջերմաստիճաններում և տարբեր նախնական լարումներով ($\sigma_0=F/A_0$):
Կարճաժամկետ փորձարկման արդյունքները բերված են նկ. 2-4-ում:

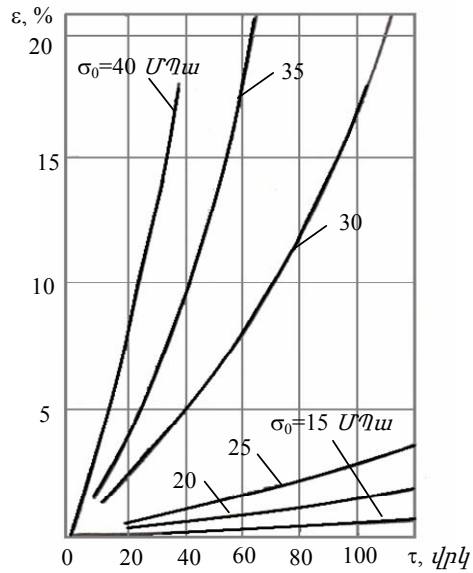


Նկ. 1. Գլանաձև նմուշ

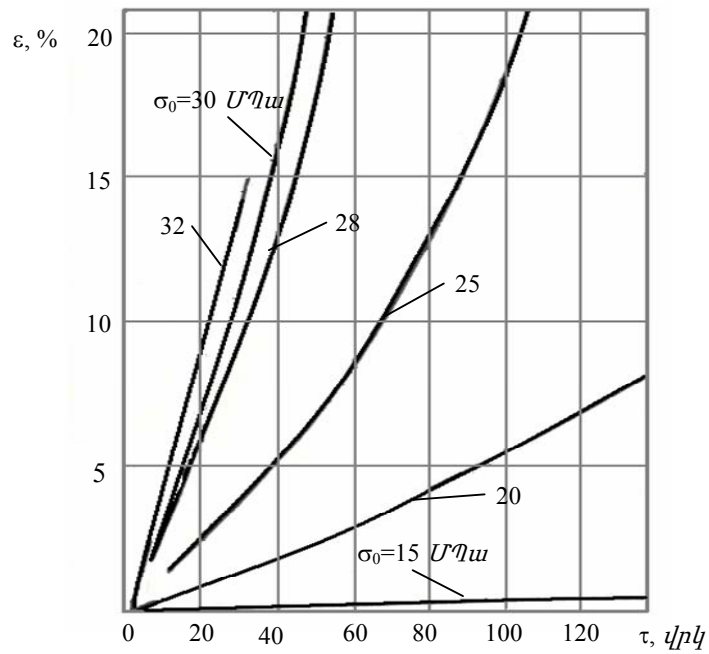
Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, 3-ից և 4-ից, հոսունության կորերի սկզբնական հատվածն ուղղագիծ է, այսինքն՝ ամրացումը բացակայում է: Կորագիծ հատվածի առկայությունը կամ բացակայությունը, որը բացատրվում է ամրացման մեխանիզմով, որոշվում է սկզբնական լարման մեծությամբ և ջերմաստիճանով:



Նկ. 2. $2,5\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Ni+1,2\%Fe+Al_{90}$ հրամուր ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի սողքի կորերը $400^{\circ}C$ -ում տարբեր սկզբնական լարումներով բեռնավորման ժամանակ

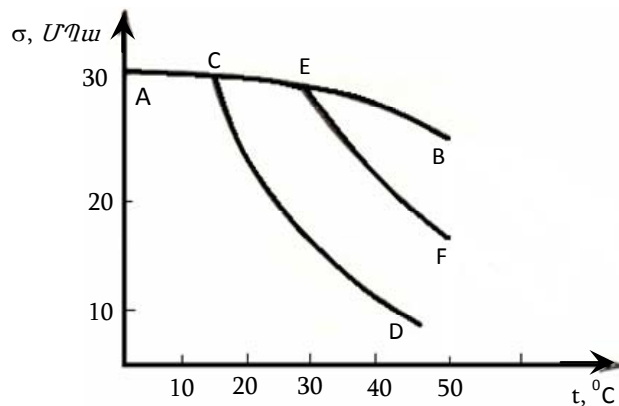


Նկ. 3. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al_{0,05} հրամուր ալյումինային փռչեհամաձուլվածքի սողքի կորերը 450°C-ում տարբեր սկզբնական լարումներով բեռնավորման ժամանակ



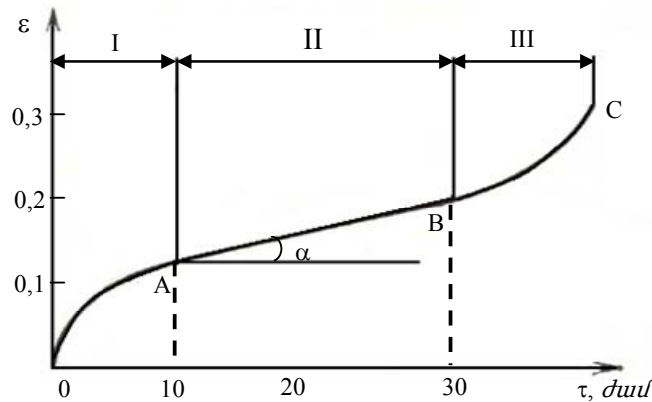
Նկ. 4. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al_{0,05} հրամուր ալյումինային փռչեհամաձուլվածքի սողքի կորերը 475°C-ում տարբեր սկզբնական լարումներով բեռնավորման ժամանակ

Նկ. 5-ում AB գծով ցույց է տրված համաձուլվածքի ամրության սահմանի կախվածությունը ջերմաստիճանից: Այն լարումների և ջերմաստիճանների համար, որոնք գտնվում են այս գծից վերև, բեռնավորումն առանց վայրկենական քայքայման հնարավոր չէ: CD գիծը բաժանում է այն տիրույթը (իրենից ձախ), որտեղ հոսունություն համարյա չի դիտվում: Մնացած տիրույթը BCD, որտեղ հոսունությունը զգալիորեն մեծ է, կիսվում է երկու մասի: Ցածր լարումների և ջերմաստիճանների համար (FECB տիրույթ) հոսունության կորի վրա առաջանում է կորագիծ հատված, իսկ մեծ լարումների և ջերմաստիճանների դեպքում (BEF տիրույթ) հոսունությունն առաջանում է առանց առաջին փուլի: Հոսունության կորերի վերջին հատվածներում (նկ. 2-4) հոսունության արագությունն անընդհատ աճում է լարման մեծացման հաշվին, որը տեղի է ունենում նմուշի լայնական կտրվածքի մակերեսի փոքրացման պատճառով:



Նկ. 5. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₆₆ հրամուր ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի ամրության կախվածությունը ջերմաստիճանից

2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₆₆ հրամուր ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի համար սողունության կորը 450 °C $\sigma_0=30$ ՄՊա լարմամբ բեռնավորման դեպքում ունի նկ. 6-ում պատկերված տեսքը: Նմուշի բեռնավորման արդյունքում առաջանում է դեֆորմացիա, ընդ որում, եթե լարումը չի գերազանցում համեմատականության սահմանը, ապա այն առաձգական է, հակառակ դեպքում այն բաղկացած է առաձգականից և պլաստիկից: Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, լարման աճի ընդհատումից հետո տաքացված նմուշի լրիվ դեֆորմացիան անընդհատ մեծանում է ժամանակի ընթացքում (OABC գիծը): OABC գծի AB ուղղագծային մասի և աբսցիսների առանցքի կազմած α անկյան տանգենսը բնութագրում է սողունության դեֆորմացիայի արագությունը, այսինքն՝ նմուշի երկարացումը տոկոսներով մեկ ժամում, որը հավասար է 0,001%:



Նկ. 6. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₀ հրամուր պլյումինային փռչեհամաձուլվածքի սողունության կորը 30 ՄՊա լարման ազդեցության դեպքում

Ինչպես երևում է փորձից, սողունության կորը կարելի է բաժանել 3 փուլի (նկ. 6): 1-ին փուլում (OA տիրույթ) սողունության դեֆորմացիայի արագությունը աստիճանաբար նվազում է, որը բացատրվում է համաձուլվածքի մեխանիկական ամրացմամբ և ջերմության թուլացմամբ: Այս փուլում գլխավոր դեր ունի մեխանիկական ամրացումը, ինչը պայմանավորված է սողունության դեֆորմացիայի աճով:

Երկրորդ փուլում (AB տիրույթ) տեղի է ունենում հավասարակշռում մեխանիկական ամրացման և ջերմային ապաստարացման միջև, և սողունության գործընթացն ընթանում է հաստատուն արագությամբ ժամանակի ընթացքում, որը կախված է լարումից և ջերմաստիճանից: Այս տիրույթի երկարությունը նվազում է լարման աճին զուգընթաց: Մեծ լարումների դեպքում այն կարող է լինել շատ փոքր:

Սողունության երրորդ փուլում դեֆորմացիայի արագության աճը բացատրվում է նմուշում դեֆորմացիայի տեղայնացմամբ (վզիկի առաջացում), կարող են առաջանալ նաև ճաքեր, որոնք զարգանում են նյութում ժամանակի ընթացքում լարման և ջերմաստիճանի ազդեցության տակ, որի հետևանքով տեղի է ունենում նմուշի ամրության փոքրացում: Այս երևույթը համարժեք է նմուշի լայնական կտրվածքի մակերեսի նվազմանը:

Համաձայն [3, 4] գրականության տվյալների, սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագության կախվածությունը լարումից ունի հետևյալ տեսքը.

$$\dot{\epsilon}^c_{\min} = \dot{\epsilon}^c_{\min} \left(\frac{\sigma}{\sigma_*} \right)^n : \quad (1)$$

Այս բանաձևում σ_* -ն լարման կամայական մեծությունն է, որը կարելի է ընդունել որպես նյութի համեմատականության կամ հոսունության սահման փորձնական ջերմաստիճանի ժամանակ կամ՝ ուղղակի կլոր թիվ (10 կամ 100 ՄՊա), $\dot{\epsilon}^c_{\min}$ -ը և n -ը դիտարկվող նյութի համար կախված են ջերմաստիճանից, ընդ որում,

$\xi^{\circ\text{min*}}$ -ը համարվում է սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագություն σ^* լարման ժամանակ:

Լոգարիթմելով (1) բանաձևը՝ կստանանք.

$$\lg \xi^{\circ\text{min}} = \lg \xi^{\circ\text{min*}} + n \lg \left(\frac{\sigma}{\sigma^*} \right), \quad (2)$$

որտեղից հետևում է գծային կախվածության իրական լինելը սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագության լոգարիթմի և լարման լոգարիթմի միջև: Որոշակի ջերմաստիճանում և տարբեր լարումներով ստացված սողունության կորերը վերադրելով՝ կարելի է որոշել $\xi^{\circ\text{min*}}$ և n մեծությունները: Դրա համար սկզբում հաշվի է առնվել սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագությունը տարբեր լարումների ժամանակ և ստացված արդյունքների՝ վիճակագրական մշակման ենթարկվածությունը: Նկ. 7-ում լոգարիթմական կոորդինատներով պատկերված են սկզբնական լարման կախվածությունը սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագությունից՝ տարբեր ջերմաստիճանների ժամանակ, մշակված այլումինային համաձուլվածքների համար, որոնց սողունության կորերը բերված են նկ. 2-4-ում: Բնչպես երևում է նկ. 7-ից, փորձական ստացված կետերը հաստատում են (2) կախվածությունը: Մշակված համաձուլվածքի համար աստիճանի ցուցիչը $400 \dots 475^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային միջակայքում գործնականում չի փոփոխվում՝ $n=7$: $\xi^{\circ\text{min*}}$ գործակցի արժեքը $\sigma^*=10$ ՄՊա-ի դեպքում բերված է նկ. 7-ի մակագրության մեջ:

$\xi^{\circ\text{min*}}$ մեծության կախվածությունը ջերմաստիճանից կարող է ունենալ հետևյալ տեսքը [5].

$$\xi^{\circ\text{min*}} = \bar{\xi}^{\circ\text{min*}} \exp[b(T - T_0)], \quad (3)$$

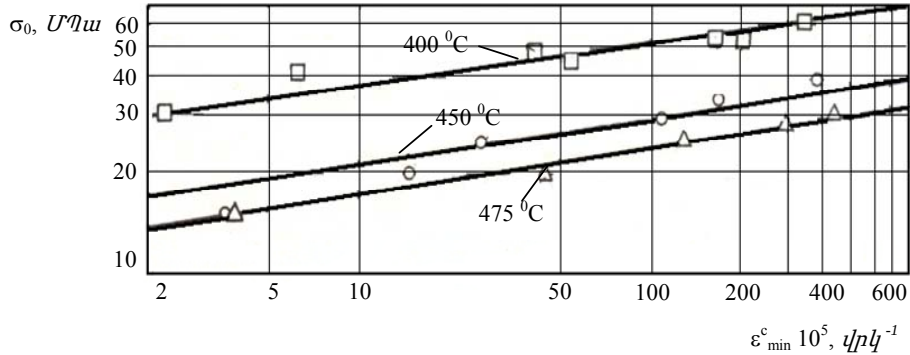
որտեղ $\xi^{\circ\text{min*}}$ -ը հաստատուն է և կախված է σ^* ընտրված լարումից; T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը, b -ն և T_0 -ն նյութի համար հաստատուններ են:

Սողունության կորերի հավասարումները, որոնք պատկերում են գործընթացի I և II փուլերը հաստատուն լարման և ջերմաստիճանի դեպքում, առաջարկված են տարբեր հետազոտողների կողմից, որոնց կարելի է բաժանել 2 խմբի: 1-ին խմբի կողմնակիցներն ընդունում են հիպոթեզ այն մասին, որ τ և ε° կոորդինատներով սողունության կորերը տարբեր լարումների ժամանակ և միևնույն ջերմաստիճանի դեպքում երկրաչափորեն նման են:

Սա նշանակում է, որ սրանք կարող են ստացվել մի կորից, որը համարվում է լարման ֆունկցիա: Հետևաբար, սողունության դեֆորմացիայի կախվածությունը լարումից և ժամանակից գրանցվում է երկու ֆունկցիայի տեսքով, որոնցից մեկը՝ Q -ն, համարվում է լարման և ջերմաստիճանի ֆունկցիա, իսկ մյուսը՝ Ω -ն, ժամանակի և ջերմաստիճանի ֆունկցիա՝

$$\varepsilon^{\circ} = Q\Omega: \quad (4)$$

2-րդ խմբի կողմնակիցներն ընդունում են, որ սողունության դեֆորմացիան կարող է ներկայացվել հետևյալ տեսքով՝



Նկ. 7. 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₆ հրամուր ալյումինային փռչեհամաձուլվածքի սկզբնական լարման կախվածությունը սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագությունից, որոնց սողքի կորերը բերված են նկ. 2-4-ում

$$\mathcal{E}^c = Q_1\psi + Q_2\tau, \quad (5)$$

որտեղ Q_1 -ը և Q_2 -ը լարման և ջերմաստիճանի ֆունկցիաներն են, իսկ ψ -ն՝ ժամանակի և ջերմաստիճանի ֆունկցիան: Ընդ որում, ժամանակի աճման հետ ֆունկցիան արագ նվազում է: Այսպիսով, ժամանակի փոքր արժեքների դեպքում (5) արտահայտության 2-րդ բաղադրիչը, առաջինի համեմատ, կարելի է անտեսել: Այդ դեպքում սողունության գործընթացը նկարագրվում է առաջին բաղադրիչով (սողունության I փուլ): Ինչպես երևում է 1-ին բաղադրիչի կառուցվածքից, սողունության կորերն առաջին փուլում երկրաչափորեն նման են:

Ժամանակի մեծ արժեքների դեպքում կարելի է անտեսել առաջին բաղադրիչը, և այդ դեպքում սողունության գործընթացը նկարագրվում է հավասարման 2-րդ բաղադրիչով, որից էլ հետևում է, որ սողունության դեֆորմացիայի կախվածությունը ժամանակից 2-րդ փուլում գծային է: Q_2 ֆունկցիան ներկայացնում է սողունության նվազագույն դեֆորմացիայի արագությունը:

Q , Q_1 , Q_2 և ψ ֆունկցիայի մասին տարբեր առաջարկություններ բերված են [3, 4] գրականության մեջ: (5) բանաձևից $Q_1=Q_2=Q$ ժամանակ ստացվում է (4) բանաձևը: Այն համարվում է (5) բանաձևի մասնակի դեպք:

Էնդրեյդոմի կողմից առաջարկվել է նմուշի երկարության՝ ժամանակից կախվածության բանաձև մեծ դեֆորմացիաների դեպքում՝

$$l = l_0 \left(1 + \beta t^{1/3} \right) e^{kt}, \quad (6)$$

որտեղ l_0 -ն նմուշի սկզբնական երկարությունն է, β -ն և k -ն՝ փորձարկվող նյութի համար լարման և ջերմաստիճանի ֆունկցիաները: Հետևաբար, սողունության դեֆորմացիայի լոգարիթմական մեծությունը հավասար է՝

$$\bar{\mathcal{E}}^c = \ln(l/l_0) = \ln \left(1 + \beta t^{1/3} \right) + k\tau, \quad (7)$$

իսկ նրա արագությունը՝

$$\varepsilon^c = \beta [3(\tau^{2/3} + \beta\tau)]^{-1} + k :$$

Այսպիսով, ըստ Էնդրեյդոմի՝ սողունությունը կարելի է դիտարկել որպես 2 տիպի հոսքի վերադրում. “ β հոսք”, որն առաջանում է նվազագույն արագությամբ, և “ k ” հոսք, որի արագությունը հաստատուն է: (7) բանաձևից, մասնավորապես՝ փոքր դեֆորմացիաների դեպքում, կստանանք՝

$$\varepsilon^c = \beta\tau^{1/3} + k\tau,$$

որը համընկնում է (5)-ի հետ:

Ակնհայտ է, որ (5) բանաձևը համարվում է առավել ճկուն և թույլ է տալիս ճշգրիտ նկարագրել սողունության կորերը, քան (4) բանաձևը, որը տալիս է գործնականում բավարար ճշտության աստիճան: Դրա հետ մեկտեղ՝ այն հեշտ է օգտագործել, քան (5) բանաձևը, և այդ պատճառով ավելի հարմար է հաշվարկման համար: Եթե ենթադրենք, որ Q -ն (4) բանաձևում համարվում է լարման աստիճանական ֆունկցիա, որը համընկնում է բերված նախկին դեֆորմացիայի նվազագույն արագություն-լարում կախվածությանը (1), ապա անցում կկատարենք սողունության դեֆորմացիայի հաջորդ կախվածությանը լարումից և ժամանակից.

$$\varepsilon^c = (\sigma/\sigma_*)^n \Omega : \quad (8)$$

Ω ժամանակի ֆունկցիան, որը չունի չափողականություն, չի կարող մոտարկվել անալիտիկ կախվածություններով, քանի որ սողունության համար հաշվարկները հնարավոր է կատարել առանց մոտարկման:

Քանի որ $\tau=0$ դեպքում $\varepsilon^c=0$, ապա $\tau=0$ -ի դեպքում $\Omega=0$: Դիֆերենցելով (8) բանաձևն ըստ ժամանակի՝ կստանանք.

$$\varepsilon^c = (\sigma/\sigma_*)^n B, \quad (9)$$

$$B = \frac{d\Omega}{d\tau} : \quad (10)$$

Ինչպես նշվել է վերևում, 2-րդ փուլում սողունության գործընթացն ընթանում է հաստատուն արագությամբ: Ուստի 2-րդ փուլում

$$B = \xi_{\min}^c, \quad (11)$$

և, հետևաբար, համաձայն (10)-ի.

$$\Omega = a + \xi_{\min}^c \tau,$$

որտեղ a -ն գծային մասի շարունակության հատող կտրվածքն է, որը բերված է նկ. 7-ում Ω կախվածությունը τ -ից օրդինատային առանցքի վրա:

Ակնհայտ է, որ (9) և (11) բանաձևերը հանգեցնում են դեպի (1) բանաձևին:

Այսպիսով, ինչպես նշվեց վերևում, սողունության կորի հավասարման (8) ըն -

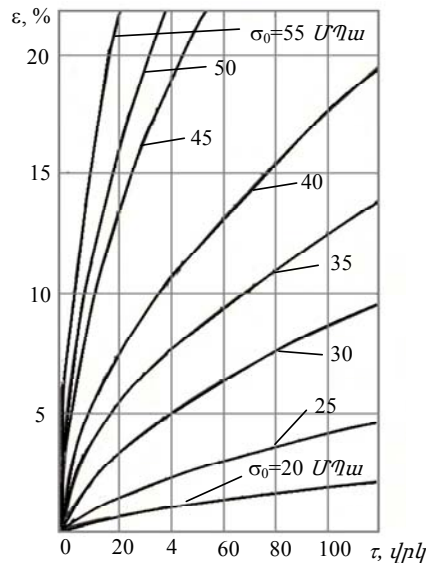
դրված բանաձևը չի հակադրվում (1) կախվածությունը:

Սողունության պայմաններում միառանգք սեղմում իրականացնելը բավականին դժվար է, քան միառանգք ձգումը, քանի որ առաջանում է շփման ուժ նմուշի ճակատի և մամլիչի սալերի հպման հարթության միջև, որն առաջ է բերում նմուշի տակառաձևություն և միառանգք լարվածային վիճակի խախտում:

Սեղմման ժամանակ սողունության փորձարկումները կատարվել են Լիխարևի կողմից օգտագործված նմուշների վրա [3], որոնցում նմուշի հիմնական մասի միառանգք սեղմման և, հետևաբար, դեֆորմացման գլանային ձևը ստացվում է ի հաշիվ նմուշի կոնական ճակատային մակերևույթին ճնշում գործադրելով, որում կոնական անկյունը $90-\alpha$ է, որտեղ α -ն շփման անկյունն է:

Ձգման և սեղմման միևնույն պայմանների դեպքում կատարված սողունության փորձարկման արդյունքում հաստատվել է ոչ զգալի տարբերություն սողունության կորերի միջև, երբ դեֆորմացիաները նվազագույնն են:

Նկ. 8-ում պատկերված են ստացված փոշեհամաձուլվածքի կարճատև սողունության կորերը հաստատուն ուժով սեղմման ժամանակ: Հետաքրքիր է նշել, որ սողունության կորերի սկզբնական մասերը ձգման ժամանակ ունեն ուղիղ գծի տեսք, իսկ սեղմման ժամանակ՝ կորագծային: Միևնույն պայմանական լարման համար սողունության կորերի սկզբնական մասերը սեղմման ժամանակ տեղաբաշխված են ավելի վերև, քան ձգման ժամանակ:



Նկ. 8. $2,5\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Ni+1,2\%Fe+Al_{96}$ ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի սողունության կարճաժամկետ կորերը (փորձարկման ջերմաստիճանը $450^\circ C$), որոնք ստացվել են սեղմման փորձարկման արդյունքում միևնույն $\sigma(0)$ սկզբնական լարման ժամանակ

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Малинин Н.Н.** Ползучесть в обработке металлов.- М.: Машиностроение, 1986.- 216с.
2. **Աղբալյան Ս.Գ., Սաֆարյան Տ.Ն., Անդրիասյան Ա.Վ., Պետրոսյան Ա.Ա.** Ալյումինային հրամուր փոշեհամաձուլվածքի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը տաք արտամղմամբ և կառուցվածքի ու հատկությունների հետազոտումը// ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- 2011.-Հատ.LXIV, N1.- էջ 15-21:
3. **Малинин Н.Н.** Основы расчетов на ползучесть.- М.: Машгиз, 1948.- 120 с.
4. **Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К.** Расчеты на прочность в машиностроении.- М.: Машгиз, 1956.- Т. I.- 884 с.; 1958.- Т. II.- 974 с.
5. **Шестериков С.А.** Расчет дисков на релаксацию // Ж. технической физики.- 1960.- № 1.- С. 117-120.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.10.2011:

С.Г. АГБАЛЯН, Т.Н. САФАРЯН, А.В. АНДРИАСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ И ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ

Исследованы процессы ползучести и длительной прочности порошкового сплава состава 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2Fe%+Al_{ост} при различных температурах и начальных напряжениях в условиях одноосных растягивающих и сжимающих нагрузок. В результате выполненных испытаний на ползучесть в одинаковых условиях при растягивающих и сжимающих нагрузках выявлено незначительное отклонение между кривыми ползучести, особенно при минимальных деформациях.

Ключевые слова: горячая экструзия, порошковый сплав, растяжение, сжатие, ползучесть, напряжение, длительная прочность, предел текучести.

S.G. AGHBALYAN, T.N. SAFARYAN, A.V. ANDRIASYAN

RESEARCH ON CREEPING AND GREEP-RUPTURE STRENGTH OF HEAT- RESISTANT ALUMINIUM POWDER ALLOYS

The processes of creeping and greeep-rupture strength for the powder alloy of 2.5% Cu+1.8% Mg + 1.2% Ni +1.2 Fe% + Al_{rem} at different temperatures and different initial tensions in a uniaxial tensile and compressive loads are studied. As a result of creep tests performed under identical conditions in the tensile and compressive loads, a slight deviation between the curves of creeping, especially at the lowest deformation is revealed.

Keywords: hot extrusion, powder alloy, tensile, compression, creeping, stress rupture strength, yield strength.

А.И. САГРАДЯН, С.Г. МАМЯН, А.А. ПАПАЗЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ ПРИРАБОТКИ ТРЕНИЕМ

Установлено, что для пар трения резец-сходящая стружка при выбранных режимах приработки стали 45 резцами из быстрорежущих сталей P18 и безуглеродистых быстрорежущих сплавов B14M7K25 для повышения износостойкости инструмента большой интерес представляет технологический прием упрочнения тонких поверхностных слоев путем модификации структур передней поверхности контакта готовых инструментов с применением метода приработки трением. Данный прием в технологическом цикле изготовления инструмента без применения особых энергозатрат рассматривается как финишная операция.

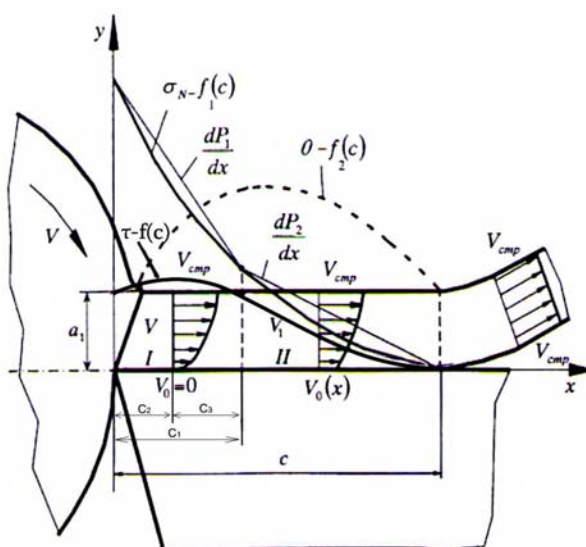
Ключевые слова: деформация, температура, дислокация, энтропия, приработка трением, упрочнение, микротвердость.

Чрезвычайно важную, а в ряде случаев определяющую роль в машиностроении и, в частности, в металлообработке играют вопросы, касающиеся инженерии поверхности твердого тела. Современные теоретические и технологические положения пластической деформации металлов основаны на физике и механике твердого тела, физическом материаловедении, физической химии и теории деформационного трения. Как известно, причина низкого ресурса деталей и инструментов связана преимущественно с недостаточной прочностью, износостойкостью и коррозионной устойчивостью их поверхностных слоев.

Существует множество методов упрочнения тонких поверхностных контактных слоев пар трения сопряженных деталей в конструкциях машин и механизмов, а также металлорежущих инструментов, изготовленных из инструментальных сталей и сплавов, в частности, из различных быстрорежущих сталей и безуглеродистых быстрорежущих сплавов. К таким методам относятся: пластическая деформация, термомеханическая обработка, химико-термическая обработка, радиационные методы модификации и упрочнения (лазерная обработка тонких поверхностных слоев, обработка мощными ионными пучками, а также низкими и высокоэнергетическими сильноточными электронными пучками) [1,2].

Целью настоящей работы является упрочнение тонких поверхностных слоев передней поверхности инструмента в процессе резания путем воздействия сходящей стружки при выбранных температурно-силовых характеристиках, создания новых структурных образований с повышенными физико-механическими свойствами методом приработки трением.

Экспериментами выявлено, что трение является самоорганизующейся системой, при которой возникают неравновесные процессы деформации и теплопередачи. Последние становятся элементами образующихся новых структур на тонких поверхностных слоях контакта инструмента под воздействием сходящей стружки (рис.1) [3].



При этом деформации, возникающие особенно на пластическом участке контакта и формирования новых структур, приводят к повышению неравновесности и уменьшению энтропии - S , увеличению свободной энергии Гиббса ($G=E-TS+PV$) на тонких поверхностных слоях, интенсифицируя возможность наибольшей самоорганизации структур. Самоорганизация новых структур в тон-

ком поверхностном слое инструмента под воздействием силовых и тепловых характеристик в процессе резания, порожденных потоком свободной энергии, представляет собой особое состояние структуры, образующейся в результате обмена энергией на поверхности контакта инструмента со сходящей стружкой, что приводит к уменьшению энтропии и самообразованию новых структур с более износостойкими характеристиками, особенно на участке пластического контакта.

В процессе резания изменение энтропии можно рассматривать по [4]:

$$dS = dS_e + dS_i,$$

где dS_e - внешний вклад энтропии за счет обмена теплотой и веществом с внешней средой, т.е. между инструментом и сходящей стружкой, регулируемой параметрами режимов резания и свойствами инструментальных и обрабатываемых материалов;

dS_i - изменение энтропии в результате процесса внутри системы.

Энтропия уменьшается, если ее отдача в единицу времени превышает ее производство внутри системы:

$$P = \frac{dS_e}{dt}, \text{ т.е. } \frac{dS}{dt} < 0, \text{ если } \left| \frac{dS_e}{dt} \right| > P > 0.$$

Указанная ситуация возможна в неравновесных процессах, каким является процесс резания, так как в равновесном состоянии преобладает $dS_i > 0$. Этим обусловлено повышение энергии в поверхностном слое и образование новых структур в тонких поверхностных слоях инструмента с применением метода приработки трением.

В процессе приработки трением под воздействием деформационно-температурных факторов, обеспечивающих наибольшие значения сил резания и наименьшие температуры контакта (рис.2) при режимах: $V = 10 \text{ м/мин}$; $S = 0,30 \text{ мм/об}$, $t = 2,0 \text{ м}$ при обработке стали 45 резцами из быстрорежущих сталей P18 и безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением B14M7K25, соответственно имеем $P_z = 1600 \text{ Н}$, $\theta = 380^\circ\text{C}$, время приработки трением $T = 5 \text{ мин}$; $P_z = 1730 \text{ Н}$, $\theta = 350^\circ\text{C}$, $T = 5 \text{ мин}$ (рис.2).

В условиях вышеуказанных режимов и времени воздействия термодинамических характеристик на контактные поверхностные слои инструмента в процессе приработки трением в связи с повышением дислокации и самоорганизации новых структур повышается комплекс физико-механических свойств в тонких рабочих поверхностях контакта на исследуемых инструментах толщиной соответственно 180 и 150 мкм резцов из P18 и B14M7K25 при обработке стали 45.

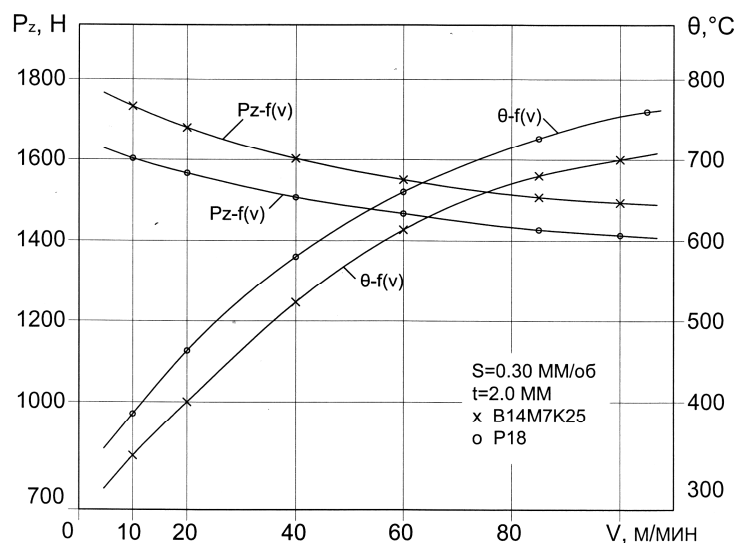


Рис.2. Зависимость вертикальных составляющих сил и средней температуры контакта от скорости резания при обработке стали 45 резцами из P18 и B14M7K25

В частности, структурные изменения в поверхностном слое оцениваются с помощью металлографических рисунков и измерением микротвердости для обоих инструментов (рис.3, 4). Из металлографических рисунков (рис.3 а, а', 4 а, а'), по сравнению с термообработанными исходными структурами инструментальных материалов P18 и B14M7K25 (рис.3 а, 4 а), видны измельчения карбидных фаз WC, VC и интерметаллидных упрочняющих фаз $(\text{FeCo})_7\text{W}_6$, $(\text{FeCo})_7\text{Mo}_6$ и их более дисперсное распределение на приконтактных тонких слоях обоих инструментов (рис.3 а', 4 а'). Как показывают экспериментальные данные (рис.3б, 4б), в результате приработки трением на 5 мин при вышеуказанных режимах наблюдается изменение структуры в поверхностном слое толщиной 180 и 150 мкм с повышением микротвердости, составляющей для P18 - 240, а для B14M7K25 – 145 HV, по сравнению с исходной микротвердостью инструментов, составляющей соответственно 900 и 1050 HV (рис.3б, 4б). Подобные изменения обусловлены саморегулированием и модификацией структур с упрочнением поверхностных слоев методом приработки трением, в результате чего повышаются износостойкость контактных поверхностных слоев и эксплуатационная долговечность инструмента.

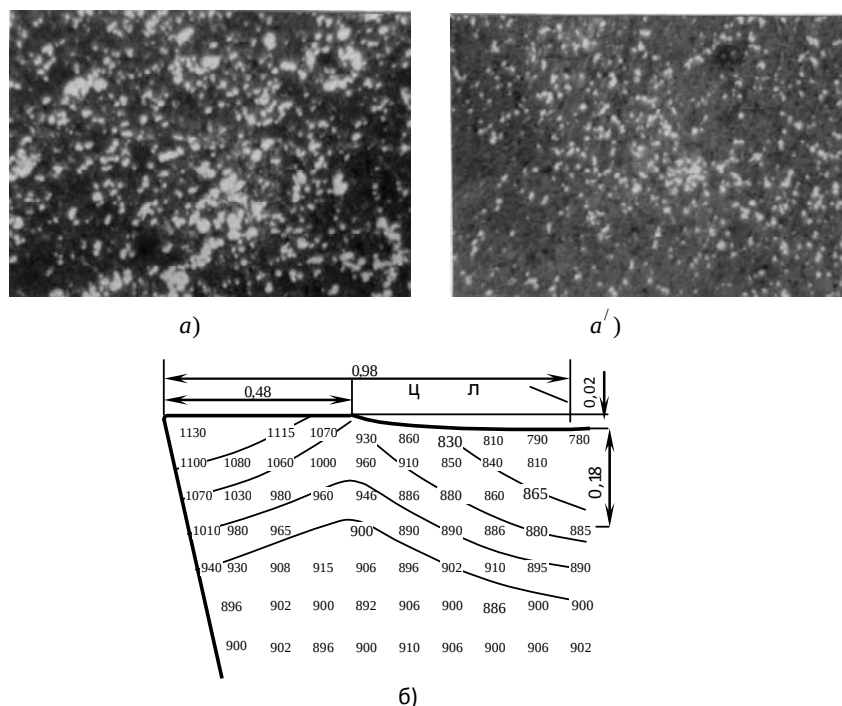


Рис.3. Зависимость структурных изменений и микротвердости поверхностных слоев инструмента от приработки трением пар P18-сталь45: а – исходная структура P18, x500; а' – структура поверхностного слоя после приработки трением, x500; б – микротвердость после приработки трением

Пластическая деформация, как технологический способ изготовления изделий, в частности в процессе обработки резанием, сопровождающемся совместно с трением, наряду с изменением структуры и свойств инструментального материала под деформирующим воздействием сходящей стружки по передней поверхности приводит к модификации и упрочнению инструмента (рис.3, 4). В процессе резания для повышения износостойкости инструментального материала, особенно инструментов из быстрорежущих сталей и сплавов типа P6M5, P18 и B14M7K25, представляет интерес технологический прием упрочнения с применением метода приработки трением рабочих контактных поверхностей готовых инструментов.

В результате такой обработки поверхностный слой контакта пластически деформируется, и образуется дислокационное поле, плотность которого составляет 10^{10} см^{-2} и намного превосходит матричную часть, а при работе на крейсерских скоростях инструмента создает новые структуры в тонких поверхностных слоях толщиной 150...180 мкм с повышенными свойствами износостойкости (рис. 3, 4).

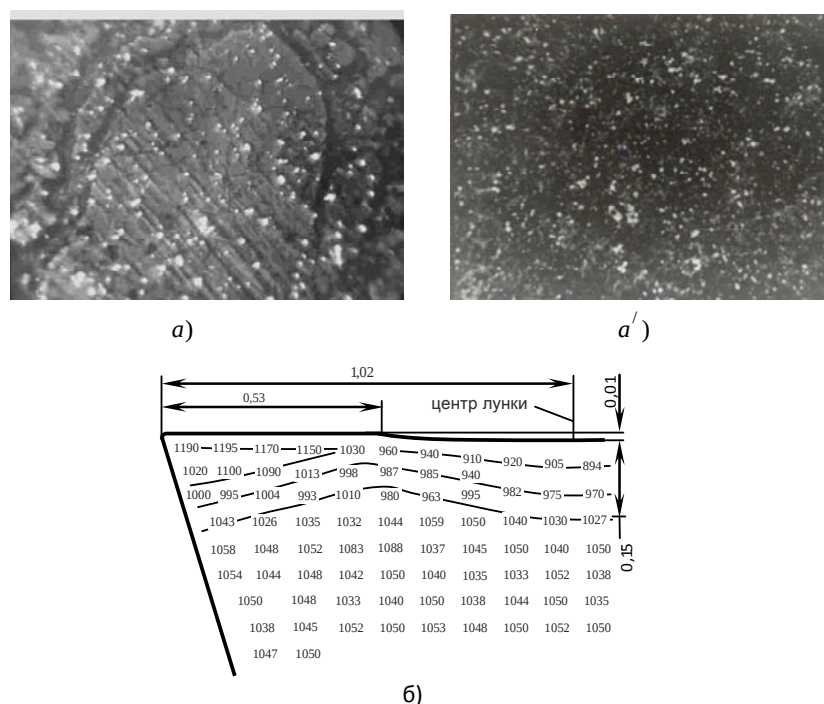


Рис.4. Зависимость структурных изменений и микротвердости поверхностных слоев инструмента от приработки трением пар В14М7К25 – сталь 45: а – исходная структура В14М7К25, х500; а' – структура поверхностного слоя после приработки трением, х500; б – микротвердость после приработки трением

При воздействии деформации и выходе дислокации на поверхность контакта появление вакансий в объеме поверхностного слоя приводит к уменьшению энтропии за счет взаимопоглощенности двух противоположных потоков: дислокации атомов, движущихся к поверхности контакта инструмента, и вакансии атомов, движущихся от поверхности в глубину слоя. Изменение на поверхности контакта пар трения резец-сходящая стружка начинается в результате локализации зоны деформационного упрочнения на участке пластического контакта, где действует примерно 90% напряжения общего контакта.

Таким образом, при наших экспериментах самоорганизующие новые структуры образуются при тренировке трением на малых скоростях резания ($V=10$ м/мин) под воздействием максимальных силовых и деформационных факторов между парами трения инструмент-сходящая стружка, которые являются термодинамической системой с неравновесным процессом перехода механической энергии в тепловую. Этот переход в процессе трения связан с накоплением энергии деформирования в кристаллической решетке в контактных поверхностных слоях инструмента, т.е. в зоне конфигурационной энтропии, что и вызывает

изменение структур и коэффициента трения. В результате полученных экспериментальных данных при обработке стали 45, с целью повышения износостойкости инструментальных материалов из быстрорежущих сталей P18 и безуглеродистых сплавов В14М7К25, большой интерес представляет технологический прием упрочнения тонких поверхностных слоев путем модификации структур контактных поверхностей готовых инструментов с применением метода приработки трением.

Исследованные параметры режимов резания (v , s , t) обеспечивают максимальные силы и деформации на контакте при сравнительно низких температурах пар трения инструмент-сходящая стружка в течение 5 мин приработки трением.

Установлено, что в обоих случаях наилучшее температурно-деформационное состояние и упрочнение тонких поверхностных слоев достигнуто при режимах $V=10$ м/мин; $S = 0,30$ мм/об.; $t=2,0$ мм и времени приработки трением $T_{\pi}=5$ мин, когда на передней поверхности резцов из быстрорежущей стали P18 действующая сила составляет $P_z=1600H$ при температуре $\theta=380^{\circ}C$, а для пар трения В14М7К25 – сталь 45: $P_z=1730H$ при $\theta=350^{\circ}C$.

Таким образом, сформировавшаяся структура в тонком поверхностном слое контакта инструмента в процессе тренировки трением приводит к упрочнению рабочих контактных поверхностей инструмента под воздействием выбранных силовых и тепловых характеристик, что наиболее полно отвечает требованиям реальных условий процесса резания, показывая имеющийся значительный резерв повышения физико-механических свойств без особых энергозатрат и времени, а также износостойкости и эксплуатационного качества инструментов. Практически данный технологический прием осуществляется до начала работы инструмента, и его можно сравнить с низкотемпературной термомеханической обработкой тонких поверхностных контактных слоев инструмента [5].

В результате приработки трением под воздействием заранее экспериментально установленных температурно-силовых характеристик происходят процессы динамической полигонизации и реполигонизации, увеличиваются плотность дислокации, равномерность их распределения с образованием новых структур, упрочняющих тонкие слои передней поверхности инструмента. В технологическом цикле изготовления инструмента данный прием можно рассматривать как финишную операцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоус В.А., Лапшин В.И., Марченко И.Г., Неклюдов И.М. Радиационные технологии модификации поверхности/ Национальный научный центр "Харьк. физ-тех. инс.", Н.Ф.Т.Ц. МОН и НАН Украины (Харьков) //ФИП PSE.-2003.- Том 1, N 1. - С. 40-48.
2. Долговечность трущихся деталей машин: Сборник статей. Выпуск 2/ Под общей редакцией д-р. техн. наук, проф. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1987. – 302 с.
3. Sahradian A.I. The physical modeling of cutting process steel treatment // IEEE, EPS, SPICS, MM, Phys. Con-2005. International conference, Physics and Control, PROCEEDINGS, August 24-26, 2005.- Saint Peterburg, 2005.-P.880-883.
4. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах / Под ред. Ю.Л. Климантовича. - М.: Мир, 1979. – 271с.
5. Саградян А.И., Малаян С.Г. Особенности формирования поверхностных слоев инструмента из безуглеродистых сплавов при естественной термомеханической обработке в процессе резания //Проблемы механики: Междунар. научн. журн. – Тбилиси, 2007. – N1(26). – С. 81-86.

ИППФ НАН РА. Материал поступил в редакцию 10.06.2011.

Ա. Ի. ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ, Ս. Գ. ՄԱՄՅԱՆ, Ա. Հ. ՓԱՓԱԶՅԱՆ

ԳՈՐԾԻՔԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՑԻՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ՆԱԽԱԿԱՆ ՇՓԱՄՇԱԿՄԱՆ ՄԵԹՈՂՈՎ ԱՄՐԱՑՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Գիտա-փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում կտրիչ-հեռացող տաշեղ (P18 - պողպատ 45, B14M7K25-պողպատ45) շփվող գույգերի համար ընտրված ռեժիմներով նախամշակման ժամանակ բացահայտվել է պատրաստի գործիքների շփամշակման մեթոդով կոնտակտի առջևի մակերևութային բարակ շերտերի նոր կառուցվածքների ձևավորմամբ ամրացման և մաշակայունության բարձրացման տեխնոլոգիական եղանակ: Գործիքի պատրաստման տեխնոլոգիական շղթայում, առանց զգալի էներգածախսերի, նշված տեխնոլոգիական գործառնությունը կարելի է դիտարկել որպես վերջնամշակման օպերացիա:

Առանցքային բառեր. դեֆորմացիա, ջերմաստիճան, դիսլոկացիա, էնթալպիա, նախնական շփամշակում, միկրոկարծրություն:

A.I. SAHRADYAN, S.G. MAMYAN, A.H. PAPAZYAN

INVESTIGATION OF TOOL CONTACT SURFACE LAYER-REINFORCING BY THE METHOD OF FRICTION BURNISHING

By obtained scientific-experimental data it is stated that for friction pair of cutter-converging chips while processing steel 45 with cutters made of high-speed steel P18 and non-carbonic high-speed alloys with inter-metal hardening of B14M7K25 for durability increasing of tools there is a great interest in the technological technique of hardening the thin contact surface layers of the tool by means of the method of friction burnishing with the modified structure of the front contact surface of the ready tool. In the tool making technological cycle, without big energy expenses this technological technique can be considered as the final operation.

Keywords: deformation, temperature, dislocation, entropy, friction burnishing, reinforcing, microhardness.

Ա.Ն. ՄԵԼԻՔՄԵԹՅԱՆ

ԼՎԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՎ ՀԱԳՈՒՍՏԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Հետազոտվել են բազմաշերտ կառուցվածքներով հագուստի հատկությունների փոփոխությունները՝ կախված լվացման տեխնոլոգիայից: Ցույց է տրված, որ լվացման ռեժիմներից կախված՝ որակական փոփոխության են ենթարկվում խզման բեռնվածությունը, կծկումը և ջրաթափանցելիությունը: Խզման բեռնվածությունը հիմնականում կախված է լվացման արագությունից և ջերմաստիճանից, կծկման փոփոխությունները նկատելի են ջերմաստիճանի մեծացմանը զուգընթաց, իսկ ջրաթափանցելիությունը մեծանում է ժամանակի մեծացմանը զուգընթաց:

Առանցքային բառեր. բազմաշերտ կառուցվածք, լվացում, խզման բեռնվածություն, ռեժիմ, հատկության փոփոխություն:

Հագուստի արտադրության բնագավառում օգտագործվում է գործվածքների, տեքստիլ և չիյուսված պաստառների, բազմաշերտ կառուցվածքների լայն տեսականի, որոնք իրարից տարբերվում են հումքի բաղադրությամբ, կառուցվածքով, ֆիզիկամեխանիկական և օգտագործման հատկություններով: Բազմաշերտ կառուցվածքների կազմի մեջ մտնում են այնպիսի նյութեր, որոնց լվացման և քիմաքիմապրման ռեժիմները էականորեն տարբերվում են միմյանցից, և լվացման ընթացքում յուրաքանչյուրն իրեն բնորոշ աստիճանով ենթարկվում է տարբեր բնույթի դեֆորմացիաների՝ առաջացնելով հագուստի կառուցվածքների արատներ: Հետևաբար, անհրաժեշտ է մշակել հագուստի լվացման այնպիսի ռեժիմներ, որ կարի արտադրությունում օգտագործվող նյութերի և բազմաշերտ կառուցվածքների արդյունաբար դեֆորմացիան լինի ամենափոքրը: Այդ գործընթացի իրականացման համար կարևոր է լվացման տեխնոլոգիայի ազդեցության ուսումնասիրությունը բազմաշերտ կառուցվածքներով հագուստի հատկությունների վրա [1]:

Աշխատանքի նպատակն է բացահայտել լվացման տեխնոլոգիայի ազդեցությունը բազմաշերտ կառուցվածքներով հագուստի հատկությունների փոփոխության վրա:

Վերլուծության են ենթարկվել 3 և ավելի պաստառներ պարունակող բազմաշերտ կառուցվածքներով նյութերի փորձանմուշներ, քանի որ դրանց հատկությունների փոփոխության ուսումնասիրության արդյունքների հիման վրա հնարավոր է որոշել ավելի քիչ քանակությամբ պաստառներ պարունակող նմուշների հատկությունների փոփոխությունը:

Ծորձերի պլանավորման ժամանակ կատարվել է լվացման ռեժիմների խմբա-

վորում տարբեր մակարդակներում: Բամբակյա-վուշե և բրդյա-սինթետիկ-մետաքսե պատառների լվացման տեխնոլոգիաները բավականին տարբերվում են միմյանցից, այդ պատճառով կատարվում է նմուշների խմբավորում՝ ըստ հիմնական նյութի հումքի տեսակի [2]: Որպես միջադրվածքային նյութեր ընտրվում են սոսնձային, տաքացնող, աստառացու միջադրվածքները: Յուրաքանչյուր խմբի համար լվացման ռեժիմների մակարդակներն ապահովում են պայմաններ՝ համապատասխանաբար նորմալ (0), առավելագույն (+1), նվազագույն (-1) ջերմաստիճանի, արագության և ժամանակի դեպքում [3]: Փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքները բացահայտել են հետևյալ օրինաչափությունները:

1. Լվացման նորմալ պայմաններ:

Նմուշների հատկությունները քիչ են փոփոխվում. հիմնական նյութերի լայնության և երկարության փոփոխությունը կազմում է՝ մոտ 0,4...1,3 մմ, միջադրվածքային նյութերինը՝ մոտ 0,8...3,6 մմ, բազմաշերտ կառուցվածքների դեպքում՝ 0,9...2,1 մմ: Խզման բեռնվածությունը փոփոխվում է՝ հիմնական նյութերինը՝ 5...10 Ն-ով, միջադրվածքային նյութերինը՝ 0,6...1 Ն-ով, բազմաշերտ կառուցվածքների դեպքում՝ մինչև 10 Ն: Գունային փոփոխությունը գրանցվել է ոչ հաճախ: Կծկումը և ռապորտում նմուշի չափսերը փոխվել են երկարության և լայնության փոփոխությանը համապատասխան: Ջրաթափանցելիության մեծ արժեքներ չեն գրանցվել:

2. Լվացման ռեժիմների առավելագույն արժեքների պայմաններ:

Նկատվում են հատկությունների ամենամեծ շեղումներ: Հիմնական նյութերի երկարությունը և լայնությունը փոխվել են 2...4 մմ-ի չափով, միջադրվածքային նյութերինը՝ 1,6...3,8 մմ, բազմաշերտ նմուշներինը՝ 1,7...4,7 մմ-ի չափով: Հիմնական նյութերի խզման բեռնվածությունը նվազել է մոտ 20 Ն-ով, միջադրվածքային նյութերինը՝ 1,8...13 Ն-ով, իսկ բազմաշերտ կառուցվածքներինը՝ մոտ 20...30 Ն-ով: Այստեղ գույների փոփոխությունը գնահատվել է հիմնականում 4, որոշ դեպքերում 3 բալ: Ջրաթափանցելիությունը մեծացել է մոտ 10 անգամ: Մնացած հատկությունների փոփոխությունը, ինչպես նախորդ դեպքում, կախված է երկրաչափական փոփոխություններից:

3. Լվացման ռեժիմների նվազագույն արժեքների պայմաններ:

Հատկությունների փոփոխությունները համեմատաբար քիչ են և ավելի մոտ են հիմնական նյութերի նորմալ ռեժիմների փոփոխությունների չափսերին: Երկայնական և լայնական չափսերի փոփոխությունը այս պայմաններում կազմում է մոտ 0,6...1,3 մմ, միջադրվածքներինը՝ 0,1...2,3 մմ, բազմաշերտ կառուցվածքներինը՝ 0,7...1,1 մմ: Հիմնական նյութերի ամրությունը պակասում է 1-4 Ն-ով, միջադրվածքներինը՝ 1...2 Ն-ով, բազմաշերտ կառուցվածքներինը՝ 8...10 Ն-ով: Ջրաթափանցելիության մեծացում գրանցվել է արագության մեծացմանը զուգընթաց: Բոլոր նմուշների մաշակայունությունն ընդունել է մեծ արժեքներ: Գույների փոփոխությունը հիմնականում գնահատվել է 5 բալ:

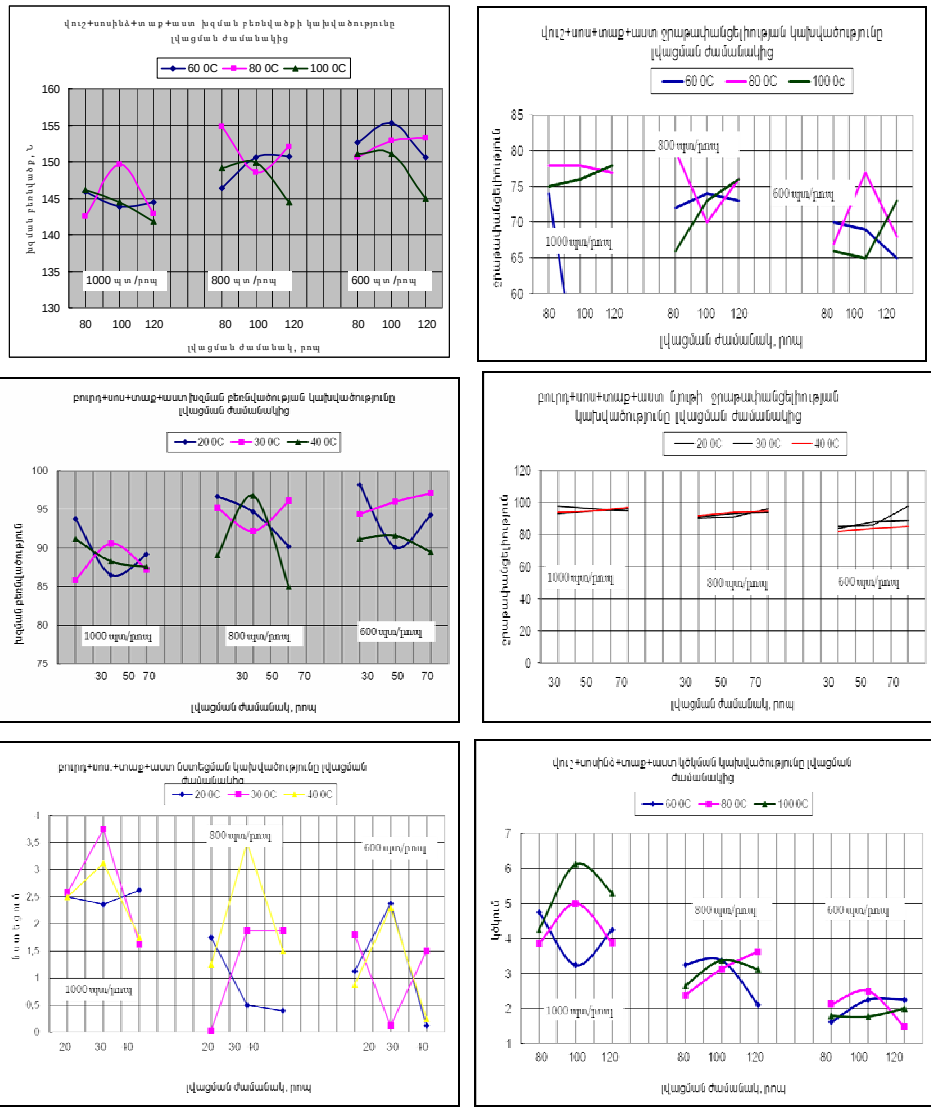
Օրինաչափությունների ուսումնասիրությունից երևում է, որ զգալի փոփոխությունների են ենթարկվում խզման բեռնվածությունը, կծկումը և ջրաթափանցելիությունը: Հետևաբար, անհրաժեշտություն է առաջանում առանձնակի ուսումնասիրել բազմաշերտ կառուցվածքներով նյութերի այս հատկությունների կախվածությունը լվացման ռեժիմներից: Հետազոտման արդյունքները բերված են նկ.1-ում:

Ինչպես երևում է կատարված վերլուծությունից, հիմնական նյութերի հատկությունների փոփոխությունը բավականին տարբերվում է միջադրվածքային նյութերի հատկությունների փոփոխությունից: Տեքստիլ նյութերի հատկությունների ընդհանուր ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ բամբակյա և վուշե պաստառների լվացման ռեժիմները տարբերվում են բրդյա, մետաքսե, սինթետիկ նյութերի համար նախատեսված լվացման տեխնոլոգիաներից, իսկ աստառացու, սոսնձային, տաքացնող միջադրվածքները պատրաստվում են սինթետիկ մանրաթելերից պատրաստված նյութերից:

Եթե բամբակյա պաստառի դեպքում գրանցվում է մոտ 5% նստեցում 1000°C -ում, ապա աստառացու միջադրվածքի դեպքում այն տեղի է ունենում 300°C ջերմաստիճանում: Տաքացնող և սոսնձային միջադրվածքների նստեցման մեծ արժեքներ գրանցվում են նույնիսկ 200°C -ում: Սրանից հետևում է, որ բամբակյա պաստառի և միջադրվածքների համադրությամբ փաթեթի բարձր ջերմաստիճանում լվացման արդյունքում տեղի են ունենում նստեցման զգալի տարբերություններ:

Բազմաշերտ կառուցվածքներով նմուշները մոտ $60...1000^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում լվանալու փորձարկումներից հետո սոսնձված նյութերն առանձնացվել են:

Զգալի տարբերություն է նկատվում հիմնական նյութերի և տաքացնող միջադրվածքների խզման բեռնվածության միջև: Տաքացնող միջադրվածքները մեծ արագությամբ լվացման ժամանակ պատռվում են: Նման դեպքեր նկատվում է նաև բրդյա պաստառների դեպքում: Եթե հիմնական նյութերի խզման բեռնվածությունը տատանվում է $80...90\text{ Ն}$ -ի սահմաններում, ի տարբերություն բրդյա պաստառների, որոնց ամրությունը մինչև լվանալը $24,5\text{ Ն}$ է, ապա տաքացնող միջադրվածքի դեպքում այն $6,9\text{ Ն}$ է: Բարձր ջերմաստիճանում երկար ժամանակ մեծ արագությամբ լվացման ընթացքում տեղի է ունենում նմուշի խզման բեռնվածության զգալի կորուստ: Այն փաթեթներում, որտեղ պարունակվում են տաքացնող միջադրվածքներ, նույնպես նկատվում է ամրության նվազում:



Նկ.1. Խզման բեռնվածության, կծկման և ջրաթափանցելիության կախվածությունը լվացման ռեժիմներից

Փորձերի ժամանակ ուսումնասիրվել են նաև փոշու բաղադրության մեջ մտնող փրփուր առաջացնող նյութերի և pH-ի առկայությունը: Հստ ԳՈՍՏ 22567,5-93-ի՝ pH-ը գտնվում է 7,5...11,5 սահմաններում: Որքան ցածր է pH-ի մակարդակը, այնքան հազուստն արագ է մաշվում: Փորձարկումների ժամանակ օգտագործվող փոշիների pH-ի ցուցանիշները բերված են աղյուսակում [4-6]:

Լվացող նյութերի pH-ի մակարդակը

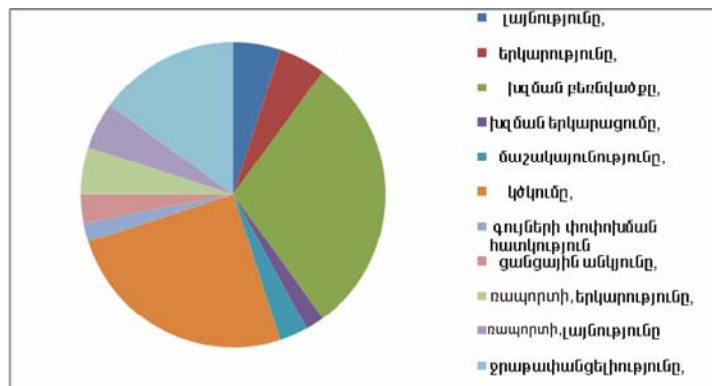
Փոշի	Ariel	Tide	E	Дося	Лотос	Аленка	Calgon
pH	10,5	10	10	11	10	10	8,5

Պարզվում է, որ 600°C ջերմաստիճանում փոշու բաղադրիչների ներգործությունն ամենամեծն է:

Այսպիսով, հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ այս նյութերն իրենց բաղադրությամբ բավականին նման են միմյանց: Որոշ դեպքերում տվյալ հետքի վերացման համար նպատակահարմար է ընտրել կոնկրետ տիպի փոշի, որն ավելի նպաստավոր պայմաններ է ստեղծում: Սակայն սա առանձին խնդիր է ներկայացնում, քանի որ լվացման ժամանակ տվյալ հագուստը կարող է ունենալ տարբեր բնույթի հետքեր: Արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս նաև, որ մեխանիկական, ֆիզիկաքիմիական հատկությունների վրա լվացող նյութերի ազդեցությունը մեծ չէ:

Կատարված հետազոտության արդյունքում պարզվում է, որ խզման բեռնվածության և խզման երկարացման փոփոխությունն արտահայտող գրաֆիկների մեծ մասը նման են: Պաստառների երկրաչափական չափսերի փոփոխությունը տեղի է ունենում նյութի կծկման արդյունքում: Իրենց հերթին՝ պաստառի երկարությունը և լայնությունը փոխվում են՝ կախված ռապորտի բջիջում կատարված փոփոխություններից: Պարզելով տվյալ պաստառի կծկման կախվածությունը լվացման ռեժիմներից՝ կարելի է ստանալ նմուշի երկրաչափական չափսերի և լվացման ռեժիմների կապն արտահայտող կախվածություններ:

Ընտրված հատկությունների փոփոխության չափի տոկոսային արժեքները, կախված լվացման տեղնուղիայից, ներկայացված են նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Հագուստի հատկությունների փոփոխության չափը՝ արտահայտված տոկոսներով

Երևում է, որ համեմատաբար զգալի փոփոխության են ենթարկվել խզման բեռնվածությունը, կծկումը և ջրաթափանցելիությունը:

Եզրակացություն: Հագուստի բազմաշերտ կառուցվածքների լվացման գործընթացի հետազոտումը հաստատում է, որ փաթեթների խզման բեռնվածությունը հիմնականում կախված է լվացման արագությունից և ջերմաստիճանից: Լվացման մեծ արագությունների դեպքում բարձր է նյութի ամրության նվազման տոկոսը, կծկման դեպքում նկատելի փոփոխություններ գրգռվում են ջերմաստիճանի մեծացմանը զուգընթաց, իսկ որքան մեծ է լվացման ժամանակը, այնքան նմուշը շատ ջուր է կլանում: Հետևաբար, լվացման ռեժիմների մշակման գիտականորեն հիմնավորվածության համար կարևոր պարամետրեր են հանդիսանում նմուշների կծկումը, ամրությունը և ջրաթափանցելիությունը բնութագրող հատկությունները: Այդ հատկությունների նվազագույն փոփոխությունների դեպքում կապահովվեն լվացման գործընթացի առավելագույն արդյունավետությունը և բարձր որակը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Крючкова Г.А.** Технология и материалы швейного производства.-М.: Академия, 2003.- 230с.
2. Ассортимент, свойства и технические требования к материалам для одежды / **К.Г. Гушина** и др. - М.: Легкая индустрия, 1978.-230с.
3. **Новик Ф.С., Арсов Я.Б.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. - М.: Машиностроение; София: Техника, 1980.-304 с.
4. [http:// www.domovodstvo.com/stir-porosh.html](http://www.domovodstvo.com/stir-porosh.html)
5. <http://www.passion.ru/s.php/380.htm>
6. <http://www.omar.ru/cgi-bin/baza/omar1.fcgi?table=poroshki>

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ) Վանաձորի մասնաճյուղ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.09.2011:

А.Н. МЕЛИКСЕТАН

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТИРКИ НА СВОЙСТВА ОДЕЖДЫ С МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ

Исследовано изменение свойств одежды с многослойной структурой в зависимости от технологии стирки. Показано, что в зависимости от режимов стирки качественным изменениям подвергаются разрывная нагрузка, усадка и водопроницаемость. Разрывная нагрузка, в основном, зависит от скорости и температуры стирки, изменение усадки происходит параллельно с повышением температуры, а водопроницаемость увеличивается с повышением времени.

Ключевые слова: многослойная одежда, стирка, разрывная нагрузка, режим, изменение свойств.

A.N. MELIKSETYAN

THE INFLUENCE OF WASHING TECHNOLOGY ON THE QUALITY OF CLOTHES WITH MULTILAYER CONSTRUCTIONS

Changes in the quality of clothes with multilayer constructions depending on the washing technology are studied. It is shown that loading rupture, pressing and water-permeability bear qualitative changes depending on the washing regimes. Loading rupture mainly depends on the washing speed and temperature, changes in pressing are noticed during the temperature increase, and water-permeability increases parallel with the time increase.

Keywords: multilayer construction, washing, loading rupture, regime, qualitative change.

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ՔՐՈՄԻՏԱՑԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՑԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԵՎ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՔՐՈՄԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ

Հետազոտվել է քրոմիտային գերխտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնման եղանակով մետաղական քրոմի ստացման գործընթացը, ընտրվել է այդ գործընթացում բովախառնուրդի օպտիմալ բաղադրությունը: Ցույց է տրվել, որ քլորիդների առկայությամբ քրոմիտային գերխտանյութից ուղղակի, անվառարան ալյումինաթերմային վերականգնման եղանակով կարելի է ստանալ երկաթի և մագնեզիումի ցածր պարունակությամբ արժեքավոր մետաղական քրոմ:

Առանցքային բառեր. քրոմիտային գերխտանյութ, բովախառնուրդ, ալյումինաթերմային վերականգնում, քլորիդներ, քրոմ:

Մետալուրգիայի զարգացումը հանրապետությունում անմիջականորեն կապված է տեղական հանքանյութերի արդյունավետ օգտագործման հետ: Տեղական հումքի մշակման արդյունավետ տեխնոլոգիաների ստեղծումը կնպաստի նոր, նախապես հայտնի կառուցվածքով և ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով նյութերի ստացմանը: Այդպիսի նյութերից են թթվակայուն, կոռոզիակայուն և հրակայուն հատկություններով օժտված պողպատները ու համաձուլվածքները, որոնց դեպքում, որպես լեգիրող տարր, մեծ դեր ունի մետաղական քրոմը:

Առաջարկվում է Սևանի տարածքի Տապասարում վերջերս բացահայտված քրոմիտային հանքանյութից մետաղական քրոմի ստացման եղանակ: Նշված քրոմիտը, բացի քրոմի օքսիդից (43...46 %), պարունակում է նաև անցանկալի տարրերի՝ սիլիցիումի, երկաթի և մագնեզիումի օքսիդներ, որոնք Cr_2O_3 -ի վերականգնման գործընթացում կարող են մնալ մետաղական քրոմի մեջ՝ աղտոտելով մետաղը: Այդ նպատակով կատարվել է հանքանյութի հարստացում հետևյալ եղանակներով. Նախ՝ գրավիտացման եղանակով ստացվել է խտանյութ՝ 52,89% Cr_2O_3 -ի պարունակությամբ, ապա՝ գերխտանյութ՝ ստացված խտանյութի NaCl -ի առկայությամբ 120 ր թրթռաղացում մեխանիկական ակտիվացմամբ [1]: Մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքում առաջացած FeCl_3 -ը և MgCl_2 -ը լվացվել ու հեռացվել են:

Ստացված քրոմիտային գերխտանյութը հետևյալ բաղադրությամբ՝ Cr_2O_3 -76,92%, CaO -7,39, FeO -3,66%, Al_2O_3 -5,64%, SiO_2 -4, 15%, CaO -2,24%, ծառայել է որպես ելանյութ՝ ալյումինաթերմային վերականգնման բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) եղանակով մետաղական քրոմի ստացման համար:

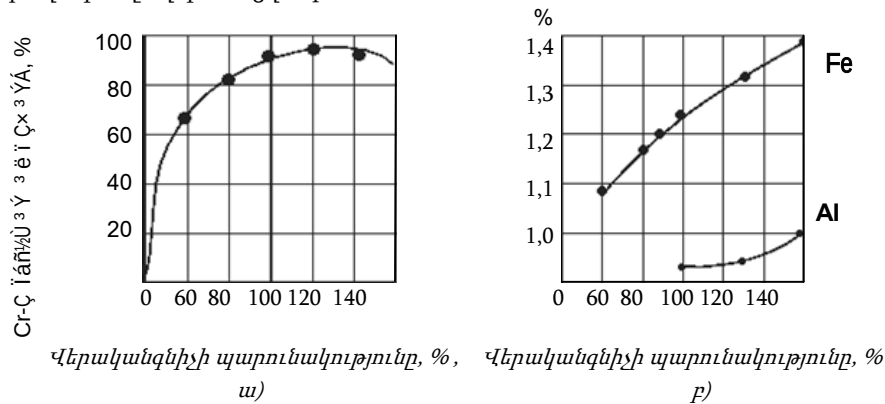
Ինչպես երևում է քիմիական վերլուծության արդյունքներից, քրոմիտային գերխտանյութում բարձր է Cr_2O_3 - ի պարունակությունը, բայց դեռևս պարունակվում են որոշակի քանակներով Fe և Mg , որոնք նույնպես վերականգնման գործընթացում կադատոտեն մետաղական քրոմը: Երկաթ և մագնեզիում չպարունակող մետաղական քրոմ ստանալու նպատակով այլումինաթերմային վերականգնում նույնպես իրականացվել է NaCl -ի առկայությամբ, որը հնարավորություն է տալիս ընտրողական քլորացմամբ վերջնականապես հեռացնել երկաթը և մագնեզիումը [2]: Այսպիսով, աշխատանքում առաջարկվում է մետաղական քրոմի ստացման նոր, ոչ ավանդական եղանակ, որում զուգակցվում են մեխանաքիմիական ակտիվացման (ՄԱ) և մետաղաթերմային (ԲԻՄ) վերականգնման գործընթացները [3]:

Կատարվել են քրոմիտային գերխտանյութից այլումինաթերմային վերականգնման եղանակով մետաղական քրոմի ստացման գործընթացի փորձարարական հետազոտություններ, ընտրվել է այդ գործընթացում բովախառնուրդի օպտիմալ բաղադրությունը:

Փորձերը կատարվել են հետևյալ եղանակով. նուրբ մանրացված քրոմիտային գերխտանյութի, Al -ի փոշու, KClO_3 -ի, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -ի, NaCl -ի և CaO -ի որոշակի քանակներից բաղկացած բովախառնուրդը լավ խառնելուց հետո տեղավորվել է հրակայուն տարողության մեջ լցված ավազի փոսի մեջ: Որպես թերմիտային նյութեր օգտագործվել են KClO_3 - ը և $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -ը, իսկ որպես խարամագոյացնող՝ CaO -ն: Բովախառնուրդին ավելացվել է հարուցիչը և շիկացած լարով սկիզբ դրվել բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզին [3]: Ռեակցիոն խառնուրդի մակերեսային շերտում գրգռված քիմիական ռեակցիայի արդյունքում ձևավորվել է այրման ալիք, որն արագորեն տարածվել է ամբողջ նմուշի երկարությամբ: Այրումը տևել է 10...12վ: Այդ պայմաններում վերականգնված քրոմն առաջացրել է մետաղական գնդիկներ, իսկ քրոմիտային խտանյութում պարունակվող այլ օքսիդները (MgO , CaO) և K_2O -ն Al_2O_3 -ի և SiO_2 -ի հետ խարամի ձևով առաջացրել են դժվարալուծ սիլիկատներ և այլումինասիլիկատներ, որոնք սառչելուց հետո պոկվել են մետաղի գնդիկներից: Հետազոտության են ենթարկվել ինչպես մետաղական, այնպես էլ խարամային զանգվածները՝ քիմիական, մետաղագրական և ռենտգենաֆազ վերլուծության եղանակներով:

Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է մետաղի կորզման աստիճանի կախումը վերականգնիչի քանակից (նկ.1 ա,բ): Կատարված փորձերի արդյունքում պարզվել է, որ մետաղական ֆազի կորզման աստիճանը խիստ կախված է վերականգնիչի քանակից: Բոլոր դեպքերում վերականգնման արդյունքում մետաղական ֆազը հիմնականում ներկայացնում է քրոմ՝ այս կամ այն մետաղական խառնուրդներով: Բովախառնուրդում այլումինի՝ տեսական քանակությունից պակասի դեպքում վերականգնման

գործընթացը բուռն չի ընթանում, և մետաղական ֆազը լավ չի առանձնանում խառամից: Վերականգնիչի տեսական քանակի դեպքում (20,43%, ըստ բովախառնուրդի պարունակության) վերականգնման գործընթացն ընթանում է բուռն, տեղի է ունենում լավ ֆազագոյացում և սառեցնելուց հետո ֆազերի հեշտ բաժանում: Այս դեպքում մետաղական ֆազում քիչ են խառնուրդները (1,15% Fe), իսկ ալյումին և մագնեզիում չեն հայտնաբերվել (նկ.1 բ): Մետաղի ելքը կազմել է 82,5%, և ստացված մետաղն ունի բավական լավ կառուցվածք:

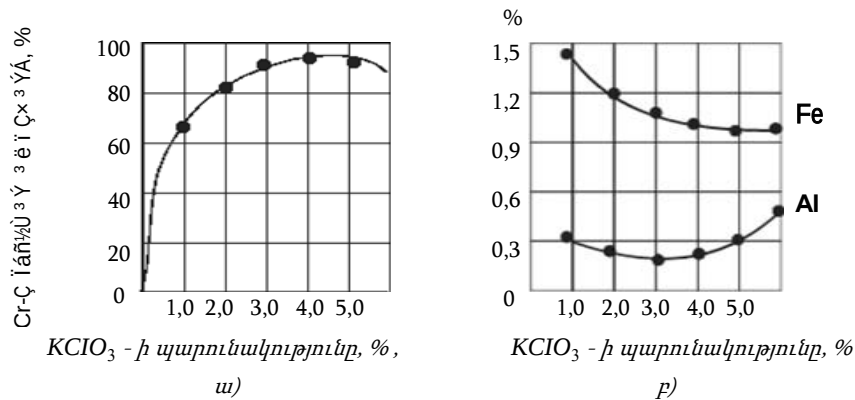


Նկ.1. Քրոմիտային գերխտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնումը. ա) մետաղների կորզման աստիճանի կախումը վերականգնիչի քանակից, բ) մետաղական ֆազում ալյումինի և երկաթի պարունակության կախումը վերականգնիչի քանակից

Վերականգնիչի տեսական քանակից 20% - ով ավելացումը հանգեցնում է մետաղի ելքի մեծացման: Սակայն այս պայմաններում մետաղական ֆազում մեծ են երկաթի (1,24%) և ալյումինի (0,35%) պարունակությունները: Վերականգնիչի քանակի տեսական քանակից 40%-ով ավելացումը հանգեցնում է մետաղի ելքի որոշ ավելացման (92,10%), սակայն մետաղական ֆազում ավելի է բարձրանում երկաթի և ալյումինի պարունակությունը: Ստացված մետաղն այս դեպքում փխրուն է՝ կապված երկաթի և ալյումինի քանակների մեծացման հետ: Վերականգնիչի քանակի հետագա բարձրացումը տեսական քանակից հանգեցնում է մետաղական քրոմի ելքի զգալի փոքրացման՝ կապված քրոմի կորուստների հետ:

Այսպիսով, քրոմի ելքի բարձրացման և երկաթի քանակի նվազեցման նպատակով բովախառնուրդում ալյումինի քանակի ավելացումը իմաստ չունի: Այդ տեսակետից փորձեր են արվել մեծացնելու մետաղի կորզման աստիճանը՝ կախված այլ գործոններից:

Ուսումնասիրվել է մետաղի ելքի կախումը թերմիտային նյութերի, մասնավորապես՝ $KClO_3$ -ի քանակից՝ բովախառնուրդի մնացած բաղադրամասերի հաստատուն պարունակության և ալյումինի տեսական քանակության պայմաններում (նկ. 2 ա, բ):

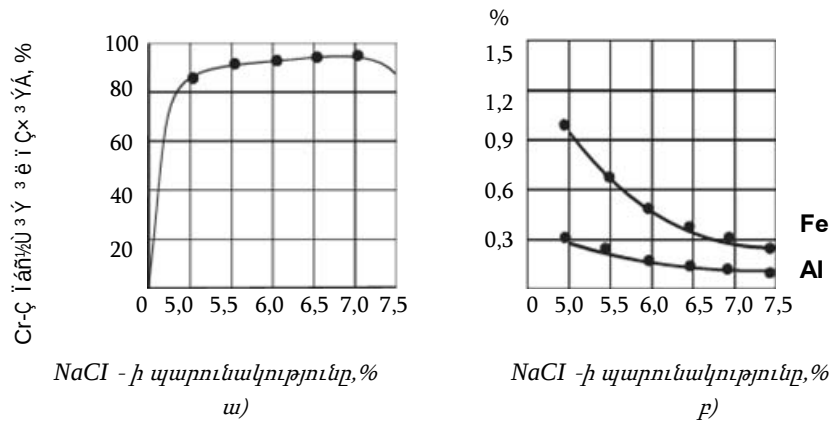


Նկ.2. Քրոմիտային գերխտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնումը. ա) մետաղների կորզման աստիճանի կախումը $KClO_3$ -ի քանակից, բ) մետաղական ֆազում ալյումինի և երկաթի պարունակության կախումը $KClO_3$ -ի քանակից

Լավագույն արդյունքներ են ստացվել $KClO_3$ -ի տեսական քանակության դեպքում (3,8% ըստ բովախառնուրդի պարունակության), որում մետաղի կորզման աստիճանը հասնում է 88,9%՝ երկաթի ցածր պարունակությամբ (0,93%): Փաստորեն, $KClO_3$ -ի քանակի ավելացումը հանգեցնում է նույն արդյունքին, ինչ որ նկատվում էր վերականգնիչի քանակի ավելացման դեպքում:

Հավանական է, որ այդ պայմաններում $KClO_3$ -ի քայքայումից առաջացած KCl -ը նպաստում է ցնդող $FeCl_3$ -ի առաջացմանը, որը և հանգեցնում է մետաղական ֆազում երկաթի պարունակության նվազմանը: Բոլոր դեպքերում մետաղական ֆազում մագնեզիումի հետքեր չեն նկատվում:

Հաջորդ խմբաքանակի փորձերում ուսումնասիրվել է մետաղական ֆազի կորզման աստիճանի կախումը մյուս թերմիտային նյութի՝ $K_2Cr_2O_7$ -ի քանակից՝ բովախառնուրդի մնացած բաղադրամասերի հաստատուն քանակությունների պայմաններում (նկ. 3 ա.բ):



Նկ.4. Քրոմիտային գերխտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնումը NaCl -ից. ա) մետաղների կորզման աստիճանի կախումը NaCl -ի քանակից, բ) մետաղական ֆազում ալյումինի և երկաթի պարունակության կախումը NaCl -ի քանակից

Սակայն փորձերի արդյունքները ցույց տվեցին, որ այս դեպքում CaO-ի քանակի 3,47%-ից (ըստ բովախառնուրդի պարունակության) բարձր ավելացումը առանձնապես արդյունավետ չի ազդում ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացի վրա: Ընդհակառակը, դա հանգեցնում է մետաղի կորզման աստիճանի նվազմանը՝ կապված քրոմի որոշ քանակի կորստի հետ (CaCrO_4 -ի ձևով): Ըստ երևույթին, բովախառնուրդում պարունակվող K_2O -ի քանակը բավարարում է խարամի հեղուկահոսունության մեծացման և ֆազագոյացման գործընթացին: Արտադրական գործընթացներում CaO-ի ավելի մեծ քանակների չեն դիմում [5]:

Այսպիսով, օպտիմալ պայմաններ կարելի է համարել 100կգ բովախառնուրդի հետևյալ կազմը՝ քրոմիտային խտանյութ՝ 59,98%, ալյումինի փոշի՝ 20,43%, KClO_3 4,48%, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ՝ 7,84%, NaCl՝ 7,80% և CaO՝ 3,47%: Այս պայմաններում ստացվում է մետաղական քրոմ՝ 3,49% Fe-ի և 0,49% Al-ի պարունակությամբ, մետաղի 91,6% կորզման աստիճանով: Մետաղական ֆազն այս պայմաններում աչքի է ընկել բավական ամուր և խիտ կառուցվածքով:

Համեմատության համար նման օպտիմալ պայմաններում ստացվել է մետաղ չակտիվացված քրոմիտային խտանյութից: Ստացված մետաղական ֆազը տարբերվում է կառուցվածքով և Cr-ի համեմատաբար ցածր պարունակությամբ:

Ընտրված լավարկված բաղադրությամբ կատարվել են վերականգնման փորձեր՝ բավական մեծ քանակություններով (1000գ խտանյութ): Վերականգնման պրոցեսն ընթացել է բուռն և հանգիստ՝ առանց բովախառնուրդի բաղադրամասերի արտանետումների: Մետաղի ելքն այդ պայմաններում կազմել է մոտ 90%: Մետաղական ֆազը ստացվել է ամուր բյուրեղի տեսքով և հեշտությամբ անջատվել խարամից:

Նշված օպտիմալ պայմաններով ստացված բովախառնուրդի ալյումինաթերմային վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազը ենթարկվել է քիմիական վերլուծության: Արդյունքները ներկայացված են աղյուսակում:

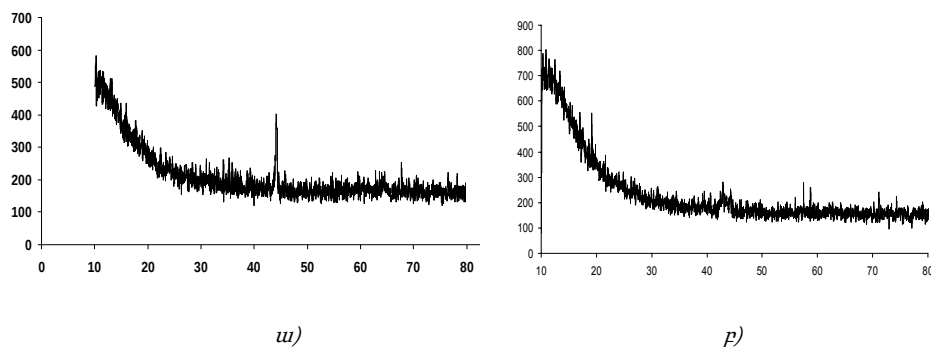
Աղյուսակ

Մետաղական ֆազերի քիմիական վերլուծության արդյունքները

Մետաղական ֆազի բաղադրությունը, %	Cr	Al	Fe	Si	Mn	O	N
Չակտիվացված	89,71	4,47	2,59	1,96	0,02	0,555	0,0065
Ակտիվացված	93,89	3,49	0,49	1,58	0,019	0,525	0,0062

Ինչպես երևում է աղյուսակում բերված տվյալներից, ակտիվացված և չակտիվացված փորձանմուշից ստացված մետաղական քրոմում տարրերի զանգվածային բաժինները տարբերվում են իրարից: Ակտիվացված փորձանմուշի վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազում զգալիորեն բարձրացել է քրոմի (93,89%) և նվազել են երկաթի Fe-ի (0,49%), Si-ի (1,58%) և Al-ի (3,49%) զանգվածային բաժինները:

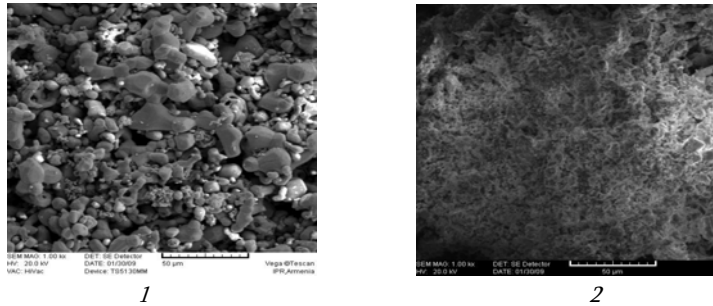
Մետաղական ֆազում ալյումինի ավելցուկային պարունակությունը երկու դեպքում էլ կախված է վերականգնիչի ավելցուկ քանակից: Մակայն վերականգնիչի պակասի դեպքում քրոմի ելքը զգալիորեն պակասում էր: Ելնելով ստացված արդյունքներից, չակտիվացված և NaCl-ի առկայությամբ ակտիվացված ու լվացված փորձանմուշները ենթարկվել են ալյումինաթերմային վերականգնման: Նկ. 5-ում պատկերված են ստացված արգասիքների ռենտգենագրերը:



Նկ.5. Մետաղական քրոմի ռենտգենագիրը. ա) չակտիվացված և բ) NaCl-ի առկայությամբ մեխանաքիմիապես ակտիվացված փորձանմուշներ

Կատարվել է նաև ստացված մետաղական ֆազերի կառուցվածքի մետաղագրական հետազոտություն՝ սկանացնող մանրադիտակային եղանակով: Նկ.6-ում բերված են այդ հետազոտությունների արդյունքները:

Ինչպես երևում է պատկերներից, ակտիվացված փորձանմուշի ալյումինաթերմային վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազն ավելի համասեռ է և մանրահատ:

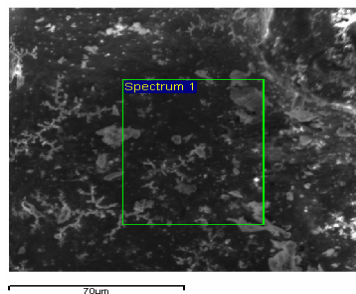


Նկ. 6. Քրոմիտային խտանյութի չակտիվացված (1) և NaCl -ի -ի առկայությամբ 120 ր մեխանաքիմիապես ակտիվացված (2) փորձանմուշների ալյումինաթերմային վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազի մանրադիտակային պատկերները

Այսպիսով, կարելի է եզրակացնել, որ քրոմիտները NaCl -ի առկայությամբ մեխանաքիմիապես ակտիվացնելիս, անվառարան ալյումինաթերմային վերականգնման եղանակով՝ մեկ փուլով, ստացվում է քրոմի բավական բարձր պարունակությամբ մետաղական քրոմ:

Կատարվել է նաև ստացված խարամների քիմիական և միներալոգիական վերլուծություն: Խարամների քիմիական կազմը հետևյալն է, %-ով՝ Al_2O_3 - 59,21; Cr_2O_3 - 6,72; SiO_2 - 1,99; $(Na,K)_2O$ - 8,93; CaO - 6,7; MgO - 2,35; FeO - 0,58: Միներալոգիական վերլուծության արդյունքները վկայում են, որ ստացված խարամը բարձրկավահողային է և բաղկացած է կորունդից՝ αAl_2O_3 -ից, Cr_2O_3 -ից, Na,K պարունակող ալյումինասիլիկատներից (նկ. 7):

Ինչպես երևում է խարամների քիմիական վերլուծության արդյունքներից, քրոմի ինչ-որ քանակություն մնում է նաև խարամի մեջ:



Նկ. 7. Քրոմիտային խտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնման արդյունքում ստացված խարամային ֆազի սկանացնող էլեկտրոնային մանրադիտակային պատկերը

Ստացված կորունդ և քրոմի օքսիդ պարունակող խարամները գործնական մեծ արժեք են ներկայացնում հրակայուն և աբրազիվ նյութերի արտադրություններում [6]: Դրանք հիանալի հումք են ապակեծեփման և մետալուրգիական վառարանների երեսապատման գործում: Դրանք ունեն ևս մեկ կարևոր կիրառություն. կարող են օգտագործվել բնապահպանական նպատակներով՝ կեղտաջրերի մաքրման գործընթացներում:

Կատարված հետազոտությունները թույլ են տալիս առաջարկել տեղական քրոմ պարունակող խտանյութերի մշակման նոր, ոչ ավանդական տեխնոլոգիա, որի հիմքում ընկած է ԲԻՍ և ՄՍ պրոցեսների զուգակցումը: Շնորհիվ այդ պրոցեսների զուգակցման, հնարավոր է իրականացնել քրոմիտների ուղղակի, ալյումինաթերմալին վերականգնում՝ շրջանցելով դրանց նախնական թրծումը, և մեխանաքիմիական ակտիվացումից հետո մեկ փուլով ստանալ բարձր ֆիզիկամեխանիկական և կառուցվածքային հատկություններով մետաղական քրոմ ու բարձրկավահողային խարամ:

Այսպիսով, ԲԻՍ գործընթացների և մեխանաքիմիական ակտիվացման (ՄԱ) զուգակցումը թույլ է տալիս ստանալ նոր հատկություններով և յուրահատուկ կառուցվածքով քրոմ, որը կարող է բավական արդյունավետ կիրառություն գտնել զանազան մակնիշի պողպատների մետաղապատման և գունավոր մետաղների հետ առաջացրած ինտերմետալիդների ստացման գործընթացներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Մարտիրոսյան Վ.Հ., Հակոբյան Ն.Ն., Մասունցյան Մ.Է.** Սևանի Տապասարի հանքավայրի քրոմիտների հարստացման գործընթացի ուսումնասիրությունները // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու.-Երևան, 2006. -Հ.2- էջ 610-613:
2. **Вильнянский Я.Е., Мартиросян В.А.** Селективное хлорирование Севанских хромитовых руд// Промышленность Армении.- Ереван, 1972.- N 9. - С.56-60.
3. **Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Прокудина В.К.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез // Ресурсы, технологии, экономика.- 2006.- N3.- С. 30-35.
4. **Плинер Ю.Л., Игнатенко Г.Ф., Лаппо Ц.И.** Металлургия хрома.-М., 1965.- 362 с.
5. Аллюминотермия /Под ред. **Н.П. Лекишева**.-М.: Металлургия, 1978.- 424 с.
6. **Лекишев Н.П., Гасик М.И.** Металлургия хрома.- М.: ЭЛИЗ, 1999. - 582 с.

ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 02.10.2011:

В.А. МАРТИРОСЯН, А.А. АЙВАЗЯН

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ХРОМИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО
ХРОМА**

Изучен процесс алюминотермического восстановления хромитового суперконцентрата. Выбран оптимальный состав шихты в этом процессе. Показано, что в присутствии хлоридов методом прямого, внепечного алюминотермического восстановления механохимически активированного хромитового суперконцентрата можно получить качественный металлический хром с низким содержанием железа и магния.

Ключевые слова: хромитовый суперконцентрат, шихта, алюминотермическое восстановление, металлический хром, хлориды.

V.H. MARTIROSYAN, A.A. AYVAZYAN

**STUDYING OF CHROMITE SUPERCONCENTRATE ALUMINOTHERMAL
REDUCTION PROCESSES AND OBTAINING OF METALLIC CHROMIUM**

The process of chromite superconcentrate aluminothermal recovery is studied. In this process the optimal structure of the charge is chosen. It is shown that in the presence of chlorides by methods of direct, with non-furnace aluminothermal recovery of mechanochemically activated chromite superconcentrate it is possible to obtain qualified metallic chromium with low content of iron and magnesium.

Keywords: chromite superconcentrate, charge, aluminothermic reduction, metallic chromium, chlorides.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ե.Ռ. ՇԱՄՍՍՅԱՆ

**ՋԷԿ-ԵՐԻ ԿՈՆԴԵՆՍԱՑԻՈՆ ՏԵՂԱԿԱՑԱՆՔՆԵՐՈՒՄ ՀՈՎԱՑՆՈՂ ՋՐԻ
ԼԱՎԱՐԿԱՅԻՆ ԾԱԽՍԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ՝ ԿԱԽՎԱԾ
ԿՈՆԴԵՆՍԱՑՈՐՆԵՐՈՒՄ ՆՍՏՎԱԾՔԱՅԻՆ ՇԵՐՏԻ ՀԱՍՏՈՒԹՅՈՒՆԻՑ**

Հետազոտվել են ՋԷԿ-երի կոնդենսացիոն տեղակայանքների աշխատանքային փոփոխական ռեժիմներում լավարկային վակուումի որոշման հարցերը: Մշակվել է անալիտիկ մեթոդ կոնդենսատորում հովացնող ջրի լավարկային ծախսի որոշման համար՝ կախված հովացման ներքին մակերևույթներից նստվածքային շերտի հաստությունից և հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանից:

Առանցքային բառեր. լավարկային վակուում, հովացնող ջուր, շրջանառության պոմպ, մակերևույթային կոնդենսատոր, նստվածքային շերտի հաստություն, հիդրավլիկական դիմադրություն:

Ջերմային էլեկտրակայանի աշխատանքի արդյունավետության վրա էական ազդեցություն ունեն ցածրպոտենցիալային համակարգը և, մասնավորապես, վերջինիս հիմնական հանգույցը՝ կոնդենսատորը: Կոնդենսատորում աշխատած շոգու ճնշումից կախված՝ փոխվում է էներգաբլոկի զարգացրած հզորությունը: Ընդ որում, այդ փոփոխությունը էական է նույնիսկ տուրբինի էլքում շոգու ճնշման աննշան տատանումների դեպքում: Շոգու սկզբնական գերտաք պարամետրերով աշխատող կոնդենսացիոն էլեկտրակայանների կոնդենսատորներում ճնշման 1 կՊա բարձրացումը հանգեցնում է տուրբինների զարգացրած հզորության նվազման անվանականի նկատմամբ մինչև 1 %, իսկ հազեցած շոգով աշխատող ատոմային էլեկտրակայանների համար այդ ցուցանիշը կրկնակի է՝ մինչև 2 % [1-2]: Իրական շահագործման պայմաններում էլեկտրակայանների կոնդենսատորներում շոգու ճնշման փոփոխությունը՝ բարձրացման չափը, կարող է հասնել մինչև 5...6 կՊա՝ պայմանավորված հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի աճով, հովացման ներքին մակերևույթներից նստվածքագոյացմամբ, կոնդենսատոր ներթափանցող օդի քանակության ավելացմամբ, հովացնող ջրի ծախսի կրճատմամբ և այլն: Բնական է, որ սա կայանի շահավետության ցուցանիշների խիստ վատացում է և հանգեցնում է վառելիքի գերաժախսի: Եվ այս իմաստով խիստ կարևորվում է էլեկտրակայանների կոնդենսացիոն տեղակայանքների ոչ միայն աշխատանքային ցուցանիշների հաշվարկային արժեքների ապահովումը, այլև տվյալ պարամետրերի դեպքում համակարգի լավարկային ռեժիմների ընտրությունը: Նմանատիպ խնդիր է առաջանում մասնակի բեռնվածքների դեպքում, երբ կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքը համապատասխան կերպով փոխվում է: Այդ դեպքում հովացնող ջրի անվանական ծախսը չփոփոխելով՝

կոնդենսատորում ստանում ենք ավելի խորը վակուում, սակայն ջրի մղման վրա շրջանառության պոմպերի ծախսած հզորությունն աճում է, իսկ հովացնող ջրի ծախսի կրճատումը հանգեցնում է նոսրացման վատացման: Ուստի առաջանում է լավարկային խնդիր. մասնակի շոգեբեռնվածքների դեպքում հովացնող ջրի ծախսի այնպիսի արժեքի ընտրում, որ զարգացրած հզորության և շրջանառության պոմպերի վրա ծախսված հզորության տարբերությունը լինի առավելագույնը:

Նախկինում կատարված աշխատանքներում [3-7] որոշվել է հովացնող ջրի ծախսը տեխնիկական ջրամատակարարման տարատեսակ համակարգերի համար՝ հովացնող ջրի սկզբնական տարբեր ջերմաստիճաններից կախված: Սակայն այդ աշխատանքներում գրեթե հաշվի չի առնվում կոնդենսատորի հովացման ներքին մակերևույթների աղտոտվածության ազդեցությունը: Խնդրի անալիտիկ լուծումը բավականին բարդ է՝ պայմանավորված մի շարք ծավալուն արտահայտություններով, որոնցում հովացնող ջրի ծախսի կամ խողովակներով ջրի արագության փոփոխականը կրում է տարբեր ցուցային աստիճաններ (օրինակ՝ կոնդենսատորի ջերմափոխանցման գործակցի որոշման Լ.Դ. Բերմանի բանաձևը):

Փորձենք խնդիրը լուծել անալիտիկորեն՝ հաշվի առնելով նաև կոնդենսատորի հովացման ներքին մակերևույթների աղտոտվածությունը, որի համար որպես բնութագրիչ պարամետր կընտրվի նստվածքային շերտի միջին հաստությունը: Պարզության համար դիտարկենք տեխնիկական ջրամատակարարման անհատական համակարգ և ընդունենք կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքը տրված:

Ընդհանուր դեպքում խնդրի մաթեմատիկական տեսքը հետևյալն է.

$$N_t - \Delta N_{\text{աղտ}} - N_{\text{շպ}} \Rightarrow \max, \quad (1)$$

որտեղ N_t -ը էներգաբլոկի զարգացրած հզորությունն է տրված շոգեբեռնվածքի և տեխնիկապես մաքուր կոնդենսատորի դեպքում: Հետևաբար, համարելով, որ օդային ներծծումները գտնվում են թույլատրելի սահմաններում, զարգացրած հզորությունը, կախված կոնդենսացիոն տեղակայանքի աշխատանքային ցուցանիշներից, կարտահայտվի հետևյալ առնչությամբ.

$$N_t = f(t_{\text{thg}}, \beta_G), \quad (2)$$

որտեղ t_{thg} -ը հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանն է, աստ., β_G -ն՝ հովացնող ջրի հարաբերական ծախսը՝ ընթացիկ արժեքի հարաբերությունը հաշվարկային արժեքին՝ $\beta_G = G_{\text{hg}} / G_{\text{hg0}}$:

$\Delta N_{\text{աղտ}}$ -ը հզորության նվազման չափն է՝ պայմանավորված կոնդենսատորների խողովակների աղտոտվածությամբ: Ինչպես (2) արտահայտության, այնպես էլ այս դեպքում $\Delta N_{\text{աղտ}}$ -ը կարող ենք ներկայացնել.

$$\Delta N_{\text{աղտ}} = f(t_{1\text{հգ}}, \beta_G, \delta), \quad (3)$$

որտեղ δ -ն կոնդենսատորի խողովակներում նստվածքային շերտի միջին հաստությունն է:

Շահագործման իրական պայմաններում հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի վերին սահմանը կարող է հասնել 35°C , հովացնող ջրի հարաբերական ծախսը՝ $0,5 \dots 1,2$, իսկ նստվածքային շերտի միջին հաստությունը՝ մինչև 2 մմ : Նշված սահմաններում կարող ենք ասել, որ տրված մակնիշի կոնդենսացիոն էներգաբլոկի համար (2) և (3) արտահայտությունները տիպարային են: Կիրառելով փորձնական տվյալների պլանավորման ՀՊՃՀ-ում մշակված մեթոդը [8] և նկատի ունենալով, որ ջերմաէներգետիկական սարքավորումների բնութագրական մոդելների առումով բավարար է համարվում 2-րդ աստիճանի բազմանդամ մոդելի ներկայացումը, (2) և (3) արտահայտությունները կներկայացվեն հետևյալ տեսքով [9].

$$N^{(\beta_D)}_t = F_0 + F_1 \cdot t_{1\text{հգ}} + F_2 \cdot \beta_G + F_{12} \cdot t_{1\text{հգ}} \beta_G + F_{11} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 + F_{22} \cdot \beta_G^2 + F_{112} \cdot t_{1\text{հգ}} \beta_G^2 + E_{122} \cdot t_{1\text{հգ}} \beta_G^2 + E_{1122} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \beta_G^2, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta N^{(\beta_D)}_{\text{աղտ}} = & E_2 \cdot \delta + E_{12} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta + E_{22} \cdot \delta^2 + E_{23} \cdot \delta \beta_G + E_{112} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta + \\ & + E_{122} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta^2 + E_{123} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta \beta_G + E_{223} \cdot \delta^2 \beta_G + E_{233} \cdot \delta \beta_G^2 + E_{1122} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta^2 + \\ & + E_{1123} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta \cdot \beta_G + E_{1223} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta^2 \beta_G + E_{1233} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta \beta_G^2 + E_{2233} \cdot \delta^2 \beta_G^2 + \\ & + E_{11223} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta^2 \beta_G + E_{11233} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta \beta_G^2 + E_{12233} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta^2 \beta_G^2 + E_{112233} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta^2 \beta_G^2, \end{aligned} \quad (5)$$

որտեղ $F_0, F_1, F_2 \dots$ և $E_2, E_{12}, E_{22} \dots$ ռեգրեսիոն վերլուծության հաստատուն գործակիցներն են:

$\beta_D = D_{\text{լ}} / D_{\text{լ}0}$ -ն կոնդենսատորի հարաբերական շոգեբեռնվածքն է և ընդունվում է հաստատուն մեծություն: (4) և (5) բազմանդամ արտահայտություններում կատարենք β_G և β_G^2 մեծությունների գումարելիների խմբավորում.

$$N^{(\beta_D)}_t = (F_0 + F_1 \cdot t_{1\text{հգ}} + F_{11} \cdot t_{1\text{հգ}}^2) + \beta_G (F_2 + F_{12} \cdot t_{1\text{հգ}} + F_{112} \cdot t_{1\text{հգ}}^2) + \beta_G^2 (F_{22} + E_{122} \cdot t_{1\text{հգ}} + E_{1122} \cdot t_{1\text{հգ}}^2), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta N^{(\beta_D)}_{\text{աղտ}} = & (E_2 \cdot \delta + E_{12} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta + E_{22} \cdot \delta^2 + E_{112} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta + E_{122} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta^2 + E_{1122} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta^2) + \\ & + \beta_G (E_{23} \cdot \delta + E_{123} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta + E_{223} \cdot \delta^2 + E_{1123} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta + E_{1223} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta^2 + E_{11223} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta^2) + \\ & + \beta_G^2 (E_{233} \cdot \delta + E_{1233} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta + E_{2233} \cdot \delta^2 + E_{11233} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta + E_{12233} \cdot t_{1\text{հգ}} \delta^2 + E_{112233} \cdot t_{1\text{հգ}}^2 \delta^2): \end{aligned} \quad (7)$$

Կատարենք նշանակում.

$$\begin{cases} F = F_0 + F_1 \cdot t_{1hg} + F_{11} \cdot t_{1hg}^2, \\ F' = F_2 + F_{12} \cdot t_{1hg} + F_{112} \cdot t_{1hg}^2, \\ F'' = F_{22} + E_{122} \cdot t_{1hg} + E_{1122} \cdot t_{1hg}^2, \end{cases}$$

$$\begin{cases} E = E_2 \cdot \delta + E_{12} \cdot t_{1hg} \delta + E_{22} \cdot \delta^2 + E_{112} \cdot t_{1hg}^2 \delta + E_{122} \cdot t_{1hg} \delta^2 + E_{1122} \cdot t_{1hg}^2 \delta^2, \\ E' = E_{23} \cdot \delta + E_{123} \cdot t_{1hg} \delta + E_{223} \cdot \delta^2 + E_{1123} \cdot t_{1hg}^2 \delta + E_{1223} \cdot t_{1hg} \delta^2 + E_{11223} \cdot t_{1hg}^2 \delta^2, \\ E'' = E_{233} \cdot \delta + E_{1233} \cdot t_{1hg} \delta + E_{2233} \cdot \delta^2 + E_{11233} \cdot t_{1hg}^2 \delta + E_{12233} \cdot t_{1hg} \delta^2 + E_{112233} \cdot t_{1hg}^2 \delta^2, \end{cases}$$

և արդյունքում (6) և (7) բանաձևերը կընդունեն հետևյալ տեսքերը.

$$N^{(\beta_D)}_t = F + F' \beta_G + F'' \beta_G^2, \quad (8)$$

$$\Delta N^{(\beta_D)}_{\omega_{\eta\omega}} = E + E' \beta_G + E'' \beta_G^2 : \quad (9)$$

$N_{2\omega}$ -ը՝ շրջանառության պոմպերի էլեկտրական հզորությունը, ընդհանուր դեպքում որոշվում է՝ կախված շրջանառության կոնտուրի հիդրավլիկական դիմադրությունից և մղվող ջրի ծախսից.

$$N_{2\omega} = \frac{kG_{hg} \Delta H \cdot 10}{\rho_g \eta_{\omega}}, \quad (10)$$

որտեղ k -ն գործակից է, որը հաշվի է առնում յուղա- և գազահովացուցիչների, առանցքակալների հովացման և այլ նպատակներով ծախսվող ջրի քանակները և միջին ու բարձր հզորության էներգաբլոկների համար կազմում է 3...7 %, ρ_g -ն՝ տեխնիկական ջրի խտությունը, h_g/u^g , η_{ω} -ն՝ պոմպի օ.գ.գ.-ն, ΔH -ը՝ հիդրավլիկական դիմադրությունների հաղթահարման ճնշման էջքը, u^g :

ΔH -ը որոշվում է

$$\Delta H = \Delta H_{\eta} + \Delta H_{2\eta} + h \quad (11)$$

բանաձևով, որտեղ ΔH_{η} -ն կոնդենսատորի հիդրավլիկական դիմադրությունն է, u^g , $\Delta H_{2\eta}$ -ն՝ շրջանառության կոնտուրի մատակարարող և հետադարձ խողովակազմերում հիդրավլիկական դիմադրությունը, u^g , h -ը՝ ջրի վերհանման գեոդեզիական բարձրությունը, որը հավասար է ջրթափման և ջրընդունման մակարդակների տարբերությանը, u^g :

ΔH_{η} -ն որոշվում է հետևյալ բանաձևով [10].

$$\Delta H_{\text{կ}} = \left(\lambda \frac{z \cdot l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2g} \text{ , } \quad (12)$$

որտեղ λ -ն հիդրավլիկական շփման դիմադրության գործակիցն է խողովակում, z -ը՝ կոնդենսատորում հովացնող ջրի շարժման քայլերի թիվը, l -ը՝ խողովակների երկարությունը մեկ քայլում, u , d -ն՝ խողովակների ներքին տրամագիծը, u , $\Sigma \xi$ -ն՝ կոնդենսատորի տեղական դիմադրությունների գործակիցների գումարը, որը հաշվի է առնում ջրային խցերում և խողովակների տրամագծերի փոփոխությամբ պայմանավորված ճնշման էջքի կորուստները, w -ն՝ խողովակներում հովացնող ջրի շարժման արագությունը, u/l , g -ն՝ ծանրության ուժի արագացումը, u/l^2 :

(12) հավասարումը կարելի է ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքով [11]՝

$$\Delta H_{\text{կ}} = K_1 \beta_G^2 \text{ , } \quad (13)$$

$$K_1 = \left(\lambda \frac{z \cdot l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{1}{2g} \left(\frac{4G_{hg0}Z}{\pi d^2 n_0 \rho_g} \right)^2 \text{ ,}$$

որտեղ n_0 -ն կոնդենսատորի խողովակների թիվն է:

Շրջանառության կոնտուրի հիդրավլիկական դիմադրությունը որոշվում է Դարսի- Վեյսբախի բանաձևով [12].

$$\Delta H_{2\text{կ}} = 2 \cdot \left(\lambda_1 \frac{L}{D} + \Sigma \xi_1 \right) \cdot \frac{W^2}{2g} \text{ , } \quad (14)$$

որտեղ λ_1 -ը հիդրավլիկական շփման դիմադրության գործակիցն է մղող և հետադարձ խողովակագծում, L -ը՝ շրջանառության կոնտուրի երկարությունը, u , D -ն՝ մղող և հետադարձ խողովակագծի ներքին տրամագիծը, u , $\Sigma \xi_1$ -ն՝ շրջանառության կոնտուրի տեղական դիմադրությունների գումարը, W -ն՝ շրջանառության կոնտուրում հովացնող ջրի շարժման արագությունը, u/l , g -ն՝ ծանրության ուժի արագացումը, u/l^2 :

(14) հավասարումը նույնպես կարելի է ներկայացնել (13) տեսքով [11]՝

$$\Delta H_{2\text{կ}} = K_2 \beta_G^2 \text{ , } \quad (15)$$

$$K_2 = 2 \cdot \left(\lambda_1 \frac{L}{D} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{1}{2g} \left(\frac{2G_{hg0}}{\pi D^2 \rho_g} \right)^2 \text{ :}$$

(13) և (15) արտահայտությունները տեղադրելով (10)-ում կարող ենք գրել.

$$N_{2\omega} = \frac{kG_{\text{h}\omega 0} \beta_G (K_1 \beta_G^2 + K_2 \beta_G^2 + h) \cdot 10}{\rho_g \eta_{\omega}} : \quad (16)$$

(16)-ում միակ փոփոխականը հովացնող ջրի ծախսն է՝

$$N_{2\omega} = f(\beta_G) : \quad (17)$$

(8), (9), (16)-ը տեղադրելով (1)-ում կստանանք.

$$F + F' \beta_G + F'' \beta_G^2 - (E + E' \beta_G + E'' \beta_G^2) - \frac{kG_{\text{h}\omega 0} \beta_G (K_1 \beta_G^2 + K_2 \beta_G^2 + h) \cdot 10}{\rho_g \eta_{\omega}} \Rightarrow \max : \quad (18)$$

Ինչպես երևում է (18)-ից, միակ փոփոխականը հովացնող ջրի ծախսի β_G հարաբերական մեծությունն է: Հետևաբար, (18)-ը դիֆերենցելով ըստ β_G , հավասարեցնելով 0-ի և լուծելով, կորոշենք հովացնող ջրի ծախսի այն արժեքը, որը կապահովի առաքվող էլեկտրաէներգիայի առավելագույն քանակություն՝ հաշվի առնելով կոնդենսատորի հովացման ներքին մակերևույթներին նստվածքային շերտի ազդեցությունը:

$$\frac{d(\max)}{d\beta_G} = F' + 2 \cdot F'' \beta_G - E' - 2 \cdot E'' \beta_G - \frac{10kG_{\text{h}\omega 0} K_1}{\rho_g \eta_{\omega}} \cdot 3\beta_G^2 - \frac{10kG_{\text{h}\omega 0} K_2}{\rho_g \eta_{\omega}} \cdot 3\beta_G^2 - \frac{10kG_{\text{h}\omega 0} h}{\rho_g \eta_{\omega}} : \quad (19)$$

Կատարենք նման անդամների միացում.

$$A_1 = F' - E' - \frac{10kG_{\text{h}\omega 0} h}{\rho_g \eta_{\omega}}, A_2 = 2 \cdot F'' - 2 \cdot E'', A_3 = \frac{30kG_{\text{h}\omega 0} K_1}{\rho_g \eta_{\omega}} + \frac{30kG_{\text{h}\omega 0} K_2}{\rho_g \eta_{\omega}} :$$

Արդյունքում (19)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\frac{d(\max)}{d\beta_G} = A_3 \beta_G^2 - A_2 \beta_G - A_1 = 0 : \quad (20)$$

(20)-ը քառակուսային հավասարում է, որը լուծելով կստանանք հովացնող ջրի լավարկային ծախսը:

Որպես օրինակ դիտարկվել է K-200-130 էներգաբլոկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի աշխատանքը 70 % շոգեբեռնվածքի դեպքում: (1) արտահայտության

մեջ $N_t - \Delta N_{\omega \eta \text{տ}} = N_{\omega \eta \text{տ}}$ համար ստացվել է հետևյալ ռեգրեսիոն հավասարումը.

$$\begin{aligned}
N_{\text{արտ}} = & 138.2 + 0.08t_1 - 1.5\delta + 5.58\beta_G - 0.027t_1^2 + 0.03t_1\delta - 0.096t_1\beta_G - \\
& - 0.198\delta^2 + 0.54\delta\beta_G - 2.14\beta_G^2 - 0.005t_1^2\delta + 0.024t_1^2\beta_G - 0.0077t_1\delta^2 - 0.06t_1\delta\beta_G + \\
& + 0.04t_1\beta_G^2 - 0.107\delta^2\beta_G - 0.149\delta\beta_G^2 - 0.00044t_1^2\delta^2 + 0.0038t_1^2\delta\beta_G - 0.0093t_1^2\beta_G^2 + \\
& + 0.0056t_1\delta^2\beta_G + 0.026t_1\delta\beta_G^2 + 0.068\delta^2\beta_G^2 + 0.000015t_1^2\delta^2\beta_G - 0.0014t_1^2\delta\beta_G^2 - \\
& - 0.0018t_1\delta^2\beta_G^2 + 0.0000395t_1^2\delta^2\beta_G^2 :
\end{aligned}$$

Ռեգրեսիոն հավասարման ճշտության դասը շատ բարձր է. բազմակի հարաբերակցության գործակցի արժեքը 0.9997 է:

$N_{2\text{պ}}$ -ի համար ստանում ենք հետևյալ արտահայտությունը.

$$N_{2\text{պ}} = 0.8\beta_G^3 + 0.85\beta_G :$$

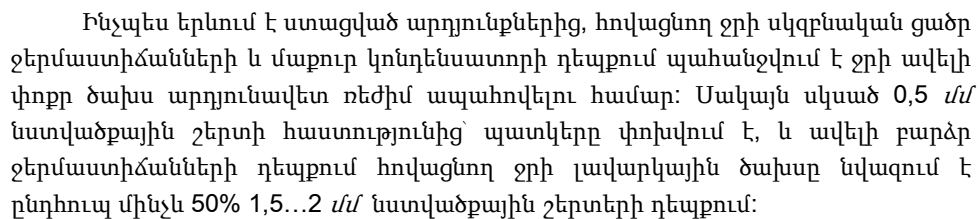
Ըստ (18)-ի կարող ենք գրել.

$$\begin{aligned}
& 138.2 + 0.08t_1 - 1.5\delta + 5.58\beta_G - 0.027t_1^2 + 0.03t_1\delta - 0.096t_1\beta_G - 0.198\delta^2 + \\
& + 0.54\delta\beta_G - 2.14\beta_G^2 - 0.005t_1^2\delta + 0.024t_1^2\beta_G - 0.0077t_1\delta^2 - 0.06t_1\delta\beta_G + \\
& + 0.04t_1\beta_G^2 - 0.107\delta^2\beta_G - 0.149\delta\beta_G^2 - 0.00044t_1^2\delta^2 + 0.0038t_1^2\delta\beta_G - \\
& - 0.0093t_1^2\beta_G^2 + 0.0056t_1\delta^2\beta_G + 0.026t_1\delta\beta_G^2 + 0.068\delta^2\beta_G^2 + 0.000015t_1^2\delta^2\beta_G - \\
& - 0.0014t_1^2\delta\beta_G^2 - 0.0018t_1\delta^2\beta_G^2 + 0.0000395t_1^2\delta^2\beta_G^2 - 0.8\beta_G^3 - 0.85\beta_G \Rightarrow \max :
\end{aligned}$$

Հետևաբար, վերջինս դիֆերենցելով ըստ β_G -ի կստանանք.

$$\begin{aligned}
\frac{d(\max)}{d\beta_G} = & -2.4\beta_G^2 + \beta_G \left(-4.28 + 0.08t_1 - 0.3\delta - 0.0186t_1^2 + 0.052t_1\delta + \right. \\
& \left. + 0.136\delta^2 - 0.0028t_1^2\delta - 0.0036t_1\delta^2 + 0.00008t_1^2\delta^2 \right) + \\
& + \left(4.73 - 0.096t_1 + 0.54\delta + 0.024t_1^2 - 0.06t_1\delta - 0.107\delta^2 + \right. \\
& \left. + 0.0038t_1^2\delta + 0.0056t_1\delta^2 + 0.000015t_1^2\delta^2 \right) = 0 :
\end{aligned}$$

Այսպիսով, ստացանք քառակուսային հավասարում, որի լուծմամբ որոշվում է հովացնող ջրի լավարկային ծախսը 0,6...1,2 տիրույթում՝ կախված հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանից՝ 5...35 °C և նստվածքային շերտի հաստությունից՝ 0...2 մմ: Համապատասխան գրաֆիկը բերված է ստորև (նկ.)



8. **Ասեֆյան Ա.Ն., Աբրահամյան Լ.Ֆ., Ասեֆյան Ա.Ա.** Ինտելեկտուալ ծածկագրերի ձևավորման համակարգի զարգացումը LabView ծրագրային միջավայրում ինտելեկտուալ ծածկագրերի օգտագործման դեպքում: ՆԱ. ԾԾ. Ինտելեկտուալ ծածկագրերի օգտագործման դեպքում: "Օպերատիվ տեղեկատվություն" ամսագրի 75-թիվի համար 2008 թ. 183-195 համարում:
9. **Շամամյան Ե.Ր.** Ջեռարկման մեթոդների կոնվերտացիայի ալգորիթմի հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման մաթեմատիկական մոդելի մշակումը// ՀՀԱ ԼԲԲԲԲ-2009.-2.6, № 3.-էջ 377-380:
10. Օպերատիվ տեղեկատվություն համակարգի ձևավորման ծրագրի ԷՄՆ/ Ինտելեկտ. **Ե.Ն. Նոստրատ**. Լ.: Բնագիտություն, 1970.- 280 հ.
11. **Շեֆյան Լ.Լ.** Դիֆուզիայի և զերոյին շերտի ծածկագրերի օգտագործման դեպքում: Լ.: Կոնստրուկտիվ, 1986.-320 հ.
12. **Էսեֆյան Ե.Ա.** Նոստրատի և ձերոյին շերտի ծածկագրերի օգտագործման դեպքում: Լ.: Ինտելեկտուալ տեղեկատվություն, 1992.-672 հ.

ՀղձՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 23.08.2011:

В.З. МАРУХЯН, Е.Р. ШАМАМЯН

**РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ В
КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ НА ТЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ТОЛЩИНЫ СЛОЯ НАКИПИ В КОНДЕНСАТОРАХ**

Исследованы вопросы определения оптимального вакуума при переменных режимах работы конденсационных установок ТЭС. Разработан аналитический метод определения оптимального расхода охлаждающей воды в конденсаторе в зависимости от толщины слоя накипи на внутренних охлаждаемых поверхностях и начальной температуры охлаждающей воды.

Ключевые слова: оптимальный вакуум, охлаждающая вода, циркуляционный насос, поверхностный конденсатор, толщина слоя накипи, гидравлическое сопротивление.

V.Z. MARUKHYAN, YE.R. SHAMAMYAN

**AN ANALYTIC METHOD DEVELOPMENT FOR DEFINING THE OPTIMAL
CONSUMPTION OF COOLING WATER IN TPP CONDENSERS AGAINST THE
THICKNESS OF SCALE FORMATION IN CONDENSERS**

The problems for defining the optimal vacuum at changing regimes of TPP condensers are studied. An analytic method defining the optimal consumption of cooling water in condenser against the thickness of scale formation on inner cooling surfaces and the cooling water primary temperature is developed.

Keywords: optimal vacuum, cooling water, circulating pump, surface condenser, thickness of scale formation, hydraulic resistance.

Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ԿՈԳԵՆԵՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԵՎ ՓՈՔՐ ՈՒ ՄԻՋԻՆ ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՄԲ ԷՆԵՐԳԱՏԵՂԱԿԱՑԱՆՔՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Իրականացված է ժամանակակից կոգեներացման տեխնոլոգիաների և փոքր ու միջին հզորությամբ էներգատեղակայանքների վերլուծություն, ճշտված են դրանց օգտագործման ոլորտները:

Առանցքային բառեր. կոգեներացիա, գազատուրբին, շոգետուրբին:

Շուկայական տնտեսության պայմաններում էներգիայի սպառիչներն առաջադրում են համեմատաբար էժան, կոմպակտ և հնարավորինս համապիտանի էներգաաղբյուրների կիրառման և վերջիններիս զարգացման պահանջ, ելնելով այն հիմնարար սկզբունքից, որ էներգամատակարարման տվյալ աղբյուրի ընտրությունը, կախված նրա արժեքից, որակից, հուսալիությունից և այլ չափանիշներից (որոնք էներգասպառիչի համար էական են), սպառիչի իրավունքն է:

Հաշվի առնելով էլեկտրաէներգիայի սակագների համարյա տարեկան պարբերականությամբ իրականացվող բարձրացումները՝ կոգեներացման տեղակայանքների կիրառումը հնարավորություն է տալիս հասնել զգալի տնտեսական արդյունավետության՝ կրճատելով էլեկտրաէներգիայի և ջերմության վրա կատարվող ծախսերը գրեթե 2,8 անգամ, ընդ որում, ներդրումների հետզման ժամանակամիջոցը տատանվում է 2...5 տարվա միջակայքում՝ տեղակայանքների 25...30 տարվա շահագործման ժամկետի պայմաններում:

Կոգեներացման համակարգերի ներդրումը հնարավորություն է տալիս.

- բարձրացնել երկրի ու տարածաշրջանի էներգետիկական անվտանգությունը,
- մոտեցնել էլեկտրաէներգիայի արտադրությունը սպառիչներին՝ նվազեցնելով կորուստները ցանցերում,
- բարձրացնել վառելիքի օգտագործման արդյունավետությունը,
- ստեղծել լրացուցիչ մանրաբյուրեղային հզորություններ,
- փոքրացնել ջերմության և էլեկտրաէներգիայի ինքնարժեքը,
- նվազեցնել վառելիքի այրման դեպքում առաջացող թունավոր արտանետումների ծավալը՝ համապատասխանեցնելով դրանք եվրոպական էկոլոգիական չափանիշներին,
- բարձրացնել էներգամատակարարման հուսալիությունը և անվտանգությունը,
- ստեղծել նոր աշխատատեղեր և բյուջեի լրացուցիչ մուտքեր,
- ունենալ հետզման փոքր ժամանակամիջոց և տեղակայանքի զգալի մոտոռեսուրս:

Փոքր ՁԷՑ-երի կիրառման դեպքում կատարված ներդրումները փոխհատուցվում են, ամբողջությամբ վերցրած, էներգիայի ցածր արժեքի հաշվին: Ավելին, նոր

Էլեկտրական հզորությունների գործարկման պարագայում չի առաջանում լրացուցիչ էլեկտրահաղորդման գծերի (ԷՀԳ), տրանսֆորմատորային ենթակայանների (ՏԵ) կառուցման և մալուխային գծերի անցկացման անհրաժեշտություն: Ըստ փորձագիտական գնահատումների, գազատարներով վառելիքի տեղափոխումը գրեթե 10 անգամ տնտեսավետ է էլեկտրական էներգիայի բարձրավոլտ ԷՀԳ-երով հաղորդումից:

Կարելի է առանձնացնել էլեկտրական և ջերմային էներգիայի կոգեներացիայի մի քանի հեռանկարային ուղղություններ: Դրանք են՝

- ջերմության օգտահանիչներով ներքին այրման միացային շարժիչներ, այդ թվում՝ գազամիացային շարժիչները,
- ջերմաֆիկացման ջերմափոխանակիչներով կամ կաթսա - օգտահանիչներով գազատուրբինային տեղակայանքներ,
- բանաձ շոգու ջերմության ջերմաֆիկացման նպատակով օգտագործման շոգե-տուրբինային տեղակայանքներ:

Շոգետուրբինային տեղակայանքներ [1,2]: Շոգետուրբինները՝ որպես առաջնային շարժիչներ, խոշոր կոգեներացման համակարգերում օգտագործվում են բավականին վաղուց: Շոգետուրբինային տեղակայանքները լայնորեն տարածված են կոգեներացման արդյունաբերական և այլ համակարգերում: Տվյալ տեխնոլոգիան առավել նպատակահարմար է կիրառել մեծ՝ մի քանի հարյուր կՎտ հզորությամբ տեղակայանքների համար (աղ. 1):

Աղյուսակ 1

Շոգետուրբինների առավելությունները և թերությունները

Մեքենայի միավոր հզորությունը	0,5...1000 ՄՎտ
ընդհանուր օ.գ.գ-ն	մինչև 80 %
Առավելությունները	Թերությունները
Ցանկացած վառելիքով աշխատանք (ցածր որակի վառելիքի օգտագործման հնարավորություն): Ամենամեծ միավոր հզորություն: Գոյություն ունեցող էլեկտրակայաններում տեխնոլոգիայի ներդրման հնարավորություն: Ջերմակրի տարբեր տեսակներ: Հզորության ընտրության լայն միջակայք: Օառայության բավականին մեծ ռեսուրս:	Մեծ իներցիոնություն /գործարկման մեծ տևողություն: Մեծ արժեք: Ջերմության արտադրությունը գերակայում է էլեկտրաէներգիայի նկատմամբ: Բարդ և թանկ կապիտալ վերանորոգում, արդյունավետ օգտագործման բարձր ներքին շեմ:

Այժմ բավականին հեռանկարային են այս տիպի կոգեներացման տեղակայանքները, որոնք նախատեսված են գործող կամ նոր կառուցվող կաթսայատների համար: Հայաստանում և ԱՊՀ երկրներում արդյունաբերական և արդյունաբերական-ջեռուցման կաթսայատների մեծ մասը կահավորված է DKBP կամ DE սերիայի հիմնականում հազեցած կամ թույլ գերտաքացված, $P=12...14$ մթն ճնշմամբ, $5...25$ տ/ժ արտադրողականությամբ շոգեկաթսաներով: Ջերմային էներգիայի սպառիչները՝ ջերմամատակարարման համակարգը, արդյունաբերական տեխնոլոգիաները, հիմնականում օգտագործում են $4...6$ մթն-ից մինչև $1,2...1,7$ մթն ճնշման շոգի: Շոգու ավելցուկա-

յին ճնշումը, մինչև սպառիչներից պահանջվող ճնշումը, իջեցվում է ճզմման և ճզմման - հովացման տեղակայանքներում, ինչը ուղեկցվում է շոգու պոտենցիալ էներգիայի որոշակի մասի անհակադարձելի կորստով: Մինչև սպառիչի կողմից պահանջվող պարամետրերը շոգու ճնշման իջեցում կարելի է իրականացնել ճզմման սարքը շրջանցող գծի վրա շոգետուրբինի տեղադրման միջոցով: Այդպիսի շոգետուրբինը նույն լիսեռի վրա տեղադրված էլեկտրագենետրատորի միջոցով շոգու ընդարձակման էներգիան կերպափոխում է էլեկտրական էներգիայի, որի արժեքը առնվազն 2...3 անգամ փոքր է արտաքին ցանցից գնվող էներգիայի արժեքից, որի հետևանքով և կոգեներացման տեղակայանքի հետգնման ժամանակամիջոցը 1,5...3,0 տարի է:

Գազամխոցային տեղակայանքներ: Որպես շարժաբեր օգտագործվում է ներքին այրման գազամխոցային քառատակտ շարժիչը (ՆԱՇ): Գործնականում կիրառվում է մխոցային շարժիչների երկու տեսակ.

- Կայծային բռնկումով, որոնք կարող են աշխատել մաքուր գազով (բնական գազ, կենսա-և այլ պայմանականորեն անվճար գազերով):
- Մեղմման հետևանքով բռնկումով, որոնք կարող են աշխատել դիզելային վառելիքով կամ գազային վառելիքով (5% դիզելային վառելիքի հավելումով) (աղ. 2):

Աղյուսակ 2

Մխոցային շարժիչի առավելությունները և թերությունները

Մեքենայի միավոր հզորությունը (բռնկումը սեղմումից/կայծից)	0,2...20 ՄՎտ/0,003...6 ՄՎտ
ընդհանուր օ.գ.գ-ն	70...92 %
Առավելությունները	Թերությունները
Ամենաբարձր արտադրողականություն: Արդյունավետ աշխատանք փոքր բեռնվածքի դեպքում (30%...100%): 1/4-ում համար սկզբնական ներդրումների համեմատաբար ցածր մակարդակ: Մոդելների լայն ընտրանի ըստ ելքային հզորության (սկսած 3 կՎտ-ից) Ինքնավար աշխատանքի հնարավորություն: Արագ գործարկում (1,5 ր-ից, գազատուրբինը պահանջում է 0,5...2 ժամ): Վառելիքի ընտրման լայն միջակայք: Էլեկտրաէներգիայի արտադրության գերակայություն: Փոքր չափեր-փոքր ներդրումային ծախսեր: Գազի փոքր ճնշումով (փոքր 1 բարից) աշխատանք: Զգալի ռեսուրս: Կլաստերացման հնարավորություն (մի քանի տեղակայանքների գուգահեռ աշխատանք): Տեղակայանքի աշխատանքը վառելիքի մի քանի տեսակներով:	Եթե ջերմությունը չի օգտագործվում, ապա պահանջվում է հովացում: Ցածր հաճախականության աղմուկի բարձր մակարդակ: Զանգված/ելքային հզորության բարձր հարաբերակցություն: Մեքենայի համեմատաբար ցածր միավոր հզորություն:

Քառատակտ շարժիչները զգայուն չեն բեռնվածքի փոփոխության նկատմամբ. բեռնվածքի 50%-ով նվազման դեպքում վառելիքի տեսակարար ծախսի աճը չի գերազանցում 5%-ը:

Էներգետիկայում միշտ էլ տեսականորեն ընդունվել է, որ սարքավորման տեսակարար հզորության մեծացմանը զուգընթաց լավանում են նրա տեսակարար պարամետրերը: Միտցային շարժիչների դեպքում դա կիրառելի չէ: Դեռևս Կ.Է. Ցիակովսկին տեսականորեն ցույց է տվել, որ միտցային շարժիչի տեսակարար մետաղատարությունը (համաձայն ավիացիայում ընդունված տերմինաբանության, որից օգտվել էր Ցիակովսկին, տեսակարար կշիռը) նվազում է գլանի տրամագծի նվազմանը զուգընթաց: Շարժիչաշինության հետագա զարգացումը հաստատել է այդ պնդումը: Միտցային շարժիչների համար գազային վառելիքի տեսակարար ծախսը, երբ մեկ գլանի հզորությունը 15 կՎտ-ից ավելին է, գործնականորեն հզորությունից կախված չէ: Ինչպես ցույց է տալիս վերլուծությունը, տեղադրված 1 կՎտ հզորության արժեքի և հզորության միջև կոռելյացիոն կապ չկա: Այսպիսով, ԳՄՏ-ով կահավորված մինի ՋԷՑ-ը կարող է արդյունավետ լինել արդեն 15 կՎտ հզորության դեպքում:

Գազատուրբինային տեղակայանքներ: Ագրեգատ՝ բաղկացած գազատուրբինային շարժիչից, ռեդուկտորից և օժանդակ համակարգերից: Ճնշակից (կոմպրեսորից) այրման խուց տրվող օդը խառնվում է գազի հետ, ձևավորելով վառելիքաօդային խառնուրդ, որը և այրվում է: Առաջացած այրման արգասիքները բարձր ջերմաստիճանով (900...1200 °C) անցնում են գազատուրբինի լիսեռի վրա տեղադրված թիակների մի քանի շարքերի միջով, ստեղծելով պտտողական մոմենտ, որը և պտտում է գազատուրբինային տեղակայանքի ռոտորը և դրան միացված գեներատորը: Տուրբինից դուրս եկող գազերի ջերմաստիճանը 450...550 °C է: Աշխատած գազերի ջերմությունն օգտագործվում է ջերմաօգտահանիչում՝ տեղակայանքի արդյունավետության բարձրացման համար (աղ. 3):

Աղյուսակ 3

Գազատուրբինի առավելությունները և թերությունները

Մեքենայի միավոր հզորությունը	0,25...30 կՎտ
Ընդհանուր օ.գ.գ-ն	65... 87 %
Առավելությունները	Թերությունները
Ջրային հովացման համակարգի բացակայություն: Վառելիքի ընտրման լայն միջակայք: Թունավոր նյութերի ցածր էմիսիա: Բավականին մեծ ռեսուրս: Բավականին մեծ միավոր հզորություն:	Արդյունավետ օգտագործման ստորին բարձր շեմ: Արտադրողականությունը միտցային շարժիչներից ցածր է: Աղմուկի բարձր մակարդակ: Պահանջում է վառելիքի նախապատրաստում (մաքրում, չորացում, կոմպրեսիա): Ցածր արդյունավետություն ոչ լրիվ բեռնվածության դեպքում: Գործարկման երկար ժամանակամիջոց (0,5...2 ժամ): Բարդ և թանկ կապիտալ վերանորոգում:

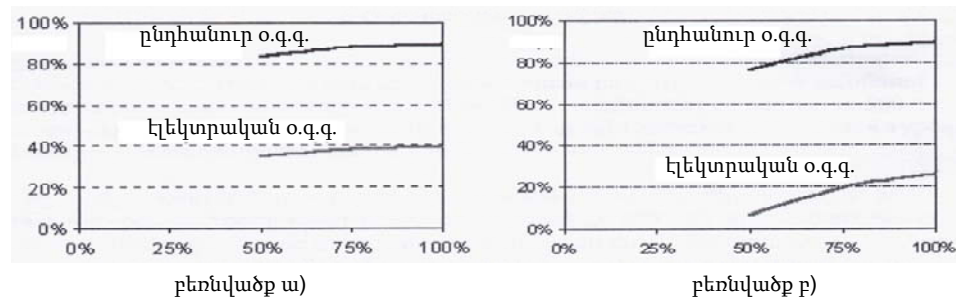
Կոգեներացման համակարգերի համեմատությունը [3-7]:

Գազամխոցային և գազատուրբինային տեղակայանքների համեմատությունը:

Մինչև 20...30 ՄՎտ հզորության գազամխոցային կոգեներացման տեղակայանքները դրսևորում են մնացած բոլոր տեխնոլոգիաներից առավել լավ հատկություններ, ընդ որում, 3 կՎտ -ից մինչև 5 կՎտ տիրություն դրանք պարզապես մրցակցությունից դուրս են, ինչը բացատրվում է հետևյալ հանգամանքներով:

Առաջին՝ դա պայմանավորված է բարձր էլեկտրական օ.գ.գ-ով: Ամենաբարձր էլեկտրական օ.գ.գ-ն մինչև 30% գազատուրբինի և մոտ 40% գազամխոցային շարժիչների համար արձանագրվում է տեղակայանքի 100% բեռնվածքի դեպքում (նկ. 1):

Բեռնվածքի՝ մինչև 50 % նվազեցման դեպքում գազատուրբինի էլեկտրական օ.գ.գ-ն նվազում է գրեթե երեք անգամ: Գազամխոցային շարժիչի համար բեռնվածքի ռեժիմի նման փոփոխությունը գործնականորեն չի ազդում ինչպես ընդհանուր, այնպես էլ էլեկտրական օ.գ.գ-ի վրա:



Նկ.1. Բեռնվածքից օ.գ.գ-ի կախվածության գրաֆիկ. ա) գազամխոցային շարժիչ, բ) գազատուրբին

Գրաֆիկից ակնհայտ է, որ գազային շարժիչն ունի բարձր էլեկտրական օ.գ.գ., ինչը գործնականորեն չի փոփոխվում բեռնվածքի 50...100% միջակայքում:

Երկրորդ՝ տեղադրման հարթակի պայմանները: Քանի որ շարժիչի անվանական հզորությունը որոշվում է ստանդարտ պայմաններում. ճնշումը 100 կՊա և ջերմաստիճանը 25 °C, ծովի մակերևույթից բարձր լինելը և շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանի փոփոխությունն ազդում են շարժիչի՝ անվանական բեռնվածք վերցնելու ունակության վրա: Ջերմաստիճանի -30°C...+30°C բարձրացման դեպքում գազատուրբինի էլեկտրական օ.գ.գ-ն ընկնում է 15...20%-ով: +30°C-ից բարձր ջերմաստիճանի դեպքում գազային տուրբինի օ.գ.գ-ն առավել ևս փոքր է: Ի տարբերություն գազատուրբինի՝ գազամխոցային շարժիչն ունի ավելի բարձր և հաստատուն էլեկտրական օ.գ.գ. ջերմաստիճանային ողջ տիրություն, մինչև մոտ +25 °C:

Երրորդ՝ աշխատանքային պայմանները:

Գործարկումների քանակը. գազամխոցային շարժիչը կարող է գործարկվել և կանգնեցվել անսահմանափակ թվով, ինչը չի ազդում շարժիչի ընդհանուր մոտոռեսուրսի վրա: Գազատուրբինի 100 անգամ գործարկումը նվազեցնում է վերջինիս ռե-

սուրսը 500 ժամով:

Գործարկման ժամանակամիջոցը, մեկնարկից հետո բեռնվածք վերցնելու ժամանակամիջոցը գազային տուրբինի համար կազմում է 15...17 րոպե, գազամիացային շարժիչի համար՝ 2...3 րոպե:

Չորրորդ՝ նախագծային ծառայության ժամկետը, տեխսպասարկման միջակայքը:

Գազատուրբինի համար, մինչև կապիտալ վերանորոգումը, ռեսուրսը կազմում է 20000...30000 աշխատաժամ, գազամիացային շարժիչի համար այդ ցուցանիշը հավասար է 60000 աշխատաժամի: Գազատուրբինի վերանորոգումը, հաշվի առած ծախսերը, կապված պահեստամասերի և նյութերի հետ, զգալիորեն բարձր է: Գազատուրբինի կապիտալ վերանորոգումն ավելի ծանր աշխատանք է, քան գազային շարժիչի կապիտալ վերանորոգումը: Գազատուրբինի վերանորոգումն իրականացնում է միայն արտադրող ձեռնարկությունը: Բացի դրանից, գազային տուրբինի վերանորոգման ժամանակ օգտագործվում են բավականաչափ թանկ պահեստամասեր, ինչը դրա արժեքը դարձնում է շատ բարձր: Բնական է, որ գազատուրբինի վերանորոգման ժամանակամիջոցը միացային շարժիչի համեմատ զգալիորեն մեծ է:

Հինգերորդ՝ հարաբերական փոքր կապիտալ ներդրումները:

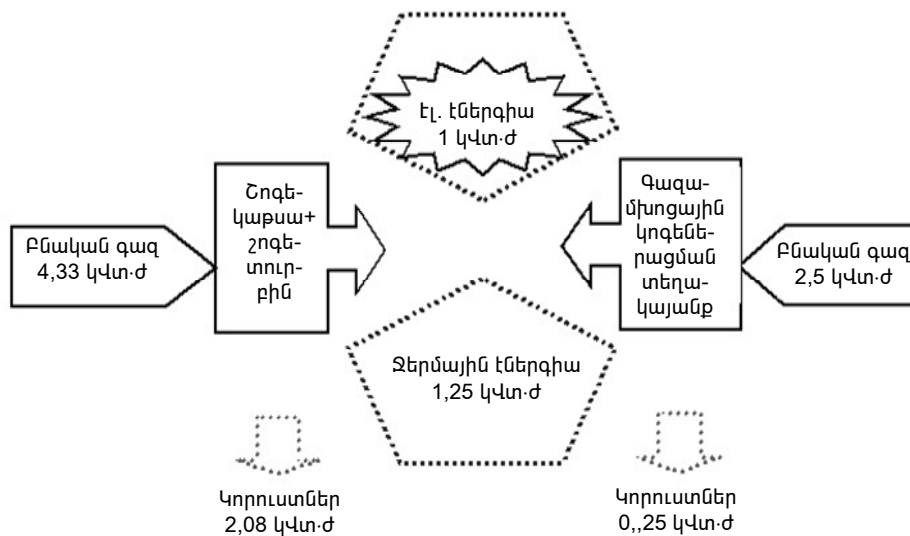
Ինչպես ցույց են տալիս հաշվարկները, տեսակարար կապիտալ ծախսերը (եվրո/կՎտ) էլեկտրական և ջերմային էներգիայի արտադրության ժամանակ գազամիացային շարժիչի համար փոքր են: Գազամիացային շարժիչների այդ առավելությունը վիճարկելի չէ մինչև 30 ՄՎտ հզորության համար: 10 ՄՎտ հզորության ՋԷՑ-ը գազամիացային շարժիչների դեպքում պահանջում է 7,5 մլն եվրո ներդրում, գազային տուրբինի օգտագործման դեպքում ծախսերն աճում են մինչև 9,5, մլն եվրո:

Ցանցում գազի ճնշումը գազային շարժիչի համար չի գերազանցում 4 մթնոլորտը, գազային տուրբինի դեպքում այն նվազագույնը պետք է լինի 6...10 մթնոլորտ: Այսպիսով, կայանում որպես ուժային ագրեգատ գազային տուրբին օգտագործելիս անհրաժեշտ է գազային կոմպրեսորային կայանի տեղադրում, որը առավել ևս մեծացնում է կապիտալ ներդրումները:

Գազամիացային շարժիչի և շոգետուրբինի համեմատությունը: Գործնականորեն այն, ինչ նշվեց նախորդ համեմատությունում որպես գազատուրբինի թերություն, այս կամ այն չափով վերաբերում է շոգետուրբինին:

Աշխարհում այժմ էլեկտրական էներգիայի 80%-ը (առանց հաշվի առնելու հիդրոէլեկտրակայանները) արտադրվում է շոգետուրբինների միջոցով:

ՋԷՑ-երում էներգակրի օգտագործման դեպքում օ.գ.գ-ի մակարդակը հասնում է 50...65 %: Այդ իսկ պատճառով շոգետուրբիններով ՋԷՑ-ում նույն քանակությամբ օգտակար էներգիա ստանալու համար անհրաժեշտ է ծախսել մոտավորապես 2 անգամ ավելի էներգակիր, քան գազամիացային ՋԷՑ-երում, որոնց օ.գ.գ-ն հասնում է 90 % (նկ.2):



Նկ. 2. Միևնույն քանակությամբ էներգիայի (էլեկտրական և ջերմային) արտադրության համար գազի ծախսը տարբեր տեղակայանքներում

Այսպիսով, ընդհանրացնելով տարբեր տիպերի կոգեներացման տեղակայանքների համեմատական վերլուծության արդյունքները՝ անհրաժեշտ է նշել, որ գազամխոցային տեղակայանքները ագրեգատի միավորի 15...1600 կՎտ էլեկտրական հզորության դեպքում, հաղորդակների մյուս տեսակների համեմատ, ունեն ավելի զրավիչ բնութագրեր: Հզորությունների 1600...5000 կՎտ հզորությունների տիրույթում ԳՄ կամ ԳՏ հաղորդակների օգտագործման նպատակահարմարությունը պետք է որոշվի հաշվարկների միջոցով, քանի որ ջերմա-և էներգամատակարարման անկախ աղբյուրի ներդրման տնտեսական արդյունքը կախված է սպառիչի պարամետրերից: Տեղակայանքի միավորի 5000...25000 կՎտ էլեկտրական հզորության դեպքում անառարկելի են ԳՏՏ առավելությունները:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

1. Չնայած վերը թվարկված կոգեներացիայի բոլոր առավելություններին, այդ տեխնոլոգիայի տարածումը հանրապետությունում դանդաղում է՝ հիմնականում պայմանավորված էներգասպառիչների ցածր գնողունակությամբ: Այդ պայմաններում բարձր սկզբնական ծախսերը, կապված կոգեներատորների ձեռքբերման հետ, կարևոր գործոն են, որոնք ներկայացնում են տվյալ տեխնոլոգիայի պոտենցիալ կիրառելիությունը: Պակաս կարևոր չէ նաև այն հանգամանքը, որ խիստ դժվար է դրանց տեղադրման համար թույլտվություն ստանալը:

2. Կոգեներացման տեղակայանքների վերլուծության արդյունքում ստացվել է, որ ամենից հեռանկարայինը, ձեռնարկություններում որպես էներգիայի աղբյուր ներդրման տեսակետից, իրենց տեխնիկական և տնտեսական պարամետրերով հանդիսանում են գազամիացային և գազատուրբինային շարժիչները: Տեղակայանքի մինչև 3,5...4 ՄՎտ հզորության դեպքում ԳՄՏ-ներն ունեն ավելի լավ տնտեսական ցուցանիշներ ԳՏՏ-ների համեմատ:
3. Էկոլոգիական տեսակետից ԳՏՏ-ները ԳՄՏ-ների համեմատ, ըստ ազոտի օքսիդների արտանետման, ավելի լավ ցուցանիշներ ունեն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Томаров Г.В., Ребенко В.С. Буданов, В.А.** Мини-ТЭЦ на основе когенерационных технологий // Вестник ИГЕУ.-2008.- №2.- С. 26-30.
2. **Коровин Н.В.** Топливные элементы и электрохимические энергоустановки.-М.: Издательство МЭИ, 2005.
3. **Смирнов И.Г.** Когенерационные установки. Особенности и преимущества / сайт www.electrosystems.ru /
4. **Васкин В.В., Петрушенков В.А.** Тепловые схемы мини-ТЭЦ // Новости теплоснабжения.- 2004.-№8.- С. 22-26.
5. **Басок Б.И., Пироженов И.А.** Анализ экономической эффективности когенерационной установки // Турбины и дизели.- 2008.- №5.-С.10-13.
6. **Грыцина В.П.** Малые ТЭЦ. Газовые турбины или базовые двигатели // Электронный журнал энергосервисной компании “Экологические системы”.- 2004.-№7.
7. **Неуймин В.М.** Инновационные технологии производства электроэнергии // Надежность и безопасность энергетики.- 2008.-№2.- С.3-9.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.09.2011:

Л.С. ОГАНЕСЯН

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТЕЙ

Проведен анализ современных когенерационных технологий и энергоустановок малой и средней мощностей. Уточнены сферы их использования.

Ключевые слова: когенерация, газовая турбина, паровая турбина.

L.S. HOVHANNESYAN

ANALYSIS OF CONTEMPORARY COHERENT TECHNOLOGIES AND POWER PLANTS WITH SMALL AND AVERAGE CAPACITIES

An analysis of contemporary coherent technologies and power plants with small and average capacities is performed, The spheres of their applications are refined.

Keywords: coherence, gas turbine, steam turbine.

V.SH. MELIKYAN, H.P. PETROSYAN, A.M. DURGARYAN, E.H. BABAYAN
N.KH. ASLANYAN

RETENTION FLOP BOOSTING MECHANISM FOR SELF SAVE/RESTORE CAPABILITY

Power gating has been widely employed to reduce sub-threshold leakage. Data retention flops (RF) are used to preserve circuit states during power down, if the states are needed again after wake-up. These elements must be controlled by an extra power management unit, causing a network of control signals implemented with extra wires and buffers. In this paper analytical expression for RF parameters are presented. The dependency of those parameters from transistor sizes, technological factors, node potential values are shown. New mechanism for accelerating RF self save and restore capability is suggested. Proposed boosting mechanism decreases the charging time of virtual ground rails. This helps retention elements avoid short-circuit current while making transition to standby mode and drastically increases the self save and restore time of RF. Experiments were performed on various benchmark circuits taken from ISCAS family, which were synthesized by 45-nm technology. The results show that the proposed boosting mechanism increases the speed of self saving and restoring operation, as a result this brings to 32.6% cut in static power consumption.

Keywords: power gating, retention flop, static power, save time, restore time, leakage current.

Introduction. MOSFET scaling into deep sub-micron region has resulted in significant increase in leakage power consumption. Particularly, in 45-nm technology and beyond, leakage power consumption will catch up with, and may even dominate, dynamic power consumption [1]. Power gating technique is the most popular technique to suppress the leakage power consumption [2]. The idea of this technique is to cut off the circuit from its power supply rails during standby mode. Due to the supply power switched off, the circuit state, which is represented by logic values in sequential elements of the circuit, is lost. Therefore a need to restore circuit state after power down arises.

The main approach to restore the circuit state from power down mode relies on a dedicated circuit element for state retention. Such an element is flip-flop which is capable of retaining a state during power gating; it is called a retention flip-flop (RF) [3]. In this approach some part of the circuit flops are replaced with the RF. As a result the RFs remember their values during power down mode and restore the circuit state after power activation.

There are various implementations of RFs [4]. However in all the schemes the working frequency of RF is lower than the normal flop frequency. All these flops have two externally controlled inputs by means of which the saving and restoring of the flop data is performed. For controlling these RF new inputs control logic should be implemented and all flop inputs should be connected to that controller. Because of such connection the

whole chip wiring length will increase. The analyses show [5] that the wire length of power gated sequential circuits can be increased by 29% to 60%. As a result of such wiring increase, the dynamic power consumption of wires will increase drastically, and even exceed the power saved during power gating.

General parameters of retention flop. The first parameter, which describes the RF operation before entering into power down mode, is data saving time [6]. The data saving time defines the amount of time which is needed for RF to remember the master flop data. In other words data saving time is the period of time that needs to be passed, for retention logic to remember the master flop data after activation of RF saving input. The equation of data saving time can be written as

$$T_{\text{dsv}} = T_{\text{write}}^{\text{ret_logic}} - T_{\text{sa}}, \quad (1)$$

where T_{dsv} is flop data saving time, $T_{\text{write}}^{\text{ret_logic}}$ is the time when the main flop data is written in retention logic and T_{sa} is the flop saving input activation time. The expression for data saving time will be calculated based in Fig.1. The Fig. presents the master latch and retention logic part of the balloon RF [4]. Since nearly all RFs use similar structure as in balloon type RF, the presented calculation scheme can be used for all type of RFs, with slight modification.

Usually RF flops consist of three parts, master, slave and retention latches. The retention latch is the part of RF which is responsible for keeping the retention data in power down mode [4]. The left part of Fig. 1 is the master latch of the RF, the right part of the flop which is prepared for saving the retention data during power down. That part of the RF will be assumed as retention slave latch, in short retention latch, because it is supposed to keep the retention data during power down. As the purpose is to find the expression for flop data saving time, hence it will be assumed that master latch and retention latch have different logic values, for example it is assumed that the A point voltage is equal to supply voltage VDD and the B point voltage is equal to ground voltage VSS.

To satisfy such assumption the M_{P1}^M PMOS transistor should be ON in triode region and the M_{N1}^M NMOS transistor should be in OFF state for keeping the value of point A equal to VDD. For retention logic to keep the value of point B equal to ground voltage the M_{P2}^R PMOS transistor should be in OFF state and M_{N2}^R NMOS transistor should be ON in triode state. As a current equation for triode region, the expression given in [7] will be used:

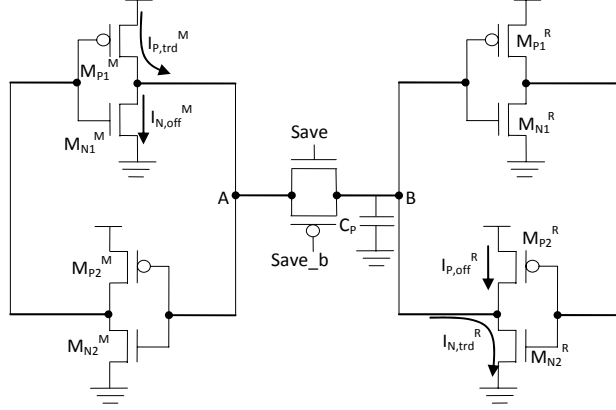


Fig. 1. Master and retention slave latch of RF

$$I_D = \mu C_{OX} \frac{W}{L} ((V_{GS} - V_{TH}) * V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2), \quad (2)$$

where I_D is the transistor current in triode region, μ is the mobility of channel charge carriers, C_{OX} represent the total capacitance per unit length, W is transistor channel width, L is transistor channel length, V_{GS} is gate-source voltage, V_{TH} threshold voltage and V_{DS} is drain-source voltage. To have more accurate results, the OFF currents of M_{N1}^M and M_{P2}^R transistors will be also taken into consideration. For calculating the transistor OFF state current, the equation given in [8] will be used:

$$I_{OFF} = \hat{I} e^{K_1 * V_G + K_2 * V_D - K_3 * V_S}, \quad (3)$$

where $\hat{I}$ is the leakage current under normal terminal voltages, K_1 , K_2 and K_3 are technology-dependant constants.

When the “Save” signal goes to high value the transmission gate (TG) in Fig. 1 opens, sinking the current from master to retention latch increasing the potential of point B and decreasing the potential of point A. Until the potential of point B has not reached the switching point of two inverters, the feedback does not allow the latch to switch. During this period the master latch current increases the potential of point B until its potential exceeds the switching point, after this the feedback rushes the inverters to switch. For the potential of point B to rise the switching point, the parasitic capacitance of the retention latch should be charged. These parasitic capacitances are represented as a single capacitance placed at the output of TG, Fig.1. That capacitance can be found by summing the input and output capacitances of the inverters in latch. Using the inverters input, output capacitance equations given in [9], the total capacitance will be:

$$C = \frac{5}{2} (C_{OXN} (L_N^M * W_N^M + L_N^R * W_N^R) + C_{OXP} (L_P^M * W_P^M + L_P^R * W_P^R)), \quad (4)$$

where M refers to master and R to retention latch parameters. The charging current of that capacitance can be found by summing all the currents flowing through the ON and OFF transistors, these currents are shown in Fig. 1. Overall the charging current of the capacitor is equal to

$$\begin{aligned} I_{Supp}^M &= I_{P,trd}^M - I_{N,off}^M, \\ I_{Wst}^R &= I_{N,trd}^R - I_{P,off}^R, \\ I_{Chrg} &= I_{Supp}^M - I_{Wst}^R, \end{aligned} \quad (5)$$

where I_{Supp}^M is the current which supplies the master latch, I_{Wst}^R is the current which is spending the retention latch and I_{Chrg} is the parasitic capacitance charging current. Charging current is calculated by subtracting from master latch supply current the retention latch spending current. Using (2), (3) the charging current can be found, which is:

$$\begin{aligned} I_{Chrg} = \frac{1}{2} & \left(\frac{\mu_p C_{OX,P} W_P^M (V_{DD} - \phi_D^M) (V_{DD} - 2 * V_{TH,P} + \phi_D^M)}{L_P^M} + \mu_N C_{OX,N} W_N^R \phi_D^R * \right. \\ & \left. * \frac{(2 * V_{TH,N} - 2V_{DD} + \phi_D^R)}{L_N^R} + \frac{2 * \exp\{K_1 V_{DD} + K_2 \phi_D^R\} \hat{I} W_P^R}{L_P^R} - \frac{2 * \exp\{K_1 \phi_D^M\} \hat{I} W_N^M}{L_N^M} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

To calculate the time of capacitor charging, an assumption should be made that charging current of the capacitor remains constant during the flop data transferring process. Such assumption is justified by the fact that it makes very little divergence in the final result and simplifies the save time equation. Based on this the capacitor charging time can be written as product of capacitance and voltage divided by current.

Using the capacitor (4) and charge current equations the following can be written for retention data saving time of RF:

$$\begin{aligned} t = \frac{5V_{DD} L_N^M L_P^M L_N^R L_P^R * (C_{OX,N} (L_N^M W_N^M + L_N^R W_N^R) + C_{OX,P} (L_P^M W_P^M + L_P^R W_P^R))}{(\mu_p C_{OX,P} L_N^M L_N^R L_P^R W_P^M (V_{DD} - \phi_D^M) (V_{DD} - 2V_{TH,P} + \phi_D^M) + L_P^M (\mu_N C_{OX,N} * \\ * L_N^R L_P^R W_N^R \phi_D^R * (2 * V_{TH,N} - 2V_{DD} + \phi_D^R) - 2\hat{I} L_N^R (\exp\{K_1 \phi_D^M\} L_P^R W_N^M - \\ - \exp\{K_1 V_{DD} + K_2 \phi_D^R\} W_P^R L_N^M))), \end{aligned} \quad (7)$$

where M refers to master and R to retention latch parameters. The ϕ_D^R is the potential of point B and ϕ_D^M is the potential of point A. Based on (7) the saving time of RF can be estimated. After inserting the values of transistor oxide capacitances, which are known

from foundry provided technical specs, inserting the value of supply and threshold voltages and the initial potential values of A and B points, the following for expression (7) we will have the following simple expression:

$$t \approx L^2 \left(a + \frac{1}{\frac{k * W_N^R}{W_N^M} - b} \right), \quad (8)$$

where a, k and b are constant numbers depending on specific technology. If the technology is known then these constants can be calculated like it is done in [3] reference. Various dependencies of saving time from master and retention latch parameters can be derived by using expression (7).

Similarly the same way expression for data restoring time can be calculated. If in Fig. 1 the master latch is assumed as retention and retention latch is assumed as master latch then the (7), by changing all M suffixes to R and all R suffixes to M, will turn the expression for data restoring time.

Boosting mechanism for retention and restoration signal generation. In [6] new self retention and restoration mechanism for RF was presented. The idea of that mechanism is adding some voltage sensitive circuit to the flop architecture. That sensor logic can sense the supply voltage changes of the flop and based on that changes identify the power down and power active states. When one of such states is identified the sensor will automatically perform retention data saving and restoring. Such mechanism will eliminate the need for having two save and restore control pins in flop, which will bring to decreasing the flop wiring and as a result it will drastically decrease the chip power consumption.

However the proposed mechanism has one drawback, which is when the power shuts down the voltage value of virtual ground rises towards the supply voltage V_{DD} , and in general that rise is not very quick. As a result of this, the sensor spends lots of time for catching the power down and on state which decreases RF speed. It was estimated, based on (7) that proposed self retention and restoration mechanism can worsen the flop save and restore times nearly by 13.7%. Such a number comes from the fact that virtual ground potential rises towards the supply voltage very slowly which brings to the increase of RF save and restore time.

To overcome this issue, a large PMOS transistor is placed between the real Vdd and virtual Vssv power. In footer gated state this PMOS transistor is operated for a very short period raising the voltage of Vssv virtual ground. This accelerate the retention signal generation. Fig. 2 shows how the PMOS transistor is placed in the design:

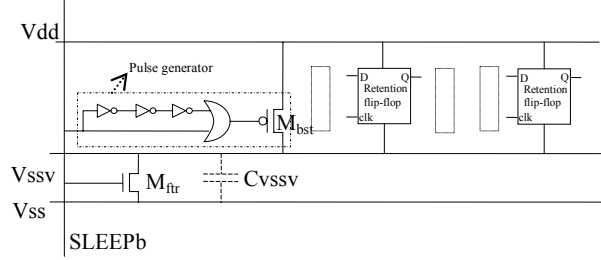


Fig. 2. Boosting transistor placement in design

When the footer gating is performed the SLEEP signal goes to high value, which brings its inverted value SLEEPb to low value. This causes closing of the M_{ftr} footer transistor and performing power gating. When SLEEPb signal goes to low value the “Pulse generator” circuit generates a short pulse which opens the M_{bst} boosting PMOS transistor for a short time. That boosting transistor passes some charge to virtual ground increasing its potential. This accelerates the RF sleep signal generation.

The size of PMOS transistor and the pulse width are important design considerations, since they determine the amount of time the virtual ground takes to reach its steady state and the amount of energy dissipated during that period. It can be shown that the total amount of charge supplied by pulse generator to virtual ground (V_{ssv}), denoted by Q_{pg} , is proportional to the PMOS transistor saturation current and the pulse generator pulse width.

$$Q_{pg} \propto I_{d,sat} P_w, \quad (9)$$

where Q_{pg} is the amount of supplied charge, $I_{d,sat}$ is the PMOS transistor saturation current, P_w is the pulse width. Using the saturation current is given in [7]:

$$I_{d,sat} = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{dd} - V_t)^2, \quad (10)$$

where μ_p is the carrier mobility, C_{ox} is the oxide capacitance, W and L are the channel width and length of pulse generator PMOS device, V_t is the threshold voltage. From (9) and (10) for total amount of charge the following expression can be written:

$$Q_{pg} = mWP_w, \quad (11)$$

where m is proportionality constant. The value of m can be obtained by simulating a particular size of PMOS device and monitoring the amount of charge supplied by the device while varying the pulse width. By solving (10) the total amount of charge that needs

to charge the V_{ssv} to V_{dd} can be found.

Let the capacitance involved in V_{ssv} be denoted by C_{vssv} . This capacitance is shown in Fig. 2. The amount of charge stored in the capacitance when the footer transistor M_{lfr} is off and M_{bst} is on, is denoted by Q_{vssv} , hence using the basic charge equation stored in capacitor the following can be written:

$$Q_{vssv} = C_{vssv} V_{dd} . \quad (12)$$

Obtaining the Q_{pg} from (11) and Q_{vssv} from (12) the two are equated, which yields the product of pulse generator size (W) and pulse width (P_w)

$$WP_w = \frac{C_{vssv} V_{dd}}{m} . \quad (13)$$

Any combination of W and P_w that satisfies (13) will serve the purpose. The charge which rises the potential of virtual ground towards the supply voltage is directly proportional to the current which flows from supply to virtual ground and the amount of time during which the current is flowing. This basic principle is shown in (13). Transistor current is directly proportional to transistor width (W) and the time of current flowing is equal to pulse width (P_w), the designer needs to have those two values to meet the design targets. However, if the pulse width P_w has too small value, then too many pulse generators need to be added in the scheme, besides, the pulse should be wide enough to avoid distortion of pulse shape over long distance.

Experimental results. In the first part of the experiment the equations for retention data saving time and retention logic power consumption were analyzed. The accurate HSPICE [10] simulations were performed for various types of RF, and save time values for that flop were calculated. Then the save time value was calculated for the same flop, using the equation presented in (7). Fig. 3 shows the save time expression for different values of master and latch transistor width relations and comparison with HSPICE results.

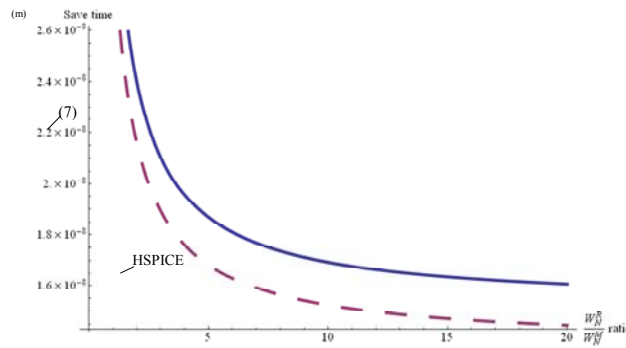


Fig. 3. Save time comparison results

The dashed plot corresponds to HSPICE simulations and the thick one is the one that was received by using equation (7). It was estimated that the analytical results differ from the HSPICE simulation results not much than 14.7%. This is the acceptable value, as the main purpose is to have some estimation of save time dependency from flop parameters.

Using the (7) expression, various dependencies of RF save time parameter from flop transistor parameters and technology parameters were obtained.

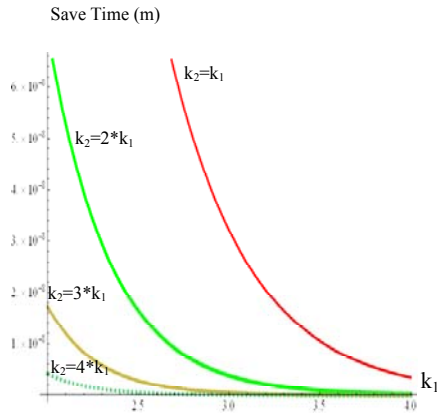


Fig. 4. Save time dependency from K technology parameters

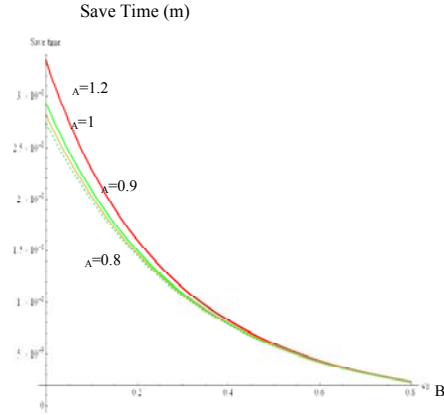


Fig. 5. Save time dependency from potentials of A and B points

In Fig.4 the save time dependency from the variation of k_1 parameter is shown for different values of k_2 . Mainly the k_1 , k_2 parameters reflect the transistor threshold change depending on productions. So the results in Fig. 4 show that if during the production the threshold voltages of transistors increased, then this will bring to save time decrease. Fig. 5 shows save time dependency from the potential of B point in Fig.1 for different values of A potential. By increasing the initial threshold potential of B point, the save time is decreased because it is easier for master latch to write the data in retention logic.

The next part of experiments is connected with the proposed boosting mechanism. The virtual ground voltage change was observed for different PMOS pulse width values. Figure shows the virtual ground, V_{ssv} , voltage rise comparison between the scheme which uses the boosting mechanism and the scheme which does not use it.

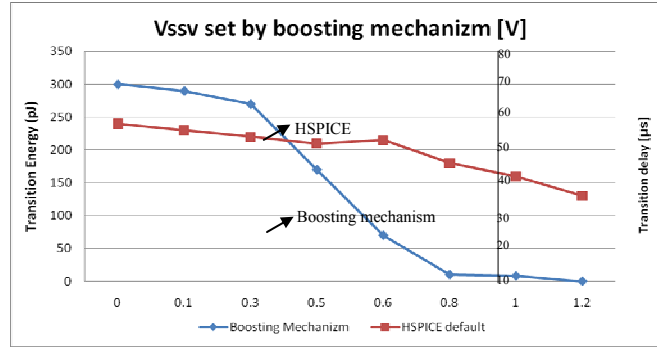


Fig. 6. Boosting mechanism in comparison with default method

In this plot the proposed method is applied on the memory controller. The boosting mechanism pulse width and boosting transistor size is varied during the experiment. In Fig. 6 the x-axis corresponds to the potential of V_{ssv} , the y-axis on the right-hand side indicates the transition delay, which is the interval from turning off the footer to the point at which V_{ssv} settles down to its steady-state potential, which is assumed to fall within 5% of supply voltage. The y-axis on the left-hand side indicates the total energy dissipated during the transition delay. As it can be seen from the plot, the proposed boosting mechanism increases the speed of virtual ground voltage rise.

Also, the proposed mechanism was tested on various benchmark circuits, the pulse width and transistor sizes were estimated. All the benchmarks were taken from ISCAS family [11]. Below the table shows the results of measurements:

Table

Measurement results with usage of boosting mechanism in the design.

Name	#Gates	#FFs	#POs	#PGs	#Bst Mchs	#Footers	P _w (ps)	W (ps)	V _{ssv} set by Bst mech.
s35932	3513	1728	320	14	53	37	751	432	1,15
s38417	3333	1564	106	13	50	28	817	374	1,139
s38584	4294	1275	304	13	52	33	902	353	1,148
b12	855	119	6	2	6	4	729	50	1,157
aes1	503	228	129	2	8	7	759	65	1,149

Based on this Fig. it can be seen that flop transition time increases rapidly which brings to drastic increase of flop self save and restore operation speed. Overall this speed increase brings to power saving, as the switching process in flop takes less time. As a result of increase in self save and restore operation, the flop switching time is decreased which brings in average 32.6% power saving.

Conclusion. The derived expressions differ from HSPICE results not more than 14.7%. Based on those experiments various dependencies of RF save, restore time from flop other parameters, e.g. RF transistor sizes, technological parameters, flop nodes potential values in sleep mode were presented. Boosting mechanism for RF self saving and restoring capability helps significantly increase the self save and restore time of RF, due to increase in virtual ground voltage rising speed. Such speed increase brings to power saving in the whole design. The experiments show that with the proposed mechanism nearly 32.6% power saving can be reached. The drawback of the boosting mechanism is the increase of design time and verification complexity.

REFERENCES

1. **Roy K., Mukhopadhyay S., Mahmoodi S.** Leakage current mechanisms and leakage reduction techniques in deepsubmicrometer CMOS circuits // IEEE transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems.- Feb. 2003.-Vol. 91, no. 2.-P.305-327.
2. **Swarup B., Saibal M.** Low-Power Variation-Tolerant Design in Nanometer Silicon.- Springer, Dordrecht, 2011.
3. **Leah S., Jason B.** Managing Power in 45nm and 65nm Designs // 9th International Synopsys Users Group (SNUG) Conference.-2009.-P. 730-733.
4. **Bing B., Augusli K., Kun W.** Fault modeling and testing of retention flip-flops in low power designs // Proceedings of the 2009 Asia and South Pacific Design Automation Conference.- 2009.- P. 684-689.
5. **Kim H., Shin Y.** Semicustom design methodology of power gated circuits for low leakage applications // IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems.- 2009.-Vol. 54.-P. 512-516.
6. **Melikyan V., Petrosyan H., Durgaryan A., Dragan T.** New Retention Flop Architecture with Phase Frequency Detection Capabilities // 55th Conference for electronics, telecommunications, computers, automatic control and nuclear engineering (ETRAN).-Serbia, 2011.-P. 58-62.
7. **Behzad R.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits.-McGraw Hill, Boston, 2001.
8. **Hao X., Ranga V., Jone W.** Dynamic Characteristics of Power Gating during Mode Transition // IEEE transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems.-Feb. 2011.-Vol. 19.-P. 237-249.
9. **Backer J.** CMOS Circuit Design, Layout and Simulation // Wiley IEEE Press Series on Microelectronic Systems.-1997.
10. <http://www.synopsys.com/Tools/Verification/AMSVVerification/CircuitSimulation/HSPICE>
11. <http://iee-cas.org/>

SEUA (POLYTECHNIK). The material is received 20.09.2011.

Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Հ.Պ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ, Է.Հ. ԲԱԲԱՅԱՆ,
Ն.Ն. ԱՍԼԱՆՅԱՆ

**ՎԻՃԱԿԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՄԲ ՌԵԳԻՍՏՐՆԵՐԻ
ԻՆՔՆԱՊԱՀՊԱՆՄԱՆ/ՎԵՐԱԿԱՆԳՄԱՆ ԼԱՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄ**

Սպառվող ստատիկ հզորության նվազարկման ամենատարածված եղանակը սնման լարման շրջափակումն է: Այդպիսի շրջափակման ընթացքում սխեմայի ընթացիկ վիճակը հիշելու նպատակով օգտագործվում են վիճակի պահպանման ռեգիստրներ (ՎՊՌ): Դրանք դեկավարվում են արտաքին սնուցման դեկավարման հանգույցով: Արդյունքում՝ սխեմայում մեծանում են միջմիացումների երկարությունները և բուֆերների քանակը: ՎՊՌ-ների բնութագրական պարամետրերի գնահատման համար ստացված են բանաձևեր: Հետազոտված են այդ պարամետրերի կախվածությունները ՎՊՌ-ի տրանզիստորների չափերից, տեխնոլոգիական գործոններից, ՎՊՌ-ի հանգույցների պոտենցիալների արժեքներից: Առաջարկված է ՎՊՌ-ների ինքնապահպանման և վերականգնման հատկության լավարկման նոր եղանակ: Այն ապահովում է հանգստի վիճակի անցման ընթացքում ՎՊՌ-ի գերծախսումը կարճ միացման հոսանքից: Միաժամանակ, մեկ կարգով մեծացնում է ռեգիստրի ինքնապահպանման և վերականգնման ժամանակը: 45 նմ տեխնոլոգիայով իրագործված ISCAS շարքի տարբեր սխեմաների փորձարկումների արդյունքները ցույց են տվել, որ առաջարկված եղանակը փոքրացնում է ՎՊՌ-ի ինքնապահպանման և վերականգնման ժամանակը, որը իր հերթին հանգեցնում է 32,6% հզորության խնայման:

Առանցքային բաներ. սնուցման լարման շրջափակում, վիճակի պահպանման ռեգիստր, ստատիկ հզորություն, պահման ժամանակ, վերականգնման ժամանակ, կորուստային հոսանք:

**В.Ш. МЕЛИКЯН, Г. П. ПЕТРОСЯН, А.А. ДУРГАРЯН, Э.Г. БАБАЯН,
Н.Н. АСЛАНЯН**

**МЕХАНИЗМ УЛУЧШЕНИЯ САМОСОХРАНЕНИЯ/ВОССТАНОВЛЕНИЯ
УДЕРЖИВАЮЩИХ РЕГИСТРОВ**

Наиболее распространенным способом уменьшения потребляемой статической мощности является блокировка напряжения питания. С целью запоминания текущего состояния схемы в течение такой блокировки используются регистры удержания состояния (РУС). Эти регистры управляются внешним узлом управления питанием. В результате увеличиваются длины межсоединений и количество буферов в схеме.

Получены аналитические выражения определения характерных параметров РУС. Исследованы зависимости этих параметров от размеров транзисторов РУС, технологических факторов, значений потенциалов узлов РУС. Предложен новый способ улучшения свойств самосохранения/восстановления РУС. Способ обеспечивает устранение РУС от тока короткого замыкания во время перехода в режим ожидания. Одновременно на один порядок увеличивается время самосохранения/восстановления. Результаты испытания различных схем из ряда ISCAS, изготовленных по 45нм-овой технологии, показывают, что предложенный способ увеличивает время самосохранения/восстановления, и, как следствие, снижается энергопотребление на 32,6%.

Ключевые слова: блокировка цепи питания, удерживающие триггеры, статическая мощность, динамическое энергопотребление, время самосохранения/восстановления, ток утечки.

Ա.Ա. ՄԱՆՈՅԱՆ, Ռ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Գ. ՂՈՒԼՅԱՆ

ՄԱՐԴԿԱՆՑ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՄԵԾ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ՄԵՑՄԱՏԻԿ
ՄՈԴՈՒԼ

Նախագծվել և պատրաստվել է սեյսմիկ մոդուլ, որը նախատեսված է փակ տարածքների հսկման համար: Մշակված տեխնիկական լուծումները թույլ են տալիս ընդհանուր սեյսմիկ ֆոնից և աղմուկներից առանձնացնել մարդու տեղաշարժման պատճառով առաջացած տատանումները: Միկրոկառավարչի կիրառմամբ մշակվել է հատուկ ալգորիթ, որը վերլուծության է ենթարկում սեյսմիկ տատանումների բնույթը և դեկավարում է մարդկանց հայտնաբերման սեյսմիկ միջոցի զգայնությունը:

Առանցքային բառեր. հսկում, սեյսմաընդունիչ, ուժեղարար, միկրոկառավարիչ, ալգորիթմ:

Ներկայումս փակ տարածքների պաշտպանությունը կազմակերպելիս լայնորեն կիրառվում են մարդկանց հայտնաբերման սեյսմիկ միջոցները (ՀՄՄ), որոնցում գրանցվում և մշակվում են հսկվող տարածքում հողի վերին շերտում առաջացած ազդանշանները:

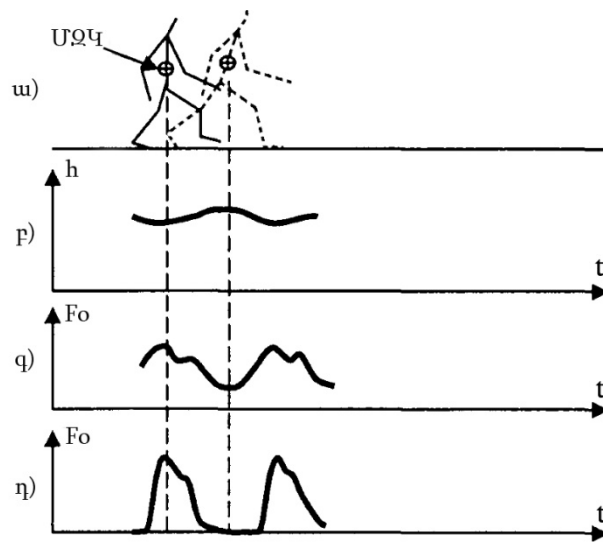
ՀՄՄ-ների հիմնական առավելություններից են սեփական ճառագայթման բացակայությունը, ինչպես նաև քողարկման արդյունավետությունը՝ համակարգի՝ հողի մեջ տեղադրման շնորհիվ: Որպես հիմնական թերություն կարելի է նշել (բացառությամբ այն ՀՄՄ-ների, որոնք կիրառում են ազդանշանի մշակման բարդ ալգորիթմներ) տարատեսակ աղմուկների ներգործության պայմաններում (օրինակ՝ ինքնաթիռ, տրանսպորտ, անձրև, քամի և այլն) փոքր աղմկակայունությունը՝ նախապես որոշված հայտնաբերման հավանականության դեպքում ($P_{\text{հայտն}} \geq 0,9 \dots 0,95$) [1]:

Օբյեկտների և տարածքների պաշտպանության համար հայտնի են մի շարք համակարգեր, ինչպիսիք են “Qual tron. Inc.”, “Радиодарьер”, “Արցախ-Մ-01” և այլն [2,3]: Հայտնի համակարգերում կիրառվող ՀՄՄ-ների զգայնությունը որոշվում և ներմուծվում է նախօրոք՝ մեխանիկական փոխանջատիչի միջոցով, մինչև հողի մեջ տեղադրելը: Սակայն տարբեր գործոնների ազդեցության հետևանքով ժամանակ առ ժամանակ հարկ է լինում ապամոնտաժել ՀՄՄ-ն, փոխել ուժեղացման գործակիցը և կրկին տեղադրել հողի մեջ: Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ մեկ կոմպլեքսում ՀՄՄ-ների քանակը բավականին շատ է, վերը նշված գործընթացն իր բնույթով դառնում է ժամանակատար և շահագործման առումով անարդյունավետ: Այս թերությունից ձերբազատվելու նպատակով մշակվել է մի նոր ՀՄՄ, որն ունակ է ավտոմատ կերպով կարգավորելու ՀՄՄ-ի կազմի մեջ մտնող ուժեղարարի ուժեղացումը և լիովին կարող է փոխարինել նախկին ՀՄՄ-ներին:

Սեյսմիկ տատանումներն էլեկտրական ազդանշանի ձևափոխելու համար օգ-

տագործվում են սեյսմաբնորոշիչներ (ՍԸ), որոնք հայտնի են գեոֆոն անվանումով: Քանի որ ՍԸ-ի ելքում օգտակար $S(t)$ ազդանշանի հետ մեկտեղ առկա են նաև տարբեր ծագում ունեցող $n(t)$ աղմուկներ, ապա օգտակար ազդանշանի հայտնաբերումը կրում է հավանականային բնույթ:

Մարդու քայլելու (վազելու) պատճառով սեյսմիկ տատանումների զրգման մեխանիզմի հիմքում ընկած է տեղաշարժման ընթացքում մարմնի զանգվածի կենտրոնի (ՄՋԿ) դիրքի փոփոխությունը հողի նկատմամբ [4]: Մարդու դինամիկ հավասարակշռության արդյունքում ՄՋԿ-ն ենթարկվում է բարդ բնույթ ունեցող պարբերական տատանումների (նկ.1):

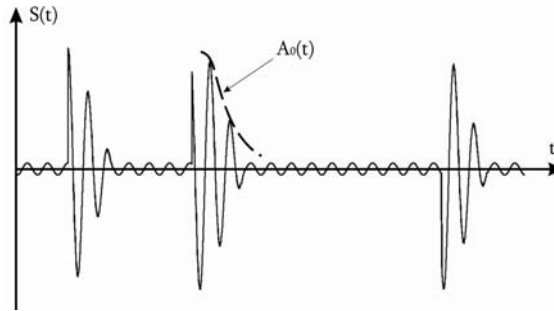


Նկ.1. ա) ՄՋԿ-ի դիրքը, բ) ՄՋԿ-ի ցիկլագիրը, գ) հողի հակազդեցության ուժի ուղղահայաց բաղադրիչը քայլերի ժամանակ, դ) վազքի ժամանակ

Ուղղահայաց հարթության մեջ զանգվածի կենտրոնի հետագիծը (նկ.1բ) ներկայացնում է մի կոր, որը մոտ է սինուսոիդի, որի ամպլիտուդը հավասար է $3,5...6սմ$: Շարժման ընթացքում գետնին է հպվում ոտքի նախ՝ կրունկի, այնուհետև՝ թաթի մասը: Այսպիսով, հողի հակազդեցության ուժի ուղղահայաց բաղադրիչի կորը (նկ.1գ) ունենում է բավականին ընդգծված երկգագաթայնություն: Վազքին անցնելու ժամանակ գրաֆիկի երկգագաթայնությունը դառնում է քիչ արտահայտված: Հրումների ամպլիտուդը (մասնավորապես առաջինը) աճում է, գրաֆիկի վրա հայտնվում է ժամանակահատված, որտեղ հակազդեցության ուժը բացակայում է (նկ.1դ), որը ներկայացնում է թռիչքի փուլը:

Հսկվող տարածք մարդու ներխուժման ժամանակ $1մ/վ$ -ից (քայլ) մինչև $4մ/վ$ (վազք) արագությունների դեպքում հողում առաջանում են մինչև $100 Հգ$ հաճախա -

կանոնությամբ սեյսմիկ տատանումներ, որոնց տեսքը պատկերված է նկ.2-ում:



Նկ. 2. Մարդու տեղաշարժման պատճառով հողում առաջացած տատանումների տեսքը

ՄԸ-ի ելքում ձևավորված ազդանշանի մաթեմատիկական մոդելը կոշտ մակերևույթով համասեռ հողի համար ունի հետևյալ տեսքը.

$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_{oi}(t) \cos(\omega t + \varphi_{si}) + n(t), \quad (1)$$

որտեղ $S(t)$ -ն օգտակար ազդանշանն է, N -ը՝ հսկվող տեղամասում քայլերի քանակը,

φ_{si} -ը՝ ազդանշանի սկզբնական փուլը, $A_{oi}(t)$ -ն՝ իմպուլսների ամպլիտուդը բնութագրող

պարուրիչի ֆունկցիան, $n(t)$ -ն՝ տարատեսակ աղմուկները և սեյսմիկ ֆոնը բնութագրող ֆունկցիան [5]:

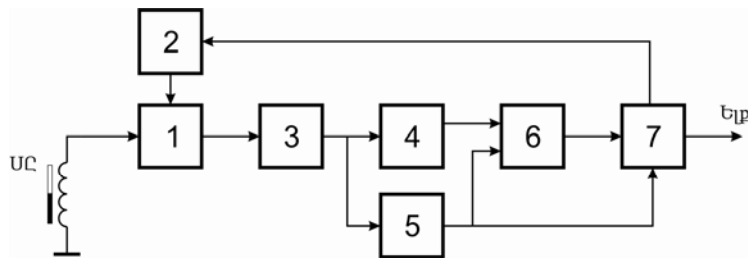
(1)-ից երևում է, որ ՄԸ-ի ելքում օգտակար ազդանշանն ունի բավականին բարդ բնույթ, որին գումարվում են օգտակար ազդանշանից անկախ $n(t)$ աղմուկները, որոնք տարբեր տեղամասերում ունեն տարբեր մեծություններ և կարող են պատճառ հանդիսանալ կեղծ ահազանգման՝ փոքրացնելով ՄԸ-ի մարդկանց հայտնաբերման հավանականությունը:

Մշակված ՀՄՄ-ի աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է. կախված միջավայրի աղմուկներից՝ ՀՄՄ-ի ելքային հանգույցում տեղադրված կոմպարատորի աշխատանքային շեմը փոխվում է՝ ապահովելով օգտակար ազդանշանի գտումը (նկ.3):

ՀՄՄ-ի մուտքային հանգույցը կազմում է ՄԸ-ը: Այն միանում է 1 ուժեղարարին, որի ուժեղացումը կարգավորվում է 2 ռեգիստրային մատրիցի միջոցով: Ուժեղարարից ազդանշանը տրվում է 3 շերտավոր գտիչին, իսկ գտիչի ելքից՝ միաժամանակ 4 լարման ռեգիստրային բաժանիչին և 5 ազդանշանի մաքսիմալ արժեքի իներցիոն դետեկտորին: 4 և 5 հանգույցների ելքերը միացվում են 6 կոմպարատորի մուտքերին, իսկ 5 հանգույցից՝ նաև 7 միկրոկառավարչին: Կոմպարատորի ելքը նույնպես

միանում է միկրոկառավարչին, իսկ վերջինս ղեկավարում է ինչպես ռեգիստրային մատրիցը, այնպես էլ ՀՄՄ-ի ելքը:

ՀՄՄ-ն աշխատում է հետևյալ կերպ. հողում առաջացած սեյսմիկ տատանումները ՍՀ-ի միջոցով ձևափոխվում են էլեկտրական ազդանշանի և ուժեղացվում են 1 ուժեղարարի միջոցով: Ուժեղարարի ուժեղացումը կարգավորվում է ռեգիստրային մատրիցի միջոցով, որն ունի թվային ղեկավարում և գտնվում է ուժեղարարի հետադարձ կապի շղթայում: Այնուհետև ուժեղացված ազդանշանը գտնվում է 3 շերտավոր գոտիչի միջոցով: Զտիչն ունի $3 \dots 100 \text{ Հգ}$ հաճախականային տիրույթ, որտեղ և ընկած է մարդու տեղաշարժման պատճառով առաջացած ազդանշանի սպեկտրը: Զտիչի կիրառումը մի քանի անգամ մեծացնում է համակարգի ազդանշան/աղմուկ հարաբերակցությունը:



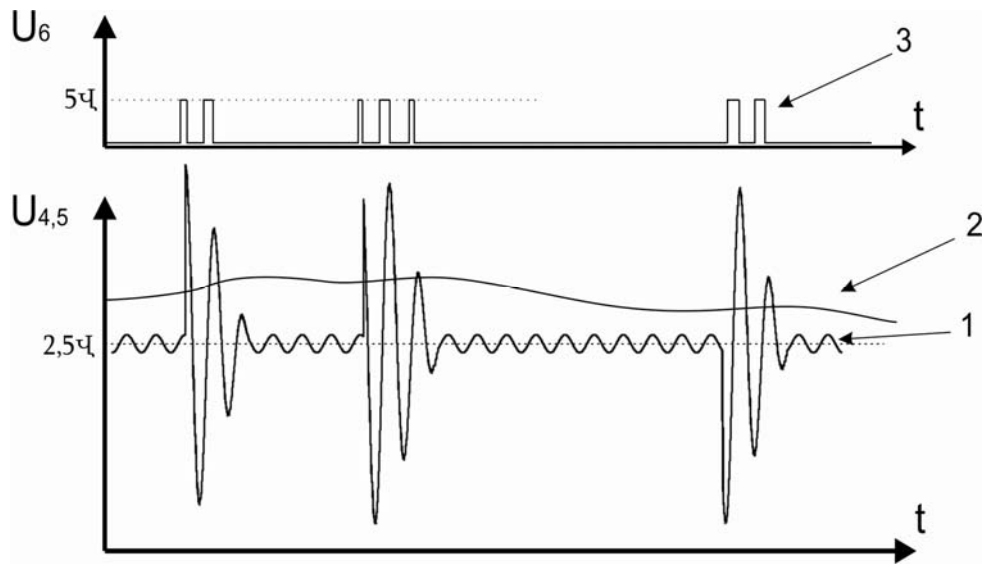
Նկ.3. ՀՄՄ-ի կառուցվածքային սխեման

Զտիչի ելքից ազդանշանը միաժամանակ տրվում է 5 մաքսիմալ արժեքի իներցիոն դետեկտորին և 4 ազդանշանը 0,95 անգամ փոքրացնող լարման ռեգիստրային

բաժանիչին: 5 մաքսիմալ արժեքի իներցիոն դետեկտորն ունի $\tau=3\text{վ/ըկ}$ ժամանակի

հաստատուն: Լարման ռեգիստրային բաժանիչը նախատեսված է 6 կոմպարատորի մուտքերի միջև պոտենցիալների տարբերություն ունենալու համար՝ ապահովելով ՀՄՄ-ի հանգստի ռեժիմում կոմպարատորի կայուն աշխատանքը:

Երբ հսկվող տարածք մարդ է ներխուժում, ապա տեղի են ունենում ազդանշանի ամպլիտուդի կտրուկ փոփոխություններ, որոնց փոփոխման ժամանակի հաստատունը փոքր է 3վ -ից (5 դետեկտորի ժամանակի հաստատունով պայմանավորված), և 6 կոմպարատորի չորջող մուտքում՝ 4-րդ հանգույցի ելքից, ազդանշանը մի որոշ ժամանակահատված ավելի մեծ արժեք է ընդունում, քան շրջող մուտքում՝ 5-րդ հանգույցի ելքից, որտեղ ազդանշանը հապաղում է: Արդյունքում՝ 6 կոմպարատորի ելքում ձևավորվում են իմպուլսներ՝ պայմանավորված ազդանշանի ամպլիտուդների մեծացմամբ, որի շեմային մակարդակն է 5 ազդանշանի մաքսիմալ արժեքի դետեկտորի ելքը (նկ.4):



Նկ.4. Ազդանշանի մշակման գործընթացը. 1 – լարման բաժանիչի, 2 – ազդանշանի մաքսիմալ արժեքի դետեկտորի և 3 – կոմպարատորի ելքերի լարումները

Այդ իմպուլսները վերլուծության են ենթարկվում 7 միկրոկառավարչում հատուկ մշակված ալգորիթմի միջոցով, և ՀՄՄ-ի ելքում ձևավորվում է կարճատև տրամաբանական “1”, երբ իմպուլսների միջև տևողությունը մոտ է լինում մարդու քայլերի (նաև վազքի) տևողությանը: Այս ելքային իմպուլսը հաղորդվում է կենտրոնական կայան, որտեղ և տեղեկանում են տարածքում օտար անձի ներկայության մասին: 7 միկրոկառավարիչը միաժամանակ կարգավորում է 1 ուժեղարարի ուժեղացումը, որպեսզի (1)-ում բերված $S(t)$ սեյսմիկ ազդանշանի մեծ արժեքների դեպքում ուժեղարարը չմտնի հագեցման ռեժիմ:

Երբ ազդանշանի կտրուկ փոփոխություններն ավելի հաճախակի և պարբերական բնույթ են կրում (օրինակ՝ անձրև, կարկուտ և այլն), որոշ ժամանակ հետո 5 դետեկտորի ելքի լարումն այնքան է աճում, որ այն ավելի մեծ արժեք է ընդունում, քան 4 ռեգիստորային բաժանիչի ելքում, այսինքն՝ մեծանում է 6 կոմպարատորի աշխատանքային շեմը, և ազդանշանն ընկալվում է որպես աղմուկ ու անտեսվում է կոմպարատորի կողմից: Իսկ երբ աղմուկների մակարդակը ցածր է լինում, կոմպարատորի աշխատանքային շեմն իջնում է, և մեծանում է ՍԸ-ի հայտնաբերման ինչպես հավանականությունը, այնպես էլ՝ հեռահարությունը:

Քանի որ ՀՄՄ-ի հիմնական պահանջներից մեկը հանգստի ռեժիմում հոսանքի մինիմալ ծախսի ապահովումն է, ապա ՀՄՄ-ն պատրաստելիս ընտրվել է հետևյալ գերխնայող տարրային բազան: Մուտքային շղթայի ազդանշանի ուժեղարարը, կոմպարատորը և ազդանշանի մաքսիմալ արժեքի դետեկտորը հիմնված են TLC27L2

օպերացիոն ուժեղարարի վրա: Որպես ռեգիստրային մատրից ընտրվել է MAX5415 ինտեգրալ սխեման, որն ապահովում է 256 քայլով մինչև 100 կՕւ՝ դիմադրության ընտրություն, իսկ մեծ էներգախնայողունակություն ապահովելու համար ընտրվել է ATmega48P միկրոկառավարիչը:

Ստորև ներկայացված է միկրոկառավարչի (ՄԿ) միջոցով իրականացված ալգորիթմի պարզեցված նկարագրությունը: Քանի որ ակտիվ ռեժիմում ՄԿ-ն ծախսում է մոտ 300 մկՄ հոսանք, իսկ հերթապահ ռեժիմում՝ մոտ 1 մկՄ, ապա ալգորիթմը մշակվել է այնպես, որ ժամանակի հիմնական մասը՝ մոտ 95%-ը, այն գտնվում է հերթապահ ռեժիմում: Հերթապահ ռեժիմից ՄԿ-ն դուրս է գալիս և մտնում է ակտիվ ռեժիմ, երբ կոմպարատորի ելքում հայտնվում է տրամաբանական “1”: Այդ պահից սկսած՝ մոտ 4μժամանակահատվածի ընթացքում ալգորիթմը հետևում է կոմպարատորի ելքում իմպուլսների հաջորդականությանը, համեմատում է դրանք մարդու տեղաշարժման ժամանակ առաջացած իմպուլսների հետ (որոնք նախօրոք գրանցվում են ՄԿ-ի հիշողության մեջ) և եթե գտնում է կոռեկցիա, ապա ելքում ձևավորում է կարճատև տրամաբանական “1”: Մինչև ժամանակ, ՄԿ-ն հետևում է դետեկտորի ելքում ձևավորված լարմանը, որի արժեքից կախված՝ թվային արձանագրությամբ ռեգիստրային մատրիցի միջոցով ղեկավարում է ուժեղարարի ուժեղացումը: Նշված գործողություններից հետո ՄԿ-ն կրկին անցնում է հերթապահ ռեժիմի՝ նվազագույնը 30μ, որից հետո ցիկլը կարող է կրկնվել:

Մշակված ՀՄՄ-ի տեխնիկական պարամետրերն են.

- սնուցման լարումը, 7...15 Վ
- սնուցման հոսանքը հերթապահ ռեժիմում, 102 մկՄ
- սնուցման հոսանքը ակտիվ ռեժիմում, 450 մկՄ
- հաճախականային սպեկտրը, 3...100 Հց

- մարդկանց հայտնաբերման հեռահարությունը, ~50 մ

- չափսերը: 53x53x36 մմ

Այսպիսով, շրջապատի սեյսմիկ ֆոնի տարանջատման և ուժեղարարի ուժեղացման ավտոմատ կարգավորման շնորհիվ՝ մշակված ՀՄՄ-ն ապահովում է կեղծ ահազանգերի առաջացման ավելի փոքր հավանականություն և շահագործման զգալի հարմարավետություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Магауенов Р.Г.** Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: Учебное пособие.-М.: Горячая линия-Телеком, 2004.-367с.
2. Автоматизированный охранный комплекс / **Р.М. Мартиросян, А.Г. Гулян, Г.А. Пирумян** и др.// Электромагнитные волны и электронные системы.-2011.-№2.-С. 37-42.
3. <http://www.qual-tron.com/WirelessMotionSensors.aspx>
4. **Зациорский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н.** Биомеханика двигательного аппарата человека.-М.: Физкультура и спорт, 1981.-143с.
5. **Бондарев В.И.** Основы сейсморазведки: Учебное пособие для вузов.-Екатеринбург: Издательство УГТГА, 2003.-332с.

ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.09.2011:

Ա.Ա. САНОЯН, Р.Г. СИМОНЯН, А.Г. ГУЛЯН

СЕЙСМИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ С ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ ВЕРОЯТНОСТИ

Разработано сейсмическое средство, предназначенное для мониторинга охраняемой территории. Устройство регистрирует сейсмические колебания, возбужденные в грунте. Разработанные технические решения позволяют из общего сейсмического фона и шума разделить и регистрировать колебания, возникаемые в связи с передвижением человека. С использованием микроконтроллера разработан специальный алгоритм, который анализирует сейсмические колебания и настраивает чувствительность сейсмического модуля.

Ключевые слова: охрана, сейсмический приемник, усилитель, микроконтроллер, алгоритм.

A.A. SANOYAN, R.H. SIMONYAN, A.G. GHULYAN

SEISMIC SYSTEM WITH ENHANCED DEGREE OF PROBABILITY OF HUMAN DETECTION

The seismic sensor, which is designated for territory protection is described. The setup registers seismic vibrations. Designed electrical circuitry makes it possible from total seismic background and noise to separate and register the vibrations that are generated by the person move. Using a microcontroller a special algorithm which analyzes and adjusts seismic vibrations and tunes seismic module sensitivity is developed.

Keywords: protection, seismic sensor, amplifier, microcontroller, algorithm.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, А.Э. АКОПЯН

**К ПОСТРОЕНИЮ ТЕТРАЭДРАЛЬНОЙ СЕТКИ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ
СИСТЕМАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРЕХМЕРНОГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Развиты параллельные алгоритмы построения тетраэдральной сетки для решения нелинейных задач трехмерного электромагнитного поля методом конечных элементов.

Ключевые слова: электромагнитное поле, сеточные задачи, параллельные алгоритмы, тетраэдральная сетка.

Введение. Построение тетраэдральной сетки является важным и наиболее трудоемким этапом численного моделирования трехмерного электромагнитного поля. Обычно время построения тетраэдральной расчетной сетки занимает значительную часть общего времени решения задачи. В этой связи представляется актуальным развитие параллельных алгоритмов построения тетраэдральной расчетной сетки с использованием многопроцессорных вычислительных систем кластерной архитектуры.

1. Математическое представление трехмерного магнитного поля. На рис. 1 представлена исследуемая область модельной задачи, показано электромагнитное устройство с ферромагнитными участками В и D, разделенными воздушным зазором С и обмотками О, обтекаемыми током.

Для определения электромагнитного поля в устройстве краевую задачу необходимо решить с нулевыми граничными условиями на бесконечности. Однако, учитывая, что поле вне устройства достаточно быстро затухает, ограничимся рассмотрением конечной области воздушного пространства, окружающего устройство, приняв на границе нулевые значения потенциалов ($A=0$).

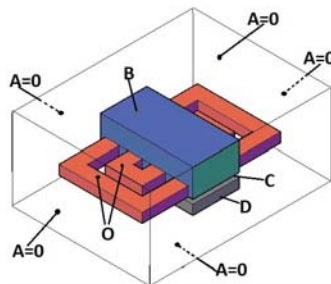


Рис. 1

Магнитное поле, созданное электрическим током, подчиняется классическому уравнению Максвелла:

$$\operatorname{rot} \frac{1}{\mu} (\operatorname{rot} \vec{A}) = \vec{\delta}.$$

Используя условие $\operatorname{div} A = 0$, в декартовой системе координат (x, y, z) уравнение Максвелла приобретает вид [1,2]

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^x + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^x + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^x = -\delta^x, \\ \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^y + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^y + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^y = -\delta^y, \\ \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} A^z + \frac{\partial}{\partial y} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial y} A^z + \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} A^z = -\delta^z, \end{cases} \quad (1)$$

где $A = (A^x, A^y, A^z)$ - векторный магнитный потенциал; $\delta = (\delta^x, \delta^y, \delta^z)$ - вектор плотности тока; μ - величина магнитной проницаемости.

Прямое решение системы (1) затруднительно из-за нелинейности задачи: величина магнитной проницаемости зависит от потенциала и тоже является неизвестной. В методе конечных элементов задача решения системы (1) заменяется вариационной, т.е. рассматривается функционал F , минимум которого достигается точным решением уравнений (1). Здесь

$$F = \iiint_{\Omega} (f_x + f_y + f_z) dx dy dz,$$

$$\begin{cases} f_x = \frac{1}{2\mu} \left[\left(\frac{\partial A^x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial A^x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial A^x}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta^x A^x, \\ f_y = \frac{1}{2\mu} \left[\left(\frac{\partial A^y}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial A^y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial A^y}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta^y A^y, \\ f_z = \frac{1}{2\mu} \left[\left(\frac{\partial A^z}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial A^z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial A^z}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta^z A^z. \end{cases} \quad (2)$$

Затем с помощью метода базисных функций можно получить расчетные уравнения для минимизации функционала.

Дискретизируем задачу, разбив рассматриваемую область Ω на тетраэдры - (элементы) и приняв, что внутри элемента e магнитная проницаемость μ постоянна, а потенциалы являются линейной функцией вида

$$A^x = \sum_{t \in W_e} A_t^x b_t^e(x, y, z), \quad A^y = \sum_{t \in W_e} A_t^y b_t^e(x, y, z), \quad A^z = \sum_{t \in W_e} A_t^z b_t^e(x, y, z), \quad (3)$$

где W_e - множество вершин элемента e ; A_t - значение потенциала A в узле t ; $b_t^e(x, y, z)$ - базисная функция, т.е. линейная функция, равная единице в узле t и нулю в остальных трех вершинах тетраэдра e . Базисные функции удобно записывать в виде детерминанта

$$b_k^e(x, y, z) = \frac{1}{6V_e} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_j & y_j & z_j & 1 \\ x_i & y_i & z_i & 1 \\ x_m & y_m & z_m & 1 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где (x_t, y_t, z_t) - декартовы координаты вершин тетраэдра, $t = i, j, k, m$; V_e - объем тетраэдра e :

$$6V_e = \begin{vmatrix} x_i & y_i & z_i & 1 \\ x_j & y_j & z_j & 1 \\ x_k & y_k & z_k & 1 \\ x_m & y_m & z_m & 1 \end{vmatrix}.$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$\begin{cases} f_x = \frac{1}{2\mu} \left[\left(\sum_{t \in W_e} A_t^x \frac{\partial b_t^e}{\partial x} \right)^2 + \left(\sum_{t \in W_e} A_t^x \frac{\partial b_t^e}{\partial y} \right)^2 + \left(\sum_{t \in W_e} A_t^x \frac{\partial b_t^e}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta^x \sum_{t \in W_e} A_t^x b_t^e, \\ f_y = \frac{1}{2\mu} \left[\left(\sum_{t \in W_e} A_t^y \frac{\partial b_t^e}{\partial x} \right)^2 + \left(\sum_{t \in W_e} A_t^y \frac{\partial b_t^e}{\partial y} \right)^2 + \left(\sum_{t \in W_e} A_t^y \frac{\partial b_t^e}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta^y \sum_{t \in W_e} A_t^y b_t^e, \\ f_z = \frac{1}{2\mu} \left[\left(\sum_{t \in W_e} A_t^z \frac{\partial b_t^e}{\partial x} \right)^2 + \left(\sum_{t \in W_e} A_t^z \frac{\partial b_t^e}{\partial y} \right)^2 + \left(\sum_{t \in W_e} A_t^z \frac{\partial b_t^e}{\partial z} \right)^2 \right] - \delta^z \sum_{t \in W_e} A_t^z b_t^e. \end{cases} \quad (5)$$

Численный расчет трехмерного магнитного поля методом конечных элементов сводится к решению системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial A_k^x} = \sum_{e \in E_k} \left[v_e \sum_{t \in W_e} (a_{kt} A_t^x) - \delta^x a_k^e \right] = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial A_k^y} = \sum_{e \in E_k} \left[v_e \sum_{t \in W_e} (a_{kt} A_t^y) - \delta^y a_k^e \right] = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial A_k^z} = \sum_{e \in E_k} \left[v_e \sum_{t \in W_e} (a_{kt} A_t^z) - \delta^z a_k^e \right] = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где v_e - значение $v = 1/\mu$ внутри элемента e ; E_k - множество тетраэдров, содержащих узел k ; a_{kt}^e - коэффициенты взаимодействия вершин k и t в элементе e , которые получаются дифференцированием формул (5):

$$\begin{cases} a_{kt} = \iiint_e \left(\frac{\partial b_k^e}{\partial x} \frac{\partial b_t^e}{\partial x} + \frac{\partial b_k^e}{\partial y} \frac{\partial b_t^e}{\partial y} + \frac{\partial b_k^e}{\partial z} \frac{\partial b_t^e}{\partial z} \right) dx dy dz, \\ a_k^e = \iiint_e b_k^e dx dy dz. \end{cases}$$

Отметим, что для всех элементов $e \in E_k$ множество W_e обязательно содержат узел k . Следовательно, внутренняя сумма в (6) зависит от A_k .

Таким образом, численный расчет трехмерного магнитного поля методом конечных элементов сводится к решению системы уравнений (6). Заметим, что для каждого узла k в (6) принимают участие только непосредственные соседи узла k . Получается система уравнений с неизвестными A_k , причем количество уравнений равно количеству неизвестных и утроенному количеству некраевых узлов.

2. Параллельный алгоритм создания тетраэдральной сетки с использованием декомпозиции без перекрытия. Для реализации параллельного алгоритма необходимо исследуемую область (рис. 1) разбить на процессорные пространства. Процессорное пространство задается ограничивающими плоскостями. Для уменьшения межпроцессорного обмена в процессе построения сетки целесообразно использовать декомпозицию без перекрытия. Для наглядности предположим, что исследуемую область необходимо разбить на два процессорных пространства, следовательно, в процессе построения сетки будут участвовать два процессора (рис. 2).

На рис. 2 процессорные пространства имеют общую граничную плоскость (П) и находятся по разные стороны от этой плоскости. Поэтому при разбиении области необходимо указать положения процессорных пространств относительно граничной плоскости.

Граничную плоскость определим заданием трех пространственных точек $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$, $P_3(x_3, y_3, z_3)$, которые принадлежат этой плоскости. Тогда уравнение плоскости примет вид

$$D(x, y, z) = \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0.$$

Узел с координатами (x_0, y_0, z_0) принадлежит процессорному пространству Пр1, если $D(x_0, y_0, z_0) \geq 0$, и процессорному пространству Пр2, если $D(x_0, y_0, z_0) \leq 0$.

Отметим, что узлы, лежащие на граничной плоскости, принадлежат обоим процессорным пространствам.

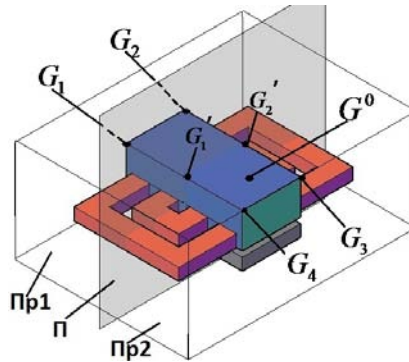


Рис. 2

Если граница раздела двух сред находится в разных процессорных пространствах, то точки пересечения соответствующих ребер с граничной плоскостью будут дополнительными узлами граничной плоскости, а их соединяющие отрезки - границами раздела сред на граничной плоскости. Например, на рис. 2 четырехугольник G_1, G_2, G_3, G_4 порождает дополнительные узлы G_1' и G_2' , а отрезок $G_1'G_2'$ будет границей раздела сред на граничной плоскости (рис. 3).

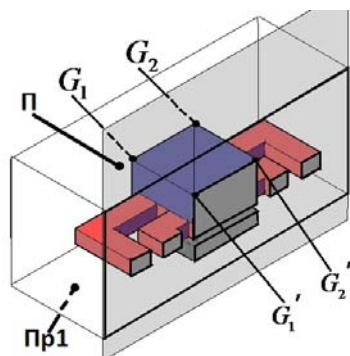


Рис. 3

После определения узлов, которые принадлежат граничной плоскости (Π), необходимо произвести двумерную триангуляцию Делоне [3] с ограничениями на запрет по построению элементов, находящихся в разных средах (рис. 4).

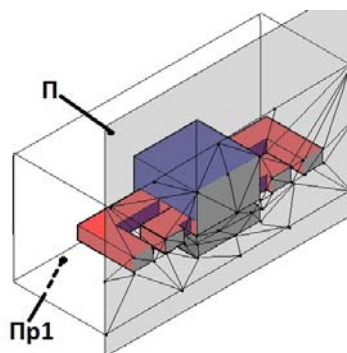


Рис. 4

Опишем алгоритм построения тетраэдральной сетки, который является развитием [4]. Обозначим через Gt массив треугольных граней тетраэдральной сетки. Вначале массив Gt состоит из треугольников граничной плоскости.

Шаг 1. Из массива Gt выбираем первый треугольник. Обозначим его $Gt[0]$.

Назовем вершину тетраэдра, не принадлежащую треугольнику $Gt[0]$, “противоположным узлом”. Если $Gt[0]$ не является гранью какого-либо тетраэдра, то переходим к шагу 1.1, в противном случае - к шагу 1.2.

Шаг 1.1 Для треугольника $Gt[0]$, последовательно перебирая элементы массива P узлов данного процессорного пространства, находим точку, которая вместе с треугольником $Gt[0]$ образует тетраэдр положительного объема. Если точка найдена, переходим к шагу 2.

Шаг 1.2. Для треугольника $Gt[0]$ из массива P , последовательно перебирая, находим точку, которая с “противоположным узлом” находится по разные стороны треугольника $Gt[0]$. Если точка найдена, переходим к шагу 2.

Шаг 2. Проверяем, не пересекается ли вновь созданный тетраэдр с границами раздела сред и с уже созданными тетраэдрами. Если пересекается, переходим к шагу 1 с продолжением последовательного перебора. В противном случае - переходим к шагу 3.

Шаг 3. Проверяем, лежит ли какая-либо точка из массива P внутри шара, описанного вокруг вновь созданного тетраэдра. Если найдена такая точка, то создается тетраэдр с этой точкой и треугольником $Gt[0]$. Затем переходим к шагу 2 до тех пор, пока не найден тетраэдр, для которого внутри описанного шара нет других узлов. Созданный тетраэдр добавляем в массив тетраэдров. Из массива Gt удаляем треугольник $Gt[0]$, в массив Gt добавляем отличные от $Gt[0]$ треугольные грани тетраэдра, после чего переходим к шагу 1.

3. Параллельный алгоритм создания тетраэдральной сетки с использованием алгоритма пузырька. В [5] показано, что для расчета магнитных полей методом конечных элементов при заданном наборе узлов из всех возможных сеток наилучшей является сетка Делоне. Вместе с тем методы, основанные на критерии Делоне, крайне чувствительны к точности машинных вычислений [6]. Отметим также, что алгоритм [5], который основан на свойстве двойственности триангуляций Делоне и многогранных мозаик Вороного, для большого количества узлов является трудоемким. Поэтому использование такого алгоритма целесообразно на многопроцессорных вычислительных системах.

Суть метода состоит в том, что для данного множества узлов вначале строится многогранная мозаика Вороного. Для этого каждому узлу приписывается шар малого радиуса с центром в данном узле так, чтобы не задевать другие узлы. Затем все шары одновременно “разбухают”, при этом их радиусы растут с равной скоростью. Когда два шара соприкасаются, их рост в данном направлении прекращается, и их центры запоминаются, как пара соседних узлов. Соединяя соседние узлы, получим, согласно свойству двойственности, трехмерную триангуляцию Делоне.

Для наглядности исследуемую область графически представим для двумерного случая, а алгоритм опишем для трехмерного случая. На рис. 5 представлена трехмерная модель исследуемой области, а на рис. 6 - двумерное сечение исследуемой области.

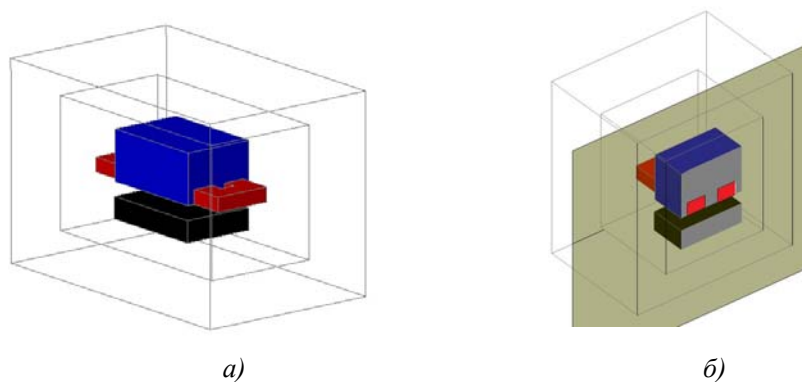


Рис. 5

На рис. 5 и 6 показано такое же, что и на рис. 1, модельное электромагнитное устройство с воздушным пространством E , погруженное в конечное пространство H . Если не использовать ограниченное пространство H , то в зависимости от расположения узлов возможно, что шары, принадлежащие области E , соприкоснутся в бесконечности.

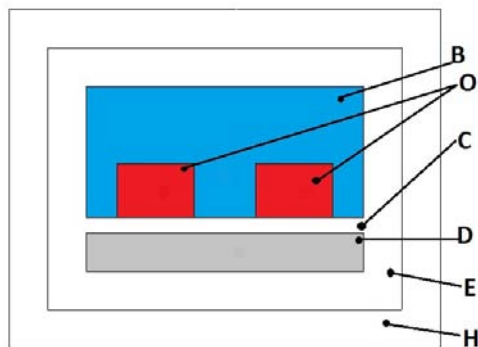


Рис. 6

Определение положения узла относительно граничной плоскости, а также принадлежности граней и ребер данному процессорному пространству происходит так же, как в вышеуказанном алгоритме.

На рис. 7 представлены иллюстрации процесса решения двумерной задачи на двух процессорах. В процессе построения, если окружность (например, O_k) сталкивается с границами раздела сред или с граничными плоскостями как собственного процессора, так и соседнего, то рост окружности в этом направлении останавливается. После построения сетки удаляются треугольники, которые принадлежат H .

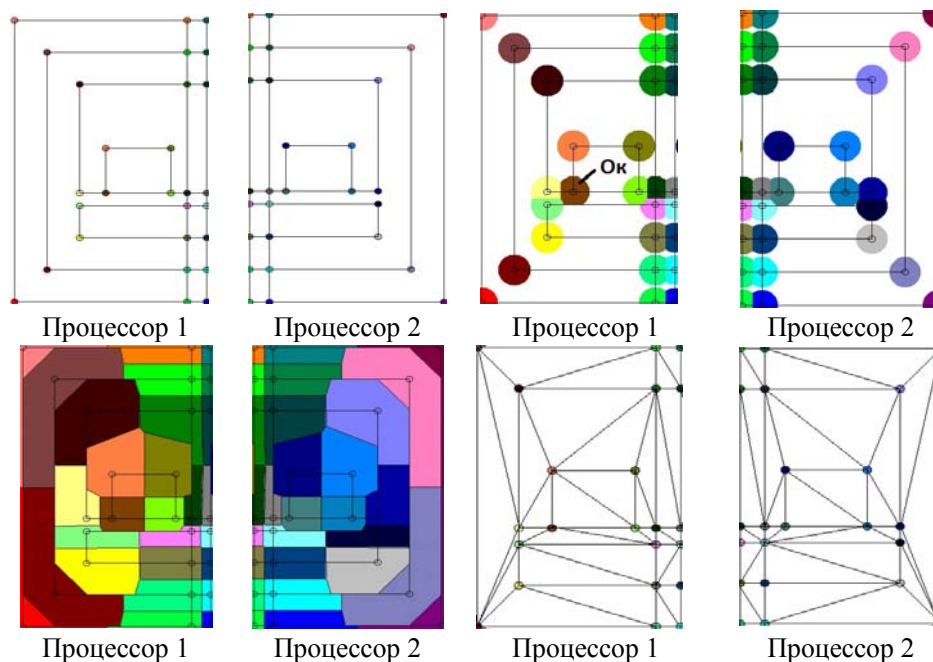


Рис. 7

Опишем алгоритм для создания трехмерной триангуляции Делоне с фиксированным множеством узлов P . Для начала исследуемую область представим в виде набора дискретных точек, заданных с помощью трехмерного массива M

размерности $m \times n \times k$, где $m = \frac{l}{\Delta r} \xi$, $n = \frac{w}{\Delta r} \xi$, $k = \frac{h}{\Delta r} \xi$,

$$l = \text{Max_x} - \text{Min_x},$$

$$w = \text{Max_y} - \text{Min_y},$$

$$h = \text{Max_z} - \text{Min_z}.$$

Здесь $\text{Max_x}, \text{Max_y}, \text{Max_z}, \text{Min_x}, \text{Min_y}, \text{Min_z}$ - максимальные и минимальные координаты узлов пространства H ; ξ - коэффициент дискретизации, причем чем больше ξ , тем выше точность создания сетки; Δr - шаг увеличения текущего радиуса шара.

Назовем координаты точки в трехмерном массиве матричными координатами. Выражение для перехода с декартовой системы координат в матричные координаты имеет следующий вид:

$$\begin{cases} M_x = \frac{x - \text{Min}_x}{l} m; \\ M_y = \frac{y - \text{Min}_y}{w} n; \\ M_z = \frac{z - \text{Min}_z}{h} k, \end{cases}$$

где M_x, M_y, M_z - матричные координаты точки с декартовыми координатами x, y, z .

С учетом изложенного алгоритм представим в следующем виде.

Шаг 1. Первоначально все элементы трехмерного массива равны нулю. Последовательно перебирая все узлы из P , находим их матричные координаты. В трехмерный массив с матричными координатами M_x, M_y, M_z записывается номер узла с декартовыми координатами x, y, z .

Шаг 2. Создается массив границ раздела сред в матричных координатах.

Шаг 3. Для каждой итерации радиус (R) шаров увеличивается на Δr , $R = R + \Delta r$.

Для узла из P с номером J и матричными координатами M_x, M_y, M_z перебираем все элементы N_x, N_y, N_z трехмерного массива M . Обозначим $J' = M(N_x, N_y, N_z)$. Проверим условие

$$(N_x - M_x)^2 + (N_y - M_y)^2 + (N_z - M_z)^2 \leq R^2. \quad (7)$$

Могут быть следующие случаи:

1. $J' > 0$. Это означает, что точка X с матричными координатами N_x, N_y, N_z лежит внутри шара с радиусом $R - \Delta r$ и центром в узле с номером J' . Если $J \neq J'$ и выполнено (7), то узлы J и J' являются соседними.
2. $J' = 0$. Точка X и узел J лежат в разных средах или разных процессорных пространствах, тогда J' оставляем равным нулю.
3. $J' = 0$. Точка X и узел J лежат в одинаковых средах и процессорных пространствах. Если выполнено (7), то точка X лежит внутри шара с радиусом R и центром в узле с номером J , тогда в трехмерный массив с координатами N_x, N_y, N_z заносим номер J .

Для выявления эффективности предложенного алгоритма осуществлена его реализация на многопроцессорной системе кластерной архитектуры. Результаты численного эксперимента на модельной задаче с анализом эффективности будут представлены в следующей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Новик Я.А.** Вариационная формулировка решения задачи расчета трехмерного стационарного магнитного поля с учетом нелинейных свойств среды // Изв. АН ЛатвССР. Сер. Физ. и техн. наук. - 1974. - №4. - С.79-89.
2. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э.** Об оптимизации тетраэдральной сетки для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. 61, № 2. - С. 305-317.
3. **Скворцов А. В.** Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во ТУ, 2002. – 128 с.
4. **Акопян А.Э.** Об автоматическом построении тетраэдрической сетки при решении полевых задач методом конечных элементов // Вестник-76: Сборник научных и методических статей. – Ереван, 2009. – Т.1, №1.-С. 225-229.
5. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э. Геворгян А. А.** К построению оптимальной расчетной сетки для решения полевых задач методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2010. - Т. 63, №3.-С. 319-327.
6. **Галанин М.П., Щеглов И.А.** Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей: итерационные методы.- Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2006,

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 20.10.2011.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒԲԻԱՍՅԱՆ, Ա.Է. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

**ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԴԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԵՌԱԶԱՓ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ
ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՔԱՌԱՆԻՍՏ ՑԱՆՑԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ
ՄՈՏԵՑՈՒՄ ԲԱԶՄԱՊՈՆՏԵՍՈՐԱՑԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Զարգացվել են քառանիստային ցանցի կառուցման զուգահեռ ալգորիթմներ վերջավոր տարրերի մեթոդով եռաչափ էլեկտրամագնիսական ոչ գծային դաշտի խնդիրների լուծման համար:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամագնիսական դաշտ, ցանցային խնդիրներ, զուգահեռ ալգորիթմներ, քառանիստ ցանցեր:

H.A. TERZIAN, H.S. SUKIASYAN, A.E. HAKOBYAN

**TO THE CONSTRUCTION OF TETRAHEDRICAL MESH ON MULTI-PROCESSOR
SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF 3-DIMENSIONAL ELECTRO-
MAGNETIC FIELD BY THE FINITE-ELEMENT METHOD**

Parallel algorithms of tetrahedral mesh for solving nonlinear problems of the 3-dimensional electro-magnetic field by the finite-element method are developed.

Keywords: electro-magnetic field, mesh problems, parallel algorithms, tetrahedral mesh.

А.Г. АВETИСЯН, В.Р. АВИНЯН

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБРАТНЫХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ,
ОСНОВАННЫЙ НА СИМПЛЕКС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ И МНОГОМЕРНЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ**

Предлагается метод определения обратных многопараметрических матриц на основе многомерных дифференциальных преобразований Г.Е. Пухова и симплекс-преобразований. Рассмотрен модельный пример.

Ключевые слова: многопараметрическая матрица, многомерные дифференциальные преобразования, дифференциально-падаевские (ДП-) преобразования, симплекс-преобразования.

Введение. В монографии [1] представлены методы определения инвариантов неавтономных однопараметрических матриц на основе одномерных дифференциальных преобразований Г.Е. Пухова [2, 3], а в работах [4,5] разработаны методы определения собственных многочленов многопараметрических матриц на основе многомерных дифференциальных преобразований [2]. Для вычисления обратной неавтономной (однопараметрической) матрицы в [6] был предложен метод, основанный на совместном применении однопараметрических дифференциальных преобразований и симплекс-преобразований. В данной работе рассмотрена возможность определения обратной многопараметрической матрицы $A^{-1}(t_1, t_2, \dots, t_N)$ матрицы $A(t_1, t_2, \dots, t_N)$ в предположении, что элементы $a_{ij}(t_1, t_2, \dots, t_N)$, $i, j = \overline{1, m}$ матрицы $A(t_1, t_2, \dots, t_N)$ обладают достаточной степенью гладкости по всем параметрам $t_1, t_2, \dots, t_N$.

Для таких матриц будем использовать многомерные дифференциальные преобразования Г.Е. Пухова [2]:

- прямое преобразование:

$$U(K_1, K_2, \dots, K_N) = \frac{H_1^{K_1} H_2^{K_2} \dots H_N^{K_N}}{K_1! K_2! \dots K_N!} \left[\frac{\partial^{K_1 + K_2 + \dots + K_N} u(t_1, t_2, \dots, t_N)}{\partial x_1^{K_1} \partial x_2^{K_2} \dots \partial x_N^{K_N}} \right]_{\substack{t_1 = t_1^v, \\ t_2 = t_2^v, \\ \dots \\ t_n = t_N^v}}; \quad (1)$$

- обратное падеевское преобразование [7]:

$$u(t_1, t_2, \dots, t_N) = \frac{\sum_{s=0}^P \sum_{p_1+p_2+\dots+p_N=s} f_{p_1 p_2 \dots p_N} t_1^{p_1} t_2^{p_2} \dots t_N^{p_N}}{1 + \sum_{s=1}^M \sum_{m_1+m_2+\dots+m_N=s} r_{m_1 m_2 \dots m_N} t_1^{m_1} t_2^{m_2} \dots t_N^{m_N}} = \frac{F(t_1, t_2, \dots, t_N)}{R(t_1, t_2, \dots, t_N)}, \quad (2)$$

где дискретная функция $U(K_1, K_2, \dots, K_N)$ целочисленных аргументов $K_1, K_2, \dots, K_N$ образует дифференциальный спектр (изображение) оригинала $u(t_1, t_2, \dots, t_N)$; $F(t_1, t_2, \dots, t_N)$ - однородный многочлен степени P ; $R(t_1, t_2, \dots, t_N)$ - однородный многочлен степени M ($P < M$); $f_{p_1, p_2, \dots, p_N}$, $p_i = \overline{0, P}$ и $r_{m_1, m_2, \dots, m_N}$, $m_i = \overline{0, M}$ - коэффициенты многочленов $F(t_1, t_2, \dots, t_N)$ и $R(t_1, t_2, \dots, t_N)$ соответственно. Метод определения коэффициентов представлен в [7].

1. Математический аппарат. Пусть дана некоторая многопараметрическая матрица $A(t_1, t_2, \dots, t_N)_{n \times n}$, где t_i , $i = \overline{1, N}$ - независимые переменные. Для обратной матрицы $A^{-1}(t_1, t_2, \dots, t_N)$ должны выполняться условия [8, 9]

$$A^{-1}(t_1, t_2, \dots, t_N) \cdot A(t_1, t_2, \dots, t_N) = E_{n \times n},$$

$$A(t_1, t_2, \dots, t_N) \cdot A^{-1}(t_1, t_2, \dots, t_N) = E_{n \times n}.$$

С правой стороны матрицы $A(t_1, t_2, \dots, t_N)_{n \times n}$ добавим единичную матрицу следующим образом:

$$\hat{A}(t_1, t_2, \dots, t_N) = [A(t_1, t_2, \dots, t_N); E_{n \times n}]. \quad (3)$$

Представим последовательность операций, необходимых для определения обратной матрицы с использованием симплекс-преобразований [10]:

- выбираем ведущий элемент для каждой $q = i_0$ итерации:

$$\hat{a}_{i_0 j_0}(t_1, t_2, \dots, t_N), \text{ где } (i_0 = \overline{1, n}, j_0 = i_0);$$

- для ведущей строки имеем

$$\hat{a}_{i_0 j}^{(q)}(t_1, t_2, \dots, t_N) = \frac{\hat{a}_{i_0 j}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N)}{\hat{a}_{i_0 j_0}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N)}, \quad j = \overline{1, 2n}, \quad (4)$$

где i_0 - номер ведущей строки; j_0 - номер ведущего столбца, а $q = \overline{1, n}$ - номер итераций;

- остальные элементы матрицы $\hat{A}^{(q)}(t_1, t_2, \dots, t_N)$ определяются выражением

$$\hat{a}_{ij}^{(q)}(t_1, t_2, \dots, t_N) = \hat{a}_{ij}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N) - \frac{\hat{a}_{i_0j}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N) \cdot \hat{a}_{ij_0}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N)}{\hat{a}_{i_0j_0}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N)}, \quad (5)$$

$$i \neq i_0, j = \overline{1, 2n}.$$

При $q = n$ из (3) имеем

$$\hat{A}^{(n)}(t_1, t_2, \dots, t_N) = [E_{n \times n} : A^{-1}(t_1, t_2, \dots, t_N)]. \quad (6)$$

Теперь воспользуемся многомерными дифференциальными преобразованиями (1)-(2).

Учитывая (1), для матричных дискрет $\hat{A}(K_1, K_2, \dots, K_N)$ получим

$$\hat{A}(K_1, K_2, \dots, K_N) = [A(K_1, K_2, \dots, K_N) : E(K_1, K_2, \dots, K_N)], \quad (7)$$

где $A(K_1, K_2, \dots, K_N)$ и $E(K_1, K_2, \dots, K_N)$ - матричные дискреты матриц $A(t_1, t_2, \dots, t_N)$ и $E_{n \times n}$ соответственно.

Отметим, что

$$E(K_1, K_2, \dots, K_N) = \mathcal{B}(K_1, K_2, \dots, K_N) = \begin{cases} E, & \text{если } K_i = 0, \\ \{0\}, & \text{если } K_i \geq 1, \end{cases} \quad i = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Учитывая некоторые свойства многомерных дифференциальных преобразований [2], представим изображения выражений (4)-(6):

- для (4) имеем

$$\begin{aligned} \hat{a}_{i_0j}^{(q)}(K_1, K_2, \dots, K_N) = \\ = \frac{\hat{a}_{i_0j}^{(q-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N) - \sum_{s=1}^{K_1, K_2, \dots, K_N} \sum_{V_1+V_2+\dots+V_H=s} \hat{a}_{i_0j}^{(q)}(V_1, V_2, \dots, V_H) \cdot \hat{a}_{i_0j_0}^{(q-1)}(K_1-V_1, K_2-V_2, \dots, K_N-V_H)}{\hat{a}_{i_0j_0}^{(q-1)}(0, 0, \dots, 0)}, \quad j = \overline{1, 2n}. \end{aligned} \quad (9)$$

Имея в виду следующие обозначения:

$$d_{ij}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N) = \hat{a}_{i_0j}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N) \cdot \hat{a}_{ij_0}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N), \quad i \neq i_0, j = \overline{1, 2n}, q = \overline{1, n}, \quad (10)$$

$$b_{ij}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N) = \frac{d_{ij}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N)}{\hat{a}_{i_0j_0}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N)}, \quad i \neq i_0, j = \overline{1, 2n}, q = \overline{1, n}, \quad (11)$$

получим

$$a_{ij}^{(q)}(t_1, t_2, \dots, t_N) = \hat{a}_{ij}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N) - b_{ij}^{(q-1)}(t_1, t_2, \dots, t_N), \quad i \neq i_0, j = \overline{1, 2n}, q = \overline{1, n}. \quad (12)$$

В пространстве изображений для уравнений (10)-(12) соответственно имеем

$$d_{ij}^{(q-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N) = \sum_{s=0}^{K_1, K_2, \dots, K_N} \sum_{V_1+V_2+\dots+V_N=s} \hat{a}_{i_0}^{(q-1)}(V_1, V_2, \dots, V_N) \cdot \hat{a}_{j_0}^{(q-1)}(K_1-V_1, K_2-V_2, \dots, K_N-V_N), \quad (13)$$

$$K_p = \overline{0, \infty}, p = \overline{1, N},$$

$$b_j^{(q-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N) = \frac{d_{ij}^{(q-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N) - \sum_{s=1}^{K_1, K_2, \dots, K_N} \sum_{V_1+V_2+\dots+V_N=s} b_j^{(q-1)}(V_1, V_2, \dots, V_N) \cdot \hat{a}_{i_0}^{(q-1)}(K_1-V_1, K_2-V_2, \dots, K_N-V_N)}{\hat{a}_{i_0}^{(q-1)}(0, 0, \dots, 0)}, \quad j = \overline{1, 2n}; \quad (14)$$

- для (5) имеем

$$\hat{a}_{ij}^{(q)}(K_1, K_2, \dots, K_N) = \hat{a}_{ij}^{(q-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N) - b_{ij}^{(q-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N), \quad i \neq i_0, j = \overline{1, 2n}, q = \overline{1, n}; \quad (15)$$

- и, наконец, для (6) имеем

$$\hat{A}^{(N)}(K_1, K_2, \dots, K_N) = [E(K_1, K_2, \dots, K_N) : A^{(-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N)], K_p = \overline{0, \infty}, p = \overline{1, N}, \quad (16)$$

где $A^{(-1)}(K_1, K_2, \dots, K_N)$ - матричные дискреты обратной матрицы. Оригинал $A^{-1}(t_1, t_2, \dots, t_N)$ можно восстановить с помощью соотношения (2).

2. Модельный пример. Пусть дана следующая многопараметрическая матрица:

$$A(t_1, t_2) = \begin{bmatrix} t_1 + t_2^2 + 1 & t_1 t_2^2 - 2t_1 \\ 2 - t_1 & 4 + 3t_1^2 \end{bmatrix}.$$

При $t_1^v = t_2^v = 0, N_1 = N_2 = 1$ матричные двумерные дискреты принимают следующие значения:

$$A(0, 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}, \quad A(1, 0) = \begin{bmatrix} 1 & -2 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad A(2, 0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix},$$

$$A(K_1, 0) = \{0\}, \quad K_1 = \overline{3, \infty}; \quad A(K_1, 1) = \{0\}, \quad K_1 = \overline{0, \infty},$$

$$A(0, 2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A(1, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A(K_1, 2) = \{0\}, \quad K_1 = \overline{2, \infty},$$

$$A(K_1, K_2) = \{0\}, \quad K_1 = \overline{0, \infty}, K_2 = \overline{3, \infty}.$$

Следовательно, учитывая (7) и (8), имеем

$$\hat{A}(0, 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{A}(1, 0) = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \hat{A}(2, 0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\hat{A}(K_1, 0) = \{0\}, K_1 = \overline{3, \infty}; \hat{A}(K_1, 1) = \{0\}, K_1 = \overline{0, \infty};$$

$$\hat{A}(0, 2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \hat{A}(1, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \hat{A}(K_1, 2) = \{0\}, K_1 = \overline{2, \infty};$$

$$\hat{A}(K_1, K_2) = \{0\}, K_1 = \overline{0, \infty}, K_2 = \overline{3, \infty}.$$

С учетом (9)-(16) матричные дискреты $A^{(-1)}(K_1, K_2)$, $K_1 = \overline{0, 6}$, $K_2 = \overline{0, 6}$ принимают значения, приведенные в таблице.

Таблица

$K_2 \backslash K_1$	0	1	2	3	4	5	6
0	1 0 -0.5 0.25	0 0 0 0	-1 0 0.5 0	0 0 0 0	1 0 -0.5 0	0 0 0 0	-1 0 0.5 0
1	-2 0.5 1.25 -0.25	0 0 0 0	4.5 -0.75 -2.5 0.375	0 0 0 0	-7 0.75 3.75 -0.375	0 0 0 0	9.5 -0.75 -5 0.375
2	4.5 -1 -2.375 0.4375	0 0 0 0	-15.25 2.75 8.375 -1.5625	0 0 0 0	32.25 -4.625 -17.5 2.5	0 0 0 0	-55.5 6.5 29.75 -3.4375
3	-9.25 1.875 4.8125 -1	0 0 0 0	43.625 -8.1875 -23.75 4.5	0 0 0 0	-119.25 19.375 64.875 -10.5625	0 0 0 0	251.75 -35.25 -136 18.96875
4	18.875 -3.875 -9.96875 2.078125	0 0 0 0	-114.813 22.0625 62.03125 -11.9063	0 0 0 0	387.5625 -67.0625 -210.469 36.5	0 0 0 0	-976.188 150.8125 528.7188 -81.6406
5	-38.8125 8.03125 20.51563 -4.23438	0 0 0 0	287.6563 -55.9844 -154.719 30.13281	0 0 0 0	-1158.19 207.9531 627.3281 -112.82	0 0 0 0	3402.281 -558.547 -1843.19 302.75
6	79.84375 -16.5 -42.1484 8.699219	0 0 0 0	-697.453 136.9844 374.1172 -73.5586	0 0 0 0	3265.016 -600.711 -1764.2 324.9688	0 0 0 0	-10981 1877.578 5944.531 -1017.2

Используя эти матричные дискреты, восстановим оригинал $A^{-1}(t_1, t_2)$ с помощью дифференциально-падеевских преобразований (2). Получим

$$A^{-1}(t_1, t_2) = \begin{bmatrix} \frac{4+3t_1^2}{8t_1+3t_1^3+4t_2^2+4t_2^2t_1^2+4+t_1^2-2t_1t_2^2} & \frac{-t_1(t_2^2-2)}{8t_1+3t_1^3+4t_2^2+4t_2^2t_1^2+4+t_1^2-2t_1t_2^2} \\ \frac{-2+t_1}{8t_1+3t_1^3+4t_2^2+4t_2^2t_1^2+4+t_1^2-2t_1t_2^2} & \frac{t_1+t_2^2+1}{8t_1+3t_1^3+4t_2^2+4t_2^2t_1^2+4+t_1^2-2t_1t_2^2} \end{bmatrix}.$$

Нетрудно убедиться, что эта матрица удовлетворяет условиям вышеприведенной обратной матрицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Прикладная теория дифференциальных преобразований.- Ереван: Изд-во ГИУА “Чартарагет”, 2010.-364с.
2. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений.-Киев: Наукова думка, 1984.-420 с.
3. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные спектры и модели.-Киев: Наукова думка, 1990.-184 с.
4. **Аветисян А.Г.** Построение собственных многочленов многопараметрических матриц на основе многомерных дифференциальных преобразований //Вестник Инженерной академии Армении. – 2011.- Т.8, N.2. - С.242-247.
5. **Аветисян А.Г.** Многомерный дифференциальный аналог метода Д.К. Фаддеева // Известия ТПУ. – 2011. – Т. 319, № 5.- С. 14–18.
6. **Ավետիսյան Ա.Գ., Ավինյան Վ.Ռ., Միմոնյան Ա.Ս.** Պարամետրական մատրիցների հակադարձների որոշման սիմպլեքս եղանակ՝ հիմնված դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա // ՀՊՀՀ Լրաբեր. “Մոդելավորում, օպտիմալացում, կառավարում” սերիա.- 2010.-Թող.13, հատ.1.-էջ 9-15:
7. **Аветисян А.Г.** Теоретические основы многомерных дифференциально-падеевских преобразований // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. -2011.- Вып.14, том 1.-С.128-134.
8. **Алберт А.** Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание. –М.: Наука, 1997. -224с.
9. **Ben-Israel A., Greville T.N.E.** Generalized Inverses Theory and Applications. –A Wiley-Interscience Publication, 1974. –395 p.
10. **Хемди А. Таха.** Введение в исследование операций, 7-е издание: Пер. с англ. –М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005. -912с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.10.2011.

Ա.Գ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Վ.Ռ. ԱՎԻՆՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՀԱԿԱՂԱՐՁՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ՝ ՀԻՄՆՎԱԾ ՄԻՍՊԼԵՔՍ-ԶԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ԶԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Առաջարկված է բազմապարամետրական մատրիցների հակադարձների որոշման եղանակ՝ հիմնված Գ.Ե. Պուխովի բազմաչափ դիֆերենցիալ ձևափոխությունների և սիմպլեքս ձևափոխությունների համատեղ կիրառման վրա: Դիտարկված է մոդելային օրինակ:

Առանցքային բառեր. բազմապարամետրական մատրից, բազմաչափ դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, դիֆերենցիալ-պադեյան (ԴՊ-) ձևափոխություններ, սիմպլեքս-ձևափոխություններ:

A.G. AVETISYAN, V.R. AVINYAN

A METHOD FOR DEFINITION OF MULTI-PARAMETRICAL INVERSE MATRICES BASED ON SIMPLEX TRANSFORMATIONS AND MULTIDIMENSIONAL DIFFERENTIAL TRANSFORMS

A method for definition of multi-parametrical inverse matrices based on combined application of G.E. Pukhov's multi-dimensional differential and simplex transformations is proposed. A model example is considered.

Keywords: multiparametrical matrix, multidimensional differential transforms, differential-Pade' (DP-) transforms, simplex-transformations.

А.П. ШАТАХЯН, П.М. ШАТАХЯН

**РАЗРАБОТКА ДВУХУРОВНЕВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ
ГАЗОПРОВОДА**

Рассматриваются вопросы создания программного обеспечения двухуровневой системы управления очистным комплексом газопровода, верхним уровнем которой является автоматизированное рабочее место диспетчера, нижним уровнем – подсистема автоматического управления самим технологическим процессом очистки газопровода, непосредственно связанная с датчиками и исполнительными механизмами.

Ключевые слова: газопровод, очистной комплекс, диспетчер, мнемосхема, меню.

Введение. В процессе эксплуатации газопровода на его внутренней поверхности накапливается газовый конденсат – осадок из пыли, масляных капель, твердотельных частичек и пр., от которого газопровод необходимо очищать в среднем два раза в год. Очистка в большинстве случаев производится механическим путем: внутри газопровода перпендикулярно его осевой линии помещается специальный поршень, поверхность которого примерно равна внутреннему сечению газопровода. Поршень перемещается под воздействием давления газа внутри работающей в штатном режиме газовой магистрали со скоростью примерно 1 м/с, очищая ее внутреннюю поверхность и толкая перед собой несколько десятков кубометров конденсата.

На всем протяжении газопровода через каждые 40...60 км строятся очистные комплексы, состоящие из узла приема поршня, запущенного из предыдущего комплекса, узла отправки поршня к следующему комплексу [1,2], а также вывода из газопровода в специальные резервуары накопленного перед поршнем конденсата.

Очистные комплексы представляют собой сложные технические сооружения, включающие в себя множество различных электропневматических вентилях (ЭПВ), резервуаров, датчиков и пр., каждый из которых выполняет свои функции и работает совместно с другими в строго определенные моменты времени. Поэтому проектирование, создание, внедрение и эксплуатация автоматизированной системы управления (АСУ) технологическим процессом (ТП) очистки газопровода (ОГП) является актуальной и сложной задачей.

Предлагается описание технического и программного обеспечения двухуровневой АСУ ТП ОГП [3,4].

Схема очистного комплекса (на примере Сисианского) приведена на рис. 1.

Узел запуска поршня включает в себя следующие устройства:

- два сигнализатора прохождения поршня фиксированных точек (СПТФ) Д и Е газопровода, которые вырабатывают соответствующие сигналы и посылают в нижний уровень АСУ ТП подсистему автоматического управления (ПСАУ) на базе микроконтроллера АТМega162 (рис. 2, блок 2);
- сигнализатор перепада давления (СПД) между правой и левой сторонами поршня, помещенного в камеру запуска;
- электропневматические вентили V00, V01, V03, V05, V07, V09, V11, V13;
- камера запуска поршня [5].



Рис.1. Технологическая схема (мнемосхема) работы очистного комплекса газовой магистрали

В исходном состоянии магистральный ЭПВ V00 открыт, окрашен в зеленый цвет, остальные – закрыты. Запуск поршня производится согласно утвержденному заказчиком регламенту в следующей последовательности. До ввода поршня в камеру необходимо в ней сбросить давление, для чего открываются вентили V11, V13, и находящийся в камере газ сбрасывается в атмосферу (“Свеча”), после чего поршень вводится в камеру.

Для предотвращения накопления взрывоопасной смеси в камере и прилегающих к ней вспомогательных газопроводах необходимо произвести их продувку, для чего открывают вентили V03, V07, V09, а через 8 минут их снова закрывают. После получения сигнала от СПД поршня (рис. 2, блок 3), который означает, что перепад давления спереди и сзади поршня не превышает 0,1 мПа, вентили V11 и

V13 закрываются. Для перемещения поршня в газовую магистраль вентили V01 и V05 открываются, а V00 – закрывается. Под воздействием рабочего давления в магистрали поршень проходит точку Д, затем точку Е, и в соответствии с сигналом от последней вентиль V00 открывается, а вентили V01 и V05 закрываются.

Давление в камере запуска сбрасывают открыванием вентиля V11 (“Свеча”). На этом процедура запуска поршня в газовую магистраль заканчивается.

Узел приема поршня включает в себя следующие устройства:

- СПФТ в количестве 4 шт., которые при прохождении поршня фиксированных на газопроводе точек А, Б, В и Г вырабатывают и посылают в ПСАУ (рис. 2, блок 2) соответствующие сигналы;
- электропневматические вентили V00, V02, V00, V06, V08, V10, V12 и V14;
- СПД для V02, посылающий сигнал в ПСАУ (рис.3, блок 2) при величине перепада давления между правой и левой сторонами ЭПВ V02 менее 100 кПа;
- камера приема поршня [5].

В исходном состоянии вентиль V00 открыт, остальные вентили закрыты. По сигналу от СПФТ А (рис. 2, блок 4) устройства очистного комплекса начинают подготовку к приему поршня и конденсата, для чего, открывая вентили V04 и V06, выравнивают давление в камере, конденсатосборнике и прилегающих к ним вспомогательных газопроводах. После получения сигнала от СПД для V02 вентиль V00 закрывается, а вентиль V02 открывается. В результате поршень и конденсат выходят из магистрали и начинают перемещаться по вспомогательному газопроводу. По сигналу СПФТ Б (рис. 2, блок 5) вентиль V00 открывается, и магистраль снова входит в штатный режим работы, а вентиль V04 закрывается для уменьшения давления впереди поршня.

После прохождения поршня точки В (сигнал из блока 6, рис. 2) закрываются вентили V08 и V12, и поршень перемещается уже под рабочим давлением газа в магистрали, а конденсат через открытый вентиль V12 выливается в конденсатосборник.

После получения сигнала от СПФТ Г (рис. 2, блок 7) вентили V08 и V12 закрываются, и поршень входит в камеру приема. Открывается вентиль V10, и сбрасывается давление в камере (“Свеча”). Далее камеру открывают и из нее выносят поршень.

Вентиль V08 открывается, и в течение 4 минут производится продувка камеры приема поршня, после чего вентили V08 и V10 закрываются, вентиль V14 открывается и сбрасывается давление в конденсатосборнике (“Свеча”), подготавливая его для выемки конденсата.

Многоуровневая АСУ ТП ОГТ представлена на рис. 2. Как система управления, рассматриваемая АСУ ТП является двухуровневой: верхний уровень – АРМ Д (блок 1) и нижний уровень – ПСАУ (блок 2). Однако как вычислительная

система, она является трехуровневой локальной сетью – помимо двух перечисленных, имеется еще один, самый нижний уровень сети, включающий в себя программируемые датчики на основе микроконтроллеров ATmega162 [6] (блоки 3-10 левого столбца на рис.2), которые совместно с ПСАУ и АРМ Д выполняют вычислительные и управляющие действия.

Каждый из 15 ЭПВ (рис. 1 и 2) одновременно является парой исполнительных механизмов, открывающих или закрывающих вентиль, и парой датчиков, сигнализирующих о состоянии вентиля. Таким образом, изображенная на рис. 3 АСУ ТП имеет на входе 38 датчиков (блоки 3-10-единичные, 11-25-двойные, фон темный) и 30 исполнительных механизмов 15 ЭПВ (блоки 26-41, фон прозрачный).

Программируемые датчики (блоки 3-10), АРМ Д и ПСАУ (блоки 1,2) в своем составе имеют микросхемы RS485, в их программном обеспечении предусмотрена возможность обмена данными друг с другом по одноименному протоколу в on-line режиме [7].

Вышеописанные функции АСУ ТП ОГП реализованы на основе разработанного устройства, структурная схема которой представлена на рис. 3. Данные от датчиков ЭПВ поступают на ПСАУ по общему информационному кабелю, а управляющие воздействия от ПСАУ- на исполнительные механизмы ЭПВ по силовому (управляющему) кабелю.

Блок-схема технического обеспечения ПСАУ ТП очистки газопровода приведена на рис. 3. В целях исключения гальванической связи между внешними и внутренними цепями входные сигналы от датчиков ЭПВ поступают на блоки Д11-Д18 (микросхемы АОТ154), каждый из которых состоит из 4 пар оптронов [8], и далее через блоки Д1-Д5 (8-входные мультиплексоры 1533КП15 [9]) – на входы микроконтроллера ATmega162.

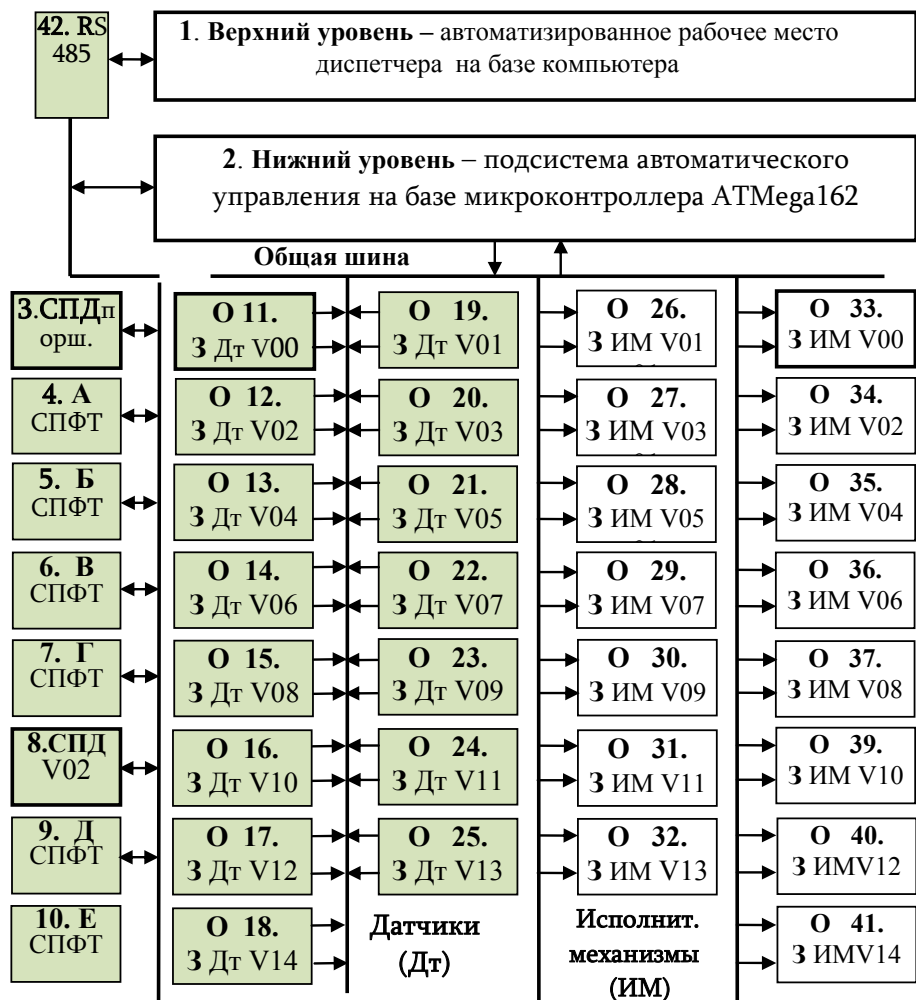


Рис.2. Двухуровневая функциональная схема АСУ ТП очистки газопровода

Микроконтроллер ПСАУ вырабатывает управляющие воздействия, и посредством дешифраторов 1533 ИД12 [9] (блоки Д6-Д9), реле (1-30) [10] и управляющего кабеля в каждый момент времени на один из 30 входов ЭПВ подается напряжение + 24 В.

В составе ПСАУ использованы жидкокристаллический индикатор LCDE0816 [11] и его драйвер – микросхема AY0438 [12] (блоки Д10 и ЖКИ) для местного контроля текущего состояния ПСАУ путем высвечивания находящихся в данный момент в активном состоянии номера датчика или исполнительного механизма.

Для надежного восстановления работы микроконтроллера при несанкционированных отключениях электроэнергии используется микросхема MAX707 [13].

Габариты готовой ПСАУ – 300мм * 300мм * 100мм, масса – 5 кг, потребляемая мощность – 100 Вт.

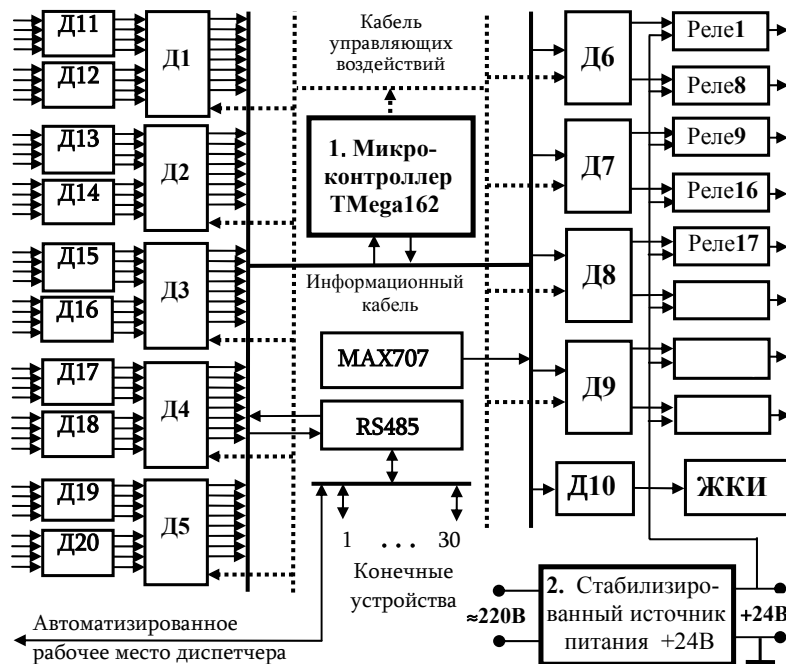


Рис. 3. Блок-схема технического обеспечения ПСАУ ТП очистки газопровода

Программное обеспечение АРМ Д дает возможность диспетчеру получать полную информацию о ходе процесса очистки и с некоторыми ограничениями, исключая отрицательное воздействие “человеческого фактора”, управлять им в диалоговом режиме с помощью меню, подменю и опций (рис. 4).

Меню для диспетчера открывается заставкой “Магистральный газопровод Иран-Армения, пульт управления”, при нажатии на которую открывается подменю первого уровня – режимы демонстрационный, рабочий и контроля.

Демонстрационный режим показывает на мнемосхеме в динамическом режиме имитацию очистки газовой магистрали согласно регламенту очистки в одном из пяти указанных в подменю второго уровня очистных комплексов.

Режим контроля дает возможность диспетчеру произвести контроль работоспособности АСУ ТП в целом и отдельных его устройств путем вызова проверяемого устройства и соответствующей системы тестов.

В рабочем режиме так же, как и в демонстрационном, диспетчер выбирает в подменю второго уровня комплекс очистки (например, “Сисиан”) нажатием на эту кнопку, после чего открывается динамическая мнемосхема (рис.1). Диспетчер выбирает номер порта компьютера и режим запуска или приема поршня, после чего начинается процесс очистки внутренней поверхности газопровода. Диспетчер имеет возможность приостановить процесс очистки, нажав на кнопку “Пауза”, при этом ПСАУ запоминает последнюю ситуацию и, после повторного нажатия на кнопку “Пауза”, продолжает процесс с точки останова.

Возврат в меню более высокого уровня возможен с помощью кнопки “Выход”.

Описанные в работе техническое и программное обеспечения двухуровневой АСУ ТП ОГП внедрены во всех пяти комплексах очистки газопровода Иран-Армения, работают в полевых условиях.

Разработанная автоматизированная система управления, по сравнению с существующими аналогами - механическими и электромеханическими контрольно-измерительными приборами и автоматикой, обладает более высокими надежностными показателями, низкой стоимостью и значительно более широкими функциональными возможностями, в частности, позволяет проводить контроль работоспособности АСУ ТП ОГП до начала процесса очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газопровод Ангехакот-Джермук-Ереван. Узел приема и запуска очистных устройств. Проектная документация. Часть КИПиА. Шифр ARG 06-13. Ереван, 2007.
2. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. Дата введения 1986-01-01. ВНИПИтрансгаз, ВНИИгаз, ЮжНИИгазпрогаз. Утверждены приказом Мингазпрома от 29. 10. 1985 года. – 255 с.
3. Справочник проектировщика АСУТП. – М.: Машиностроение, 1983. – 527 с.
4. ГОСТ 24.104-85 ЕССАСУ “Автоматизированные системы управления”. Общие требования: М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. <http://sawell-group.ru/katalog/33-produkciia-stalnaia/146-kamery-zapuska-priema-redstv-ochistki-i-diagnostiki.html>
6. **Евстифеев А.В.** Микроконтроллеры AVR семейства Mega. М., Додэка-21, 2007. 592 с.
7. http://www.movicom.ru/images/stories/documents/usb-rs485_rev1.1.pdf
8. http://www.radioradar.net/hand_book/hand_books/optopara.html
9. <http://www.qrz.ru/reference/kozak/ttl/ttlh00.shtml>
10. <http://www.vniir.ru/evt/nt/01/tech.pdf>
11. http://www.intech-lcd.com/image/LCD_Panel/E0816.pdf
12. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80438a.pdf>
13. <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX705-MAX813L.pdf>

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 20.09.2011.

Ա.Պ. ՇԱՏԱԽՅԱՆ, Պ.Մ. ՇԱՏԱԽՅԱՆ
ՄԱՅՐ ԳԱԶԱՍՈՒՂԻ ՄԱՔՐՈՂ ՀԱՄԱԼԻՐԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ
ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ ԵՐԿՄԱԿԱՐԴԱԿԱՆԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Դիտարկվում են գազամուղի մաքրող համալիրի երկմակարդականի կառավարման համակարգի ստեղծման հարցերը, որի վերին մակարդակը հանդիսանում է կարգավարի ավտոմատացված աշխատանքային տեղը, ստորին մակարդակը՝ տեխնոլոգիական գործընթացն անմիջապես կառավարող ավտոմատ ենթահամակարգը:

Առանցքային բառեր. գազամուղ, մաքրման հանգույց, կարգավար, հիշասխեմա, մենյու:

A.P. SHATAKHYAN, P.M. SHATAKHYAN
SOFTWARE DEVELOPMENT OF TWO-LEVEL AUTOMIZATION
CONTROL SYSTEM BY TECHNOLOGICAL PROCESS OF GAS PIPELINE
CLEANING

The problems of a two-level system that controls pipeline cleaning complex, where the upper level is automated working place, the lowest level is an automatic control subsystem that controls the process of cleaning the pipeline are considered.

Keywords: pipeline, cleaning unit, controller, mnemonic schema, menu.

Э.М. АЙКАЗЯН, М.З. ПОГОСЯН, Ю.М. СТАКЯН

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К КУСОЧНО-ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Рассматривается метод моделирования биомедицинских сигналов с применением интерполяционных кусочно-линейных полиномов степени $n=11$, соответствующих форме кривой электрокардиограммы (ЭКГ). Составлено уравнение полинома и представлен математический аппарат для подсчета его коэффициентов. Проведена классификация погрешностей моделирования и выполнена расчетная оценка этих погрешностей.

Ключевые слова: биомедицинский сигнал, электрокардиограмма, интерполяционный полином, погрешности моделирования.

Цифровая обработка сигналов связана с задачей приближенного восстановления функций $F(t)$, заданных в табличной форме. Эффективность алгоритмов цифровой обработки сигнала зависит от правильного выбора способа интерполяции, алгоритмы которой различны. Среди них широкое распространение получили методы аппроксимации многочленами (интерполяционные формулы Ньютона, Лагранжа и др.) [1], однако возможности их применения ограничены. Это связано с тем, что с увеличением числа узлов интерполяции, во-первых, возникают вычислительные сложности и происходит быстрое накопление погрешностей округления, а во-вторых, последовательность интерполяционных многочленов для некоторых классов функций расходится.

В настоящее время при решении задач вычислительной математики и моделировании сложных медико-биологических процессов широко применяются методы интерполяции сплайнами [2]. Трудности, связанные с алгоритмами интерполяции, удается преодолеть путем специального выбора узлов интерполяции, учитывая свойства сигнала. При этом вместо построения интерполяционного многочлена высокой степени используют интерполяцию кусочными многочленами низких степеней.

Медико-биологические сигналы обладают непрерывностью и периодичностью. Учитывая эти два свойства и результаты, полученные в теории вещественных функций, можно утверждать, что количество узлов, образованных пересечением оси абсциссы t с функцией сигнала $F(t)$, должно быть четным. При построении интерполирующей функции надо учитывать узлы с их кратностью, где сигнал получает нулевые значения.

Электрокардиограмма, представленная в [3] с узлами, в табличном виде имеет вид: $(\tilde{t}_0, 0), (\tilde{t}_1, h_1), (\tilde{t}_2, 0), (\tilde{t}_3, 0), (\tilde{t}_4, -h_2), (\tilde{t}_5, h_3), (\tilde{t}_6, -h_4), (\tilde{t}_7, 0), (\tilde{t}_8, 0), (\tilde{t}_9, h_5), (\tilde{t}_{10}, 0), (\tilde{t}_{11}, 0)$ (см. рис.).

Сердечный цикл T определяется как разность абсцисс смежных глобальных максимумов, а для представления стандартных ЭКГ: $T = \tilde{t}_{11} - \tilde{t}_0$. Указанным условиям может удовлетворять полином 11-й степени, который определен в точках $\hat{t} = \{\tilde{t}_5, \tilde{t}_6, \tilde{t}_7, \tilde{t}_8, \tilde{t}_9, \tilde{t}_{10}, \tilde{t}_{11}, \tilde{t}_1 + T, \tilde{t}_2 + T, \tilde{t}_3 + T, \tilde{t}_4 + T, \tilde{t}_5 + T\}$ и принимает следующие значения: $\hat{y} = \{h_3, -h_4, 0, 0, h_5, 0, 0, h_1, 0, 0, -h_2, h_3\}$.

За начало отсчета взята глобальная максимальная точка – зубец R, которая соответствует принятым стандартным представлениям ЭКГ. Такой подход дает возможность более простыми полиномами интерполировать биомедицинские сигналы.

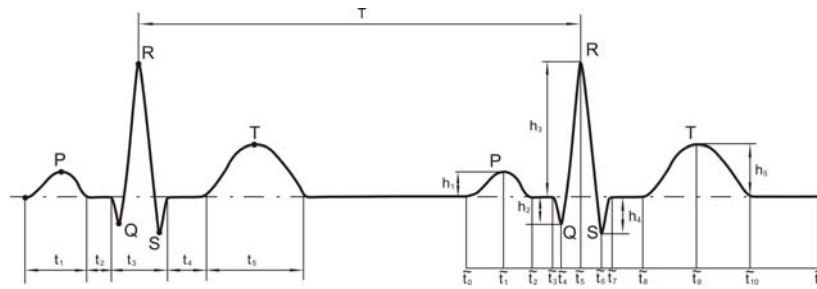


Рис. ЭКГ здорового человека (отведение I)

Учитывая узлы, где полином принимает нулевые значения, его можно представить в следующем виде:

$$P_{11}(t) = (t - \tilde{t}_7)(t - \tilde{t}_8)(t - \tilde{t}_{10})(t - \tilde{t}_{11})(t - \tilde{t}_2 - T)(t - \tilde{t}_3 - T)(a_6 t^5 + a_5 t^4 + a_4 t^3 + a_3 t^2 + a_2 t + a_1). \quad (1)$$

Обозначим: $Q(t) = (t - \tilde{t}_7)(t - \tilde{t}_8)(t - \tilde{t}_{10})(t - \tilde{t}_{11})(t - \tilde{t}_2 - T)(t - \tilde{t}_3 - T)$.

Коэффициенты $a_6, a_5, a_4, a_3, a_2, a_1$ определяются из следующей системы линейных уравнений:

$$\begin{cases}
a_6 \tilde{t}_5^5 & +a_5 \tilde{t}_5^4 & +a_4 \tilde{t}_5^3 & +a_3 \tilde{t}_5^2 & +a_2 \tilde{t}_5 & +a_1 = h_3 / Q(\tilde{t}_5), \\
a_6 \tilde{t}_6^5 & +a_5 \tilde{t}_6^4 & +a_4 \tilde{t}_6^3 & +a_3 \tilde{t}_6^2 & +a_2 \tilde{t}_6 & +a_1 = h_4 / Q(\tilde{t}_6), \\
a_6 \tilde{t}_9^5 & +a_5 \tilde{t}_9^4 & +a_4 \tilde{t}_9^3 & +a_3 \tilde{t}_9^2 & +a_2 \tilde{t}_9 & +a_1 = h_5 / Q(\tilde{t}_9), \\
a_6 (\tilde{t}_1 + T)^5 & +a_5 (\tilde{t}_1 + T)^4 & +a_4 (\tilde{t}_1 + T)^3 & +a_3 (\tilde{t}_1 + T)^2 & +a_2 (\tilde{t}_1 + T) & +a_1 = h_1 / Q(\tilde{t}_1 + T), \\
a_6 (\tilde{t}_4 + T)^5 & +a_5 (\tilde{t}_4 + T)^4 & +a_4 (\tilde{t}_4 + T)^3 & +a_3 (\tilde{t}_4 + T)^2 & +a_2 (\tilde{t}_4 + T) & +a_1 = h_2 / Q(\tilde{t}_4 + T), \\
a_6 (\tilde{t}_5 + T)^5 & +a_5 (\tilde{t}_5 + T)^4 & +a_4 (\tilde{t}_5 + T)^3 & +a_3 (\tilde{t}_5 + T)^2 & +a_2 (\tilde{t}_5 + T) & +a_1 = h_3 / Q(\tilde{t}_5 + T).
\end{cases} \quad (2)$$

Обозначим через A главную матрицу системы уравнений (2), а через B_j – матрицу A , j -й столбец которой заменен свободными коэффициентами системы уравнений (в частности, матрица (4) представляет B_1).

Детерминант $\det(A) \neq 0$, так как имеет место $0 < \tilde{t}_5 < \tilde{t}_6 < \tilde{t}_9 < \tilde{t}_1 + T < \tilde{t}_4 + T < \tilde{t}_5 + T$. Используя метод Гаусса [1], можно получить коэффициенты a_j ($j=1,2,\dots,6$).

$$A = \begin{pmatrix} \tilde{t}_5^5 & \tilde{t}_5^4 & \tilde{t}_5^3 & \tilde{t}_5^2 & \tilde{t}_5 & 1 \\ \tilde{t}_6^5 & \tilde{t}_6^4 & \tilde{t}_6^3 & \tilde{t}_6^2 & \tilde{t}_6 & 1 \\ \tilde{t}_9^5 & \tilde{t}_9^4 & \tilde{t}_9^3 & \tilde{t}_9^2 & \tilde{t}_9 & 1 \\ (\tilde{t}_1 + T)^5 & (\tilde{t}_1 + T)^4 & (\tilde{t}_1 + T)^3 & (\tilde{t}_1 + T)^2 & (\tilde{t}_1 + T) & 1 \\ (\tilde{t}_4 + T)^5 & (\tilde{t}_4 + T)^4 & (\tilde{t}_4 + T)^3 & (\tilde{t}_4 + T)^2 & (\tilde{t}_4 + T) & 1 \\ (\tilde{t}_5 + T)^5 & (\tilde{t}_5 + T)^4 & (\tilde{t}_5 + T)^3 & (\tilde{t}_5 + T)^2 & (\tilde{t}_5 + T) & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$B_1 = \begin{pmatrix} +h_3 / Q(\tilde{t}_5) & \tilde{t}_5^4 & \tilde{t}_5^3 & \tilde{t}_5^2 & \tilde{t}_5 & 1 \\ -h_4 / Q(\tilde{t}_6) & \tilde{t}_6^4 & \tilde{t}_6^3 & \tilde{t}_6^2 & \tilde{t}_6 & 1 \\ +h_5 / Q(\tilde{t}_9) & \tilde{t}_9^4 & \tilde{t}_9^3 & \tilde{t}_9^2 & \tilde{t}_9 & 1 \\ +h_1 / Q(\tilde{t}_1 + T) & (\tilde{t}_1 + T)^4 & (\tilde{t}_1 + T)^3 & (\tilde{t}_1 + T)^2 & (\tilde{t}_1 + T) & 1 \\ -h_2 / Q(\tilde{t}_4 + T) & (\tilde{t}_4 + T)^4 & (\tilde{t}_4 + T)^3 & (\tilde{t}_4 + T)^2 & (\tilde{t}_4 + T) & 1 \\ +h_3 / Q(\tilde{t}_5 + T) & (\tilde{t}_5 + T)^4 & (\tilde{t}_5 + T)^3 & (\tilde{t}_5 + T)^2 & (\tilde{t}_5 + T) & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В процессах интерполяционного представления и соответствующих вычислений возникают следующие типы погрешностей:

- 1) погрешность метода;
- 2) неустранимая погрешность;
- 3) погрешность округления.

1. В предположении достаточной гладкости функции $F(t)$ имеют место оценки

$$\left| F(t) - P_{11}(t) \right| \leq \frac{M}{12!} \left| (t - \tilde{t}_0)(t - \tilde{t}_1)L(t - \tilde{t}_{11}) \right|, \quad (5)$$

где $M = \sup_{[\tilde{t}_5, \tilde{t}_5 + T]} |F^{(12)}(t)|$.

Выражение (5) может служить граничной оценкой $F(t)$ от $P_{11}(t)$ при наличии производной [1].

2. При изучении неустранимой погрешности будем предполагать, что значения оценкой $F(\tilde{t}_j)$ приближенные, а значения $\tilde{t}_j$ точные.

Среди алгебраических многочленов не выше 11-й степени существует единственный интерполяционный многочлен $\phi(t)$, который может быть записан в форме

$$\phi(t) = \sum_{j=0}^{11} F(\tilde{t}_j) \phi_j(t), \quad (6)$$

где $\phi_j(t)$ – многочлен степени 11, удовлетворяющий условиям

$$\phi_j(t_i) = \begin{cases} 0 & \text{при } i \neq j, \\ 1 & \text{при } i = j. \end{cases}$$

Формулу полинома представим в виде

$$P_{(11)}(t) = \sum_{j=0}^{11} F(\tilde{t}_j) \phi_j(t). \quad (7)$$

Тогда абсолютная погрешность будет

$$\alpha_p = \sum_{j=0}^{11} \phi_j(t) \alpha_{F(\tilde{t}_j)}, \quad (8)$$

а предельная абсолютная погрешность –

$$A_p = \sum_{j=0}^{11} \left| \phi_j(t) \right| A_{F(\tilde{t}_j)}. \quad (9)$$

Пусть все значения функции $F(t)$ известны с одинаковой точностью, и предельная абсолютная погрешность каждого из них равна $0,5p$ ($0 < p \leq 1$). Тогда предельная абсолютная погрешность будет равна $6p$.

Анализ величин предельной абсолютной погрешности показывает, что неустранимая погрешность интерполяционной формулы при изменениях на отрезке $[0, T]$ сравнительно невелика. Она возрастает при увеличении количества узлов интерполяции, но в нашем случае этого не происходит.

3. Ошибки округления целиком определяются программой вычисления и средой программирования. Современные методы вычисления и среды программирования обеспечивают разумные пределы точности округления.

Введем в рассмотрение функцию

$$E_{11}(t) = \begin{cases} P_{11}(t+T), & t \in [\tilde{t}_0, \tilde{t}_5], \\ P_{11}(t), & t \in [\tilde{t}_5, \tilde{t}_{10}], \\ 0, & t \in [\tilde{t}_{10}, \tilde{t}_{11}]. \end{cases} \quad (10)$$

Тем самым получим искомое представление ЭКГ, состоящее из трех частей. Кусочно-полиномиальная функция $E_{11}(t)$ в узлах $(\tilde{t}_0, 0)$, $(\tilde{t}_1, h_1)$, $(\tilde{t}_2, 0)$, $(\tilde{t}_3, 0)$, $(\tilde{t}_4, -h_2)$, $(\tilde{t}_5, h_3)$, $(\tilde{t}_6, -h_4)$, $(\tilde{t}_7, 0)$, $(\tilde{t}_8, 0)$, $(\tilde{t}_9, h_5)$, $(\tilde{t}_{10}, 0)$, $(\tilde{t}_{11}, 0)$ совпадает с заданной табличной функцией $F(t)$, однако она будет отлична от нее в остальных точках.

Предложенный метод позволяет интерполировать биомедицинские сигналы, и только в точке R не обеспечивается непрерывность производной первого порядка. Для тех периодических сигналов, у которых несколько точек, где нет необходимости иметь непрерывную производную первого порядка, можно использовать предложенный метод, раздробляя область определения на интервалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Հակոբյան ՅՎ. Թվային մեթոդներ. մաս 1.-Երևան: Հանրագիտարան “Արմենիկա”, 2003. – 222 էջ:
2. Стакян Ю.М., Айказян Э.М., Погосян М.З., Фатян Р.Э. Автоматизация расчетных процедур в биомедицинских исследованиях //Изв. НАН РА и ГИУА(П). Сер. ТН.-2009.- Т.62, № 3. – С. 344-350.
3. Стакян Ю.М., Айказян Э.М., Погосян М.З., Фатян Р.Э. Об одном подходе к распознаванию электрокардиограмм //Вест. Инж. акад. Армении (ВИАА).-2009.- Т.6, № 4.– С. 601-615.

ЕФ РГУТиС. Материал поступил в редакцию 28.06.2011.

Է.Մ. ՀԱՅԿԱԶՅԱՆ, Մ.Զ. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Յու.Մ. ՍՏԱԿՅԱՆ
ԿԵՆՍԱԲԺՇԿԱԿԱՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԿՏՈՐ ԱՌ ԿՏՈՐ ԲԱԶՄԱՆԴԱՄԱՅԻՆ
ՄԻԶԱՐԿՄԱՆ ՄԻ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Դիտարկվում է կենսաբժշկական ազդանշանների մոդելավորման մեթոդ՝ կիրառելով $n=11$ աստիճանի միջարկային կտոր առ կտոր բազմանդամներ, որոնք համապատասխանում են էլեկտրասրտագրի կորի ձևին: Կազմված է բազմանդամի հավասարումը, և տրված է մաթապարատ՝ նրա գործակիցների հաշվարկի համար: Կատարված է մոդելավորման սխալանքների դասակարգում, և տրված է այդ սխալանքների հաշվարկային գնահատականը:

Առանցքային բառեր. կենսաբժշկական ազդանշաններ, էլեկտրասրտագիր, միջարկային բազմանդամ, մոդելավորման սխալանք:

E.M. HAYKAZYAN, M.Z. POGHOSYAN, Yu.M. STAKYAN
ON ONE APPROACH TO PIECE-POLYNOMIAL INTERPOLATION OF
MEDICAL-BIOLOGICAL SIGNALS

The method of simulating biomedical signals using interpolation piece-linear polynomials of n -II degree corresponding to the curve form electrocardiogram (ECG) is discussed. The polynomial equation is programmed and the mathematical apparatus for counting its coefficients is presented. The classification of simulation errors is preformed and the planned estimation of these errors is performed.

Keywords: biomedical signal, electrocardiogram, interpolation, polynomial, simulateion error.

Э.П. АЩЯНЦ

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОГО НАПОРА И ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ
НА НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В НАПОРНЫХ
ТРУБОПРОВОДАХ И ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ**

Исследуется влияние на нестационарный процесс некоторых слагаемых, входящих в систему дифференциальных уравнений гидравлического удара и Сен-Венана.

Ключевые слова: система уравнений, напорный водовод, открытое русло, скоростной напор, вынуждающая сила.

При практических расчетах нестационарных процессов, возникающих в напорных водоводах, используется система дифференциальных уравнений, которая для одномерной модели в случае горизонтального водовода имеет вид [1- 3]

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + gv^2 + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $v(x, t)$ – средняя скорость течения жидкости; $h(x, t)$ – напор в водоводе; g – коэффициент гидравлических сопротивлений; a – скорость распространения волны гидравлического удара; g – ускорение силы тяжести.

При интегрировании системы (1) используются различные методы (аналитические, графо-аналитические, численные). Наибольшее распространение имеет метод характеристик [2]. В систему (1) входят нелинейные слагаемые: $v \frac{\partial v}{\partial x}$ – скоростной напор; gv^2 – слагаемое, учитывающее влияние гидравлических сопротивлений, и член $v \frac{\partial h}{\partial x}$, которые создают значительные трудности при интегрировании этой системы аналитическими методами. Для устранения этих трудностей при решении практических задач рекомендуется слагаемое gv^2 линеаризировать [1], а слагаемыми $v \frac{\partial v}{\partial x}$ и $v \frac{\partial h}{\partial x}$ пренебречь [3] ввиду их незначительного влияния на нестационарный процесс. При этом не устанавливается степень допускаемой погрешности.

С учетом современного уровня исследований нестационарных процессов с

такими утверждениями нельзя согласиться, в особенности, когда речь идет о пренебрежении влиянием скоростного напора. Конечно, существует множество задач, в которых влиянием этого слагаемого без существенной погрешности можно пренебречь. Однако в общем случае этого утверждать нельзя.

Целью настоящей работы является установление степени влияния слагаемых $v \frac{\partial v}{\partial x}$ и $v \frac{\partial h}{\partial x}$ на параметры рассматриваемых нестационарных процессов.

Поэтому не учитывается влияние слагаемого gv^2 .

Для оценки степени влияния в уравнении движения системы (1) скоростного напора это слагаемое линеаризуется и представляется в виде $2\kappa v$, где $2\kappa = \frac{\partial v}{\partial x}$.

Слагаемое $v \frac{\partial h}{\partial x}$, входящее в уравнение неразрывности системы (1), видоизменяется с учетом того, что при прямом гидравлическом ударе $\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{a}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$. В

этом случае выражение $v \frac{\partial h}{\partial x}$ можно представить в виде $v \frac{a}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = v \frac{a}{g} 2\kappa$.

В результате указанных преобразований система (1) примет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} + 2\kappa v + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + 2\kappa \frac{a}{g} v + \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Дифференцируя первое уравнение системы (2) по “t”, а второе уравнение - по “x”, получим

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + 2\kappa \frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial t} = 0, \\ \frac{a}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + 4\kappa^2 \frac{a}{g} + \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial t} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Умножая второе уравнение системы (3) на “g”, из этой системы исключаем напор $h(x,t)$. В результате для $v(x,t)$ получим дифференциальное уравнение вида

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + 2\kappa \frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + 4\kappa^2 a. \quad (4)$$

Уравнение (4) описывает вынужденные колебания жидкости в среде с сопротивлением под действием постоянной вынуждающей силы. Роль сопротивлений

выполняет скоростной напор $v \frac{\partial v}{\partial x}$, а роль вынуждающей силы - слагаемое $v \frac{\partial h}{\partial x}$. Из (4) также видно, что при неучете влияния слагаемого $v \frac{\partial v}{\partial x}$ нестационарный процесс становится незатухающим.

Значение коэффициента “к” зависит от характера переходного процесса. Например, в работе [4] показано, что при упругом гидравлическом ударе этот коэффициент имеет величину порядка $V_0 / 2\ell$, где V_0 – скорость стационарного течения жидкости, ℓ – длина водовода. При “жестком” гидравлическом ударе, где влияние скоростного напора учитывается без искажения [5], значение этого коэффициента в два раза больше. В [4] также отмечается, что при неучете влияния скоростного напора общее решение задачи разгона жидкости в трубопроводе невозможно.

Что касается последнего слагаемого в уравнении (4), то действительно, в напорных водоводах влияние его на нестационарный процесс несущественно. Например, при интегрировании уравнения (4) методом Фурье получим зависимость для скорости $v(x,t)$, в которой влияние слагаемого $4k^2 a$ выражается рядом вида

$$\frac{16k^2 \ell^2}{a\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^3} \sin \frac{n\pi x}{\ell}. \quad (5)$$

Максимальное значение ряда (5) получим при $x = \ell/2$. При этом $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^3} \sin \frac{n\pi}{2} = \frac{\pi^3}{32}$, и, следовательно, максимальное значение (5) будет равно $V_0^2 / 8a$.

Рассмотрим теперь нестационарный процесс в открытом призматическом русле при незначительном колебании уровня свободной поверхности жидкости относительно статического уровня, отвечающего глубине h_0 .

Для русла прямоугольного поперечного сечения система дифференциальных уравнений Сен-Венана [3, 6] имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial x} + h_0 \frac{\partial v}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Для оценки степени влияния на нестационарный процесс слагаемого $v \frac{\partial h}{\partial x}$, входящего в систему (6), исходим из следующих соображений. При незна-

чительном колебании уровня свободной поверхности жидкости относительно статического уровня h_0 значение $\frac{\partial h}{\partial x}$ можно принять равным $0,1 \frac{h_0}{\ell_1}$ и отношение

$\frac{\partial h}{\partial x}$ представить в виде $\frac{0,1h_0}{\ell_1} = \kappa_1$ где ℓ_1 - длина русла. В этом случае систему (6) можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} + 2\kappa v + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \kappa_1 v + h_0 \frac{\partial v}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Исключая из (7) напор для скорости $V(x, t)$, получим дифференциальное уравнение вида

$$\frac{\partial v}{\partial t^2} + 2\kappa \frac{\partial v}{\partial t} = gh_0 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + 2\kappa\kappa_1 g, \quad (8)$$

где $gh_0 = c^2$. Из этого равенства получим $c = \sqrt{gh_0}$, где C называется скоростью перемещения гравитационной волны малой амплитуды в неподвижной жидкости.

Если принять, что $A = 2\kappa\kappa_1 g$, то для рассматриваемого случая выражение (5) будет иметь вид

$$\frac{4A\ell_1^2}{c^2\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^3} \sin(2n-1) \frac{\pi x}{\ell}. \quad (9)$$

Максимальное значение суммы (9) равно $\frac{A\ell_1^2}{8c^2}$. Подставив значение

$A = 2\kappa\kappa_1 g$ и $c = \sqrt{gh_0}$, получим $\frac{A\ell_1^2}{8c^2} = 0,025V_0$.

Таким образом, можно утверждать, что в открытых руслах влияние слагаемого $v \frac{\partial h}{\partial x}$, входящего в уравнение неразрывности системы (6), значительно существеннее, чем в напорных водоводах.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Исследования системы дифференциальных уравнений гидравлического удара и Сен-Венана показывают, что нестационарные процессы, возникающие в напорных водоводах и открытых призматических руслах, в случае идеальной жидкости являются затухающими. При этом роль сил сопротивления выполняет конвективный член $v \frac{\partial v}{\partial x}$.

2. При решении некоторых задач неучет влияния скоростного напора при исследовании нестационарного процесса может привести к грубым ошибкам.
3. Дана оценка степени влияния слагаемого $v \frac{\partial h}{\partial x}$, входящего в уравнение неразрывности системы уравнений гидравлического удара и Сен-Венана. Установлено, что при нестационарных процессах в открытых призматических руслах его влияние значительно сильнее, чем в напорных водоводах, где его влиянием можно пренебречь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чарный И.А.** Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М.: Наука, 1975. – 286 с.
2. **Фокс Д.А.** Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубах. – М.: Энергия, 1981. – 271 с.
3. **Гиргидов А.Д.** Механика жидкости и газа (Гидравлика). –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 545 с.
4. **Ашиянц Э.П.** Общее аналитическое решение задачи разгона жидкости в трубопроводе // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2007. – Т.60, N 4. – С. 728-731.
5. **Алтышуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П.** Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
6. **Чугаев Р.Р.** Гидравлика. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 528 с.

ЕГУАС. Материал поступил в редакцию 13.10. 2011.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՏԱՐՆԵՐԻ ԵՎ ԲԱՑ ՀՈՒՆԵՐՈՒՄ ԱՌԱՋԱՅՈՂ ՈՉ ՍՏԱՅԻՆԱՐ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱՐԱԳԱՅԻՆ ՃՆՇՄԱՆ ԵՎ ՀԵՂՈՒԿԻ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Հետազոտվում է հիդրավիլիկական հարվածի և Սեն-Վենանի դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի մեջ մտնող որոշ անդամների ազդեցության աստիճանը ոչ ստացիոնար գործընթացների վրա, որոնք առաջանում են ճնշումային ջրատարներում և բաց պրիզմատիկ ուղղանկյան կտրվածքով հունի մեջ:

Առանցքային բառեր. հավասարումների համակարգ, ճնշումային ջրատար, բաց հուն, արագության էջը, ստիպող ուժ:

E.P. ASHCHYANTS

INFLUENCE EVALUATION OF VELOCITY HEAD AND LIQUID DENSITY ON NON-STATIONARY PROCESSES ARISING IN HEAD CONDUITS AND OPEN CHANNELS

The influence on the non-stationary process of some summands entering the differential equation system of hydrological hammer and Saint-Venant is studied.

Keywords: equation system, head conduit, open channel, velocity head, driving force.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲՈՆԻՍԹԱՆ Ք.Ռ., ՊՈՂՈՍՅԱՆ Ա.Կ., ՍՏԱԿՅԱՆ Մ.Գ., ՍԱՐՈՅԱՆ Վ.Վ. ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՀԱՎԵԼԱՆՑՈՒԹԵՐՈՎ ՔՄԱՅՈՒՂԵՐԻ ՇՓԱԳԻՏԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՄԱՆ ՀԱՇՎԵԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴ.....	3
ԱՂԲԱԼՅԱՆ Մ.Գ., ՍԱՖԱՐՅԱՆ Տ.Ն., ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ Ա.Վ. ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀՐԱՄՈՒՐ ՓՈՇԵՀԱՄԱՋՈՒԼՎԱԾՔԻ ՍՈՂՔԻ ԵՎ ԵՐԿԱՐԱԺԱՄԿԵՏ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ.....	14
ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ Ա. Ի., ՄԱՍՅԱՆ Մ. Գ., ՓԱՓԱՋՅԱՆ Ա. Հ. ԳՈՐԾԻՔԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ՆԱԽԱԿԱՆ ՇՓԱՄՇԱԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ԱՄՐԱՅՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ.....	24
ՄԵԼԻՔՄԵԹՅԱՆ Ա.Ն. ԼՎԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՎ ՀԱԳՈՒՍՏԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ.....	32
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ԱՅՎԱՋՅԱՆ Ա.Ա. ՔՐՈՄԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԵՎ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՔՐՈՄԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ.....	38
ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ՇԱՄՍՅԱՆ Ե.Ռ. ԶԷԿ-ԵՐԻ ԿՈՆԴԵՆՍԱՅԻՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐՈՒՄ ՀՈՎԱՅՆՈՂ ԶՐԻ ԼԱՎԱՐԿԱՅԻՆ ԾԱԽՍԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ՝ ԿԱԽՎԱԾ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐՈՒՄ ՆՍՏՎԱԾՔԱՅԻՆ ՇԵՐՏԻ ՀԱՍՏՈՒԹՅՈՒՆԻՑ.....	48
ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Ս. ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ԿՈԳԵՆԵՐԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԵՎ ՓՈՔՐ ՈՒ ՄԻՋԻՆ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՄԲ ԷՆԵՐԳԱՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ.....	57
ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Հ.Պ., ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ Ա.Ա., ԲԱԲՅԱՆ Է.Հ., ԱՍԼԱՅԱՆ Ն.Խ. ՎԻՃԱԿԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՄԲ ՌԵԳԻՍՏՐԱՆԵՐԻ ԻՆՔՆԱՊԱՀՊԱՆՄԱՆ/ՎԵՐԱԿԱՆԳՄԱՆ ԼԱՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄ.....	65
ՍԱՆՈՅԱՆ Ա.Ա., ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ռ.Հ., ԴՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ. ՄԱՐԴԿԱՆՑ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՄԵԾ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ՍԵՅՄՄԻԿ ՄՈԴՈՒԼ.....	76
ԹԵՐՉՅԱՆ Հ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Ա.Է. ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԵՌԱԶՈՓ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՔԱՌԱՆԻՍՏ ՑԱՆՑԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՍՈՏԵՑՈՒՄ՝ ԲԱԶՄԱՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ.....	83
ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ա.Գ., ԱՎԻՆՅԱՆ Վ.Ռ. ԲԱԶՄԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՐԻՑՆԵՐԻ ՀԱԿԱՐԱՐՋՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ՝ ՀԻՄՆՎԱԾ ՄԻՄՊԼԵՔՍ-ԶԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ԲԱԶՄԱԶՈՓ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ԶԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ.....	94
ՇԱՏԱԽՅԱՆ Ա.Պ., ՇԱՏԱԽՅԱՆ Պ.Ս. ՄԱՅՐ ԳԱԶՄՈՒՂԻ ՄԱՔՐՈՂ ՀԱՄԱԼԻՐԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԵՐԿՄԱԿԱՐԴԱԿԱՆԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ՀԱՅԿԱՋՅԱՆ Է.Ս., ՊՈՂՈՍՅԱՆ Մ.Զ., ՍՏԱԿՅԱՆ ՅԱՆՍ. ԿԵՆՄԱԲԺՇԿԱԿԱՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԿՏՈՐ ԱՌ ԿՏՈՐ ԲԱԶՄԱՆԴԱՄԱՅԻՆ ՄԻՋԱՐԿՄԱՆ ՄԻ ՍՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ.....	100 108
ԱՇՉԻՑԱՆՑ Է.Պ. ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՏԱՐՆԵՐԻ ԵՎ ԲԱՅ ՀՈՒՆԵՐՈՒՄ ԱՌԱՋԱՑՈՂ ՈՉ ՍՏԱՑԻՈՆԱՐ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱՐԱԳԱՅԻՆ ՃՆՇՄԱՆ ԵՎ ՀԵՂՈՒԿԻ ԽՏՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ.....	114

СОДЕРЖАНИЕ

БОНИАТЯН К.Р., ПОГОСЯН А.К., СТАКЯН М.Г., САРОЯН В.В. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СМАЗОК С ОРГАНИЧЕСКИМИ ПРИСАДКАМИ.....	3
АГБАЛАН С.Г., САФАРЯН Т.Н., АНДРИАСЯН А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ И ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ.....	14
САГРАДЯН А.И., МАМЯН С.Г., ПАПАЗЯН А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ ПРИРАБОТКИ ТРЕНИЕМ	24
МЕЛИКСЕТАН А.Н. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТИРКИ НА СВОЙСТВА ОДЕЖДЫ С МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ	32
МАРТИРОСЯН В.А., АЙВАЗЯН А.А. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ХРОМА....	38
МАРУХЯН В.З., ШАМАМЯН Е.Р. РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ В КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ НА ТЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ НАКИПИ В КОНДЕНСАТОРАХ	48
ОГАНЕСЯН Л.С. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТЕЙ	57
МЕЛИКЯН В.Ш., ПЕТРОСЯН Г. П., ДУРГАРЯН А.А., БАБАЯН Э.Г., АСЛАНЯН Н.Х. МЕХАНИЗМ УЛУЧШЕНИЯ САМОСОХРАНЕНИЯ/ВОССТАНОВЛЕНИЯ УДЕРЖИВАЮЩИХ РЕГИСТРОВ	65
САНОЯН А.А., СИМОНЯН Р.Г., ГУЛЯН А.Г. СЕЙСМИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ С ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ ВЕРОЯТНОСТИ.....	76
ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., АКОПЯН А.Э. К ПОСТРОЕНИЮ ТЕТРАЭДРАЛЬНОЙ СЕТКИ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРЕХМЕРНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	83
АВЕТИСЯН А.Г., АВИНЯН В.Р. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБРАТНЫХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ, ОСНОВАННЫЙ НА СИМПЛЕКС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ И МНОГОМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ	94
ШАТАХЯН А.П., ШАТАХЯН П.М. РАЗРАБОТКА ДВУХУРОВНЕВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ГАЗОПРОВОДА	100
АЙКАЗЯН Э.М., ПОГОСЯН М.З., СТАКЯН Ю.М. ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К КУСОЧНО-ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	108
АЩИЯНЦ Э.П. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОГО НАПОРА И ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ НА НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ И ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ	114

CONTENTS

BONIATIAN CH.R., POGOSIAN A.K., STAKYAN M.G., SAROYAN W.V. COUNTABLE GRAPHICAL METHOD OF TRIBOLOGICAL PARAMETER OPTIMIZATION BY ORGANIC ADDITIVE LUBRICANTS.....	3
AGHBALYAN S.G., SAFARYAN T.N., ANDRIASYAN A.V. RESEARCH ON CREEPING AND GREEP-RUPTURE STRENGTH OF HEAT- RESISTANT ALUMINIUM POWDER ALLOYS.....	14
SAHRADYAN A.I., MAMYAN S.G., PAPAZYAN A.H. INVESTIGATION OF TOOL CONTACT SURFACE LAYER-REINFORCING BY THE METHOD OF FRICTION BURNISHING	24
MELIKSETYAN A.N. THE INFLUENCE OF WASHING TECHNOLOGY ON THE QUALITY OF CLOTHES WITH MULTILAYER CONSTRUCTIONS	32
MARTIROSYAN V.H., AYVAZYAN A.A. STUDYING OF CHROMITE SUPERCONCENTRATE ALUMINOTHERMAL REDUCTION PROCESSES AND OBTAINING OF METALLIC CHROMIUM	38
MARUKHYAN V.Z., SHAMAMYAN YE.R. AN ANALYTIC METHOD DEVELOPMENT FOR DEFINING THE OPTIMAL CONSUMPTION OF COOLING WATER IN TPP CONDENSERS AGAINST THE THICKNESS OF SCALE FORMATION IN CONDENSERS	48
HOVHANNESYAN L.S. ANALYSIS OF CONTEMPORARY COHERENT TECHNOLOGIES AND POWER PLANTS WITH SMALL AND AVERAGE CAPACITIES	57
MELIKYAN V.SH., PETROSYAN H.P., DURGARYAN A.M., BABAYAN E.H., ASLANYAN N.KH. RETENTION FLOP BOOSTING MECHANISM FOR SELF SAVE/RESTORE CAPABILITY	65
SANOYAN A.A., SIMONYAN R.H., GHULYAN A.G. SEISMIC SYSTEM WITH ENHANCED DEGREE OF PROBABILITY OF HUMAN DETECTION	76
TERZYAN H.A., SUKIASYAN H.S., HAKOBYAN A.E. TO THE CONSTRUCTION OF TETRAHEDRICAL MESH ON MULTI-PROCESSOR SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF 3-DIMENSIONAL ELECTRO-MAGNETIC FIELD BY THE FINITE-ELEMENT METHOD	83
AVETISYAN A.G., AVINYAN V.R. A METHOD FOR DEFINITION OF MULTI-PARAMETRICAL INVERSE MATRICES BASED ON SIMPLEX TRANSFORMATIONS AND MULTIDIMENSIONAL DIFFERENTIAL TRANSFORMS	94
SHATAKHYAN A.P., SHATAKHYAN P.M. SOFTWARE DEVELOPMENT OF TWO-LEVEL AUTOMIZATION CONTROL SYSTEM BY TECHNOLOGICAL PROCESS OF GAS PIPELINE CLEANING	100
HAYKAZYAN E.M., POGHOSYAN M.Z., STAKYAN Yu.M. ON ONE APPROACH TO PIECE-POLYNOMIAL INTERPOLATION OF MEDICAL-BIOLOGICAL SIGNALS	108
ASHCHINYANTS E.P. INFLUENCE EVALUATION OF VELOCITY HEAD AND LIQUID DENSITY ON NON- STATIONARY PROCESSES ARISING IN HEAD CONDUITS AND OPEN CHANNELS	114