

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

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱՏՈՅԱՆ,
Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ա.Խ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐԴԻՆՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՄԱՐԳՍՅԱՆ,
Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա.Թ. ՔՈՒՉՈՒԿՅԱՆ

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, А.Х. ГРИГОРЯН, Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН,
А.Т. КУЧУКЯН, В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН,
В.С. САФАРЯН, С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (editor-in-chief), H.A. TERZYAN (vice-editor-in-chief),
Z.K. STEPANYAN (executive secretary), S.G. AGHBALYAN,
R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, Zh.D. DAVIDYAN,
S.P. DAVTYAN, S.M. GHAZARYAN, A.Kh. GRIGORYAN, A.T. KUCHUKYAN,
V.Z. MARUKHYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN, V.A. SAFARYAN,
S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Վ.Գ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Ռ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ,
Ս.Գ. ԲՈՅԱԶՅԱՆ

**ԴԻՍԿԵՐՍ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐՈՎ ԱՍՐԱՑՎՈՂ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐՈՇ ԵՎ
ԴՐԱՆՑ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Տեսական վերլուծությամբ և փորձնական եղանակով ցույց է տրված, որ դիսկերս մասնիկներով ամրացվող (դիսկերս-կարծրացող) կոմպոզիցիոն նյութերն օժտված են բարձր ամրությամբ, կարծրությամբ և սողքի փոքր արագությամբ, որն արդյունք է դիսկերս մասնիկներով դիսկլակցիաների ազատ սահքի արգելակման:

Առաջադիմ բառեր. համաձուլվածք, կոմպոզիցիոն նյութ, դիսկերս մասնիկներ, դիսկլակցիա, ամրություն, կարծրություն, սողք:

Ներածություն: 21-րդ դարում տեխնիկական առաջընթացն անհնար է պատկերացնել առանց նոր նյութերի ստեղծման, որոնք կարող են աշխատել արտակարգ պայմաններում՝ ջերմաստիճանային լայն միջակայքում, քիմիապես ագրեսիվ միջավայրերում, ստատիկ ու դինամիկ բեռնվածությունների տակ և այլն: Բարձր տեսակարար ամրությամբ, ջերմակայունությամբ, հրամրությամբ, պլաստիկությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման բնագավառում ուշագրավ են հատկապես մետաղական հիմքով և դիսկերս մասնիկներով ամրացված (դիսկերս-կարծրացող) կոմպոզիցիոն նյութերը, որոնցում դիսկերս մասնիկների չափերը տատանվում են 10...100 նմ, իսկ ծավալային պարունակությունը՝ 1...15 ծավ. % [1,2]: Կոմպոզիցիոն նյութերը բնութագրվում են ամրացման գործակցով, որը կոմպոզիցիոն նյութի և մայրակի հոսունության սահմանների հարաբերությունն է (σ_{hk}/σ_{hd}):

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Դիսկերս մասնիկներով ամրացվող (դիսկերս-կարծրացող) նյութերում, այդ թվում՝ նաև փոշեկոմպոզիցիոն նյութերում, մայրակն իր վրա է կրում հիմնական բեռնվածությունը: Դիսկերս մասնիկներն արգելակում են մետաղական մայրակում դիսկլակցիաների շարժմանը: Մայրակի ամրացման աստիճանը համեմատական է այն դիմադրությանը, որ ցուցաբերում են մասնիկները դիսկլակցիաների շարժմանը [3,4]: Հիմնական փոփոխականները, որոնցից կախված է ամրացման արդյունավետությունը, հանդիսանում են մայրակում մասնիկների միջև եղած L միջին ազատ ճանապարհը և նրանց միջև գոյություն ունեցող միջակայքը՝ D : Այս մեծությունները կապված են մասնիկների տրամագծից (d) և նրանց ծավալային կոնցենտրացիայից (V_d) հետևյալ հարաբերակցությամբ՝

$$L = (2d/3V_d)(1-3V_d), \quad (1)$$

$$D_h = (2d^2/3V_\delta)^{1/2} (1 - V_\delta): \quad (2)$$

Դիսպերս մասնիկների միջով դիսոլկացիայի անցման համար կիրառված լարումը պետք է լինի բավարար և հնարավորություն տա դիսոլկացիային ծովելու և վերափոխվելու կիսակլոր օղակի: Դիսոլկացիայի ծոման կորության նվազագույն շառավիղը՝ ըստ π ներքին լարումների դաշտի ազդեցության, արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$R = G_d b / 2\tau_i, \quad (3)$$

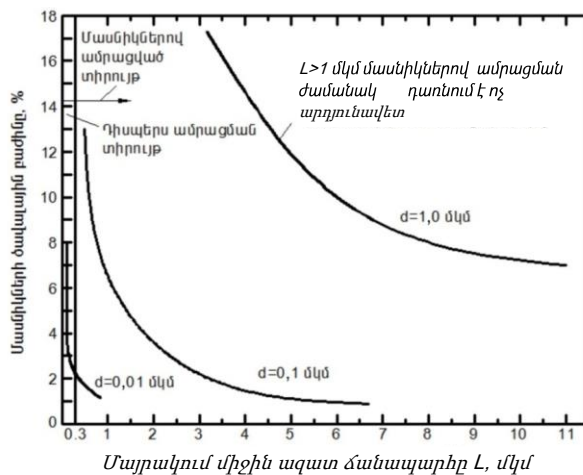
որտեղ G_d -ը մայրակի սահքի մոդուլն է, իսկ b -ն՝ Բյուրգերսի վեկտորը: Համապատասխանաբար, եթե մասնիկների միջև հեռավորությունը հավասար է D_h , ապա մասնիկի շուրջը դիսոլկացիայի կորացման համար անհրաժեշտ լարումը կլինի.

$$\tau_i = G_d b / D_h, \quad (4)$$

քանի որ

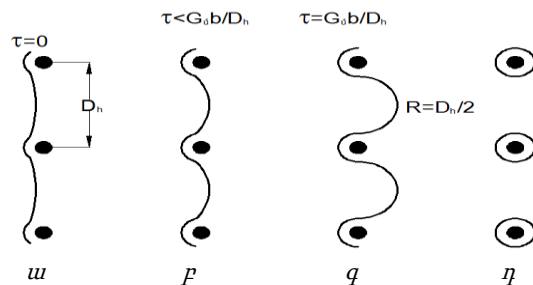
$$2R = D_h: \quad (5)$$

Եթե լարման մեծությունը բավարար է $R = D_h/2$ կորության շառավիղով դիսոլկացիայի ծոման համար, ապա դիսոլկացիայի հանգույցն ընդարձակվում է ինքնաբերաբար՝ արդեն առանց լարման մեծացման: Մասնիկների միջև վերին և ներքին սահմանների միջակայքը կարելի է գնահատումով որոշել՝ վերցնելով որպես ներքին լարման սահման, որն անհրաժեշտ է մասնիկի շուրջը հանգույցի ընդարձակման համար, մաքուր մայրակի հոսունության սահմանը, որը հավասար է $G_d/1000$, իսկ որպես վերին սահման՝ տեսական ամրությունը, որը սահքի ժամանակ հավասար է $G_d/30$: Տեղադրելով այս արժեքները (4) հավասարման մեջ և ընտրելով b Բյուրգերսի վեկտորի մոդուլի մեծությունը հավասար 0,3 նմ, կստանանք, որ արդյունավետ կերպով ամրացման համար մասնիկների միջև հեռավորությունը պետք է լինի 10-ից մինչև 300 նմ սահմաններում: Բայց, եթե հաշվի չառնենք ամրության բարձրացման և սողքի դիմադրության դեպքերը, ապա մշտապես նպատակահարմար է պահպանել մայրակի ավելի շատ հատկություններ, ինչպիսիք են պլաստիկությունը, էլեկտրահաղորդականությունը, ջերմահաղորդականությունը և հարվածային մածուցիկությունը: Այս վերջին սահմանափակումը պահանջում է, որ մասնիկների ծավալային կոնցենտրացիան պահպանվի ցածր մակարդակի վրա: (1) հավասարումը 0,01, 0,1 և 1,0 մկմ չափերով մասնիկների համար գրաֆիկորեն բերված է նկ. 1-ում: Ինչպես երևում է գրաֆիկից, որպեսզի պահպանենք մայրակում միջին ազատ ճանապարհի մեծությունը 0,01 մինչև 0,3 մկմ մասնիկների ծավալային բաժնի մինչև 15 տոկոսի սահմաններում, ապա մասնիկների տրամագիծը չպետք է գերազանցի 0,1 մկմ: Այս պարամետրերը դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերում պետք է պահպանել հետևյալ սահմաններում՝ $L = 0,3$ մինչև $0,01$ մկմ, $D_h = 0,3$ մինչև $0,01$ մկմ, $V_\delta = 0,01$ մինչև $0,15$, $d = 0,1$ մկմ փոքր:



Նկ. 1. Երեք տարբեր չափերի դիսպերս մասնիկներով ամրացված կոմպոզիցիոն նյութի դիսպերս մասնիկների ծավալային չափաբաժնի կապը մայրակուլում միջին ազատ տարածության հետ

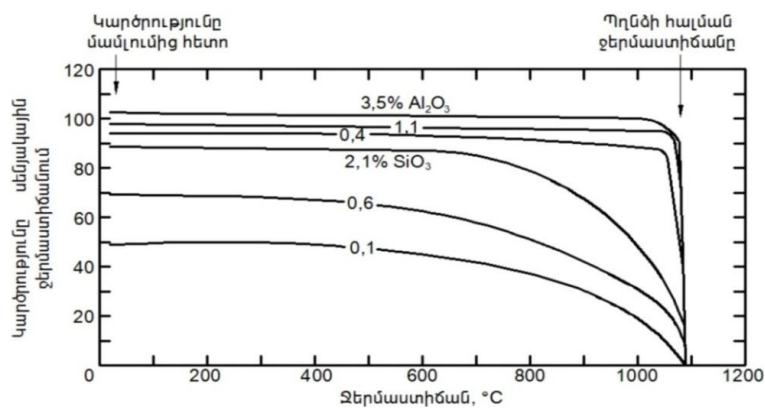
Նկ. 2-ում ցույց են տրված լարման ազդեցության ներքո դիսլոկացիայի կորացման հաջորդական փուլերը: Կիրառված լարման բարձրացման ժամանակ $\tau=0$ մինչև $\tau=G_0 b/D_h$ (ա...գ փուլ), դիսլոկացիան աստիճանաբար կորանում է ավելի շատ, մինչև (գ) փուլում մասնիկների միջև եղած տարածությամբ շարժվելու հնարավորության առաջացումը՝ առանց լրացուցիչ լարման բարձրացման: Քանի որ դիսլոկացիայի ծոման R շառավիղը չի կարելի հասցնել մինչև 0, հետևաբար՝ նրա անցումից հետո դիսպերս մասնիկների շուրջը մնում են դիսլոկացիոն օղակներ (դ փուլ): Այս օղակները զգալի չափով նվազեցնում են մասնիկների միջև D_h հեռավորությունը: Դրա համար մասնիկների միջև հաջորդ դիսլոկացիոն օղակների անցումը պահանջում է արդեն ավելի մեծ լարումներ (4): Լարման լրացուցիչ բարձրացումը, որը պահանջվում է մասնիկների միջև հաջորդ դիսլոկացիաների անցման համար, բացատրվում է դիսպերս-ամրացվող նյութերի դեֆորմացիոն ամրացման բարձր աստիճանով:



Նկ. 2. Դիսպերս մասնիկների ցանցի միջև դիսլոկացիաների անցման փուլերի (ա - դ) հաջորդականությունը

Մակայն դիսպերս-ամրացվող նյութերի գլխավոր առավելությունը ոչ թե հոսունության ամրության բարձրացումը կամ համաձուլվածքի մայրակի դեֆորմացիոն ամրացումն է սենյակային ջերմաստիճաններում, այլ բարձրացված հոսունության սահմանի և նրան նպաստող առավել բարձր սողքի դիմադրության պահպանումը լայն ջերմաստիճանային միջակայքում՝ մինչև մայրակի հալման ջերմաստիճանի 80%-ը:

Դիսպերս մասնիկներով ամրացման արդյունավետությունը կախված չէ ջերմաստիճանի բարձրացումից, մինչդեռ դիսպերս-կարծրացող համաձուլվածքների ամրությունը փոքրանում է բարձր ջերմաստիճաններում՝ գերծերացման հետևանքով: Այդպիսի կոմպոզիցիաներն ամրացվում են օքսիդների, կարբիդների, բորիդների և այլ մասնիկներով, որոնք չեն լուծվում մայրակում և նրա հետ չեն գտնվում կոհերենտ կապի մեջ: Նկ. 3-ից երևում է, թե որքան լավ է պահպանված $Cu - SiO_2$ և $Cu - Al_2O_3$ դիսպերս-ամրացված կոմպոզիցիաների կարծրությունը ջերմաստիճանային լայն տիրույթում:



Նկ. 3. Դիսպերս-ամրացվող $Cu-SiO_2$ և $Cu-Al_2O_3$ համակարգի կոմպոզիցիաների կարծրության կախվածությունը թրժման ջերմաստիճանից (մասնիկների պարունակությունը ցույց է տրված ծավալային տոկոսներով)

Հետազոտության արդյունքները: Դիսպերսացիայի տեսությունը դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութի սողքի արագության բացահայտման և հաշվման գլխավոր միջոցն է: Այդպիսի կոմպոզիցիաների սողքի արագության նվազեցումը, համեմատած մայրակի կամ նույնիսկ սովորական համաձուլվածքների հետ, դիսպերս-ամրացվող նյութերի ամենահնարավոր հետազոտման արդյունք է: Եվ քանի որ գոյություն ունեն մի շարք հավասարումներ, որոնք բնութագրում են սողքի արագությունը, այստեղ կսահմանափակվենք դրանցից երկուսի արտածումով, որպեսզի արտապատկերենք՝ ինչպես է դա կատարվում:

Մինչև G/bD^2 մեծության լարման դեպքում, որն անհրաժեշտ է դիսպերսացիայի կորացման համար և որն առաջանում է երկու բլոկավորված մասնիկների միջև, սողքը որոշվում է այդ մասնիկների միջև դիսպերսացիաների վերասողքով, որովհետև

ըստ մեխանիզմի լարումը բավարար չէ դիսլոկացիայի այդպիսի կորացման համար, ինչը բերված է նկ. 2-ում:

Ցածր ջերմաստիճաններում և մինչև Gb/D_h լարման դեպքում սողք չի առաջանում, քանի որ դիսլոկացիայի ծոման համար լարումը բավարար չէ, իսկ դիֆուզիոն վերասողքի համար ցածր է ջերմաստիճանը: Սողքի արագությունը հավասար է դեֆորմացված միավոր ծավալում դիսլոկացիայի գործող աղբյուրների խտության, որոնք առաջացնում են դիսլոկացիա՝ ծռումով մինչև կրիտիկական շառավիղը, և մեկ աղբյուրով դիսլոկացիոն հանգույցների առաջացման արագության արտադրյալին: Հետևաբար՝

$$\varepsilon = (M\pi D h^2 / 8) b R, \quad (6)$$

որտեղ R -ը մեկ աղբյուրով դիսլոկացիոն հանգույցների առաջացման արագությունն է, իսկ M -ը՝ գործող աղբյուրների խտությունը: Աղբյուրից դիսլոկացիայի հանգույցի առաջացման արագությունը հավասար է դիսլոկացիայի վերասողքի արագության հարաբերությանը մասնիկների տրամագծին, այսինքն՝

$$R = V/d: \quad (7)$$

Դիսպերս մասնիկի տրամագիծը (d) այն հեռավորությունն է, որի վրայով պետք է սողք կատարի դիսլոկացիան, որպեսզի անցնի այդ մասնիկը: Հանգույցի R -ի առաջացման արագությունը չի կարող բարձր լինել V/d հարաբերությունից, քանի որ այն կհանգեցնի դիսլոկացիայի կուտակման և հանգույցի դիսպերս մասնիկների պարունակման և ոչ թե սողքի: Որպեսզի խանգարվի դիսլոկացիայի հանգույցի ընդարձակումը, պահանջվում է դիսլոկացիայի 3 աղբյուր: Հետևաբար՝ D_h տրամագիծ ունեցող մասնիկների ծավալը d -ի մեծացմամբ պետք է պարունակի մոտավորապես 3 դիսլոկացիոն աղբյուր: Այսինքն՝

$$M\pi D h^2 d / 4 = 3, \quad (8)$$

$$D_h = (12/\pi M d)^{1/2}: \quad (9)$$

Վերասողքի ամենամեծ արագությունը, որը դեռևս թույլ է տալիս վականսիայի կոնցենտրացիայի հավասարակշռում դիսլոկացիոն հանգույցի անմիջական մոտեցման դեպքում, հաշվարկված է եղել Վեքսլերի [5] կողմից հետևյալ տեսքով՝

$$V = V_{max} = \sigma b^2 D / K T, \quad (10)$$

որտեղ D -ն ինքնադիֆուզիայի գործակիցն է, σ -ն՝ կիրառված լարումը, T -ն՝ ջերմաստիճանը, K -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը: (6)-ի մեջ տեղադրելով (7), (9) և (10) հավասարումները, կստանանք սողքի արագության համար հետևյալ հավասարումը՝

$$\varepsilon = 1,5 \sigma b^3 D / d^2 K T, \quad (11)$$

որը ճիշտ է մինչև $t = Gb/D_h$ լարման մեծության համար: $Al-Al_2O_3$ համակարգի դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիայի համար սողքի արագությունը հաստատուն ջերմաս-

տիճանի դեպքում համեմատական է կիրառված լարմանը, որը համընկնում է ստացված հավասարմանը:

G_0b/D_h հարաբերությունը գերազանցող լարման դեպքում դիսլոկացիաները կտրանում են դիսպերս մասնիկների շուրջը և անցնում են նրանց միջով՝ թողնելով սահքի D_h հարթություններում փակ օղակներ, ինչպես դա ցույց է տված նկ. 2-ում: Այդ պայմաններում սողքի արագությունը որոշվում է այդպիսի օղակներում մնացած դիսլոկացիաների վերասողքի արագությամբ:

Դիսլոկացիաների թիվը, որոնք կուտակվում են D_h երկարությամբ տեղամասում, հավասար է.

$$n = \sigma D_h / G_0 b \quad (12)$$

Նման կերպով մնացած դիսլոկացիոն հանգույցը պետք է վերասողք կատարի հետևյալ հեռավորության վրա՝

$$L = G_0 b / \sigma n = G_0^2 b^2 / \sigma^2 D_h \quad (13)$$

Վերասողքի արագությունը մնում է այնպիսին, ինչպիսին (10) հավասարման մեջ, բայց այստեղ լարումը պետք է այնպիսին լինի, որ ազդի զլխամասի կորացման դիսլոկացիայի վրա, այսինքն՝ $n\sigma$: Արդյունքում կստացվի.

$$v = n \sigma b^2 D / KT = \sigma^2 D_h b D / G_0 KT \quad (14)$$

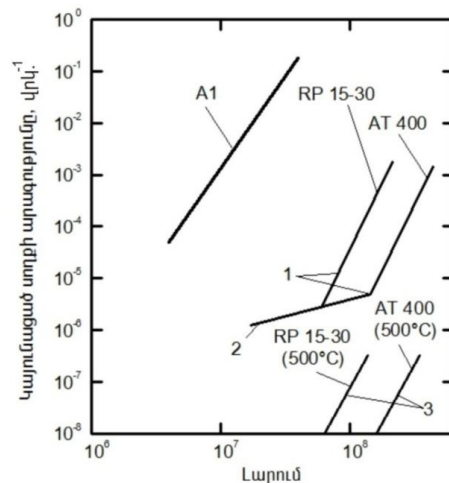
Դիսլոկացիայի առաջացման արագությունը հավասար է վերասողքի արագության և ճանապարհի երկարության հարաբերությանը՝ ծածկված վերասողքի հանգույցով, այսինքն՝ $R = v/L$, այստեղից՝

$$R = D_h^2 D \sigma^4 / G_0^3 b KT \quad (15)$$

Տեղադրելով (9) և (14) հավասարումները (6)-ի մեջ, կստանանք.

$$\mathcal{E} = \frac{\pi D_h^2 D \sigma^4}{2 G_0^3 K T d} \quad (16)$$

հետևաբար, սողքի արագությունը համեմատական է լարման մեծության 4-րդ աստիճանին: Այս հավասարումը ճիշտ է մինչև $n\sigma b^3/KT$ մեծությամբ լարման դեպքում: Նկ. 4-ում ցույց է տրված, թե ինչպես է այս կախվածությունը պահպանվում $Al-Al_2O_3$ համակարգի մի քանի դիսպերս-ամրացվող կոմպոզիցիոն նյութերի դեպքում:



Նկ. 4. AT400 և RP15-0 ($Al-Al_2O_3$ համակարգի համաձուլվածքներ) վերաբյուրեղացած համաձուլվածքների կայունացված սողքի արագության փոփոխությունը $500^\circ C$ -ում և բարձր մաքրությամբ Al -ի համար՝ $483^\circ C$ -ում, կախված կիրառված լարումից (զծերը համապատասխանում են AT400 և RP15-30 համաձուլվածքների կայունացված սողքին, որը որոշվում է ըստ (16) հավասարման). 1-բարձր լարումների դեպքում տեսական կախվածությունը $500^\circ C$ -ում, 2-ցածր լարումների դեպքում տեսական կախվածությունը $500^\circ C$ -ում, 3-ըստ փորձարկված տվյալների

Եզրակացություն: Ելնելով վերը նշվածից, փոշեմետալուրգիայի եղանակով կարելի է ստանալ ֆունկցիոնալ հատկություններով փոշեհամաձուլվածքներ, ինչպիսիք են, օրինակ, պղնձի հիմքով կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդները, ալյումինի և պղնձի հիմքով հակաշփական համաձուլվածքները և այլն, որոնք ամրացվում են մեծ դիսպերսայնությամբ, և հալման բարձր ջերմաստիճան ունեցող օքսիդներով կամ կարծր մասնիկներով, որոնց չափերը չեն գերազանցում 100 նմ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
2. **Современные композиционные материалы / Под ред. И.Л. Светлова.- М.: Мир, 1970.- 672 с.**
3. **Աղբալյան Ս.Գ.** Բյուրեղագրություն և մետաղների բյուրեղային ցանցի արատները.- Երևան, 2005.- 190 էջ:
4. **Новиков И.И.** Дефекты кристаллического строения металлов.- М.: Металлургия, 1983.- 232 с.
5. **Wecrfwman J.** // Apple. Phys.- 1957.- 28.-P.1185.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.09.2014:

**С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, В.Г. ВАРДАНЯН, А.Р. САРГСЯН,
С.Г. БОЯДЖЯН**

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ДИСПЕРСНЫМИ
ЧАСТИЦАМИ, И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ**

Теоретическим анализом и экспериментальным методом показано, что композиционные материалы, упрочненные дисперсными частицами (дисперсно-твердеющие), обладают высокими прочностью, твердостью и низкой скоростью ползучести, что является результатом торможения свободных сдвигов дислокации.

Ключевые слова: сплав, композиционный материал, дисперсные частицы, дислокация, прочность, твердость, ползучесть.

**S.G. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN, V.G. VARDANYAN, A.R. SARGSYAN,
S.G. BOYAJYAN**

**COMPOSITE MATERIALS HARDENED BY DISPERSE PARTICLES AND THE
TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF THEIR GENERATION**

By theoretical analysis and an experimental method it is shown that composite materials hardened by disperse particles (dispersion-hardening) possess high durability, solidity and low creep rate being the result of dislocation free glide breaking.

Keywords: alloy, composite material, disperse particles, dislocation, durability, solidity, creep.

**М.В. МАРТИРОСЯН, Ж.М. АРСТАМЯН, А.О. АРАКЕЛЯН,
АЛЛА С. АГБАЛЯН**

УТИЛИЗАЦИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Описывается способ получения нитрата аммония, сернокислого кальция и оксида железа (III) в виде товарных продуктов посредством утилизации техногенной серной кислоты, полученной при металлургической переработке отработавших свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Сравнительный химический анализ синтезированных продуктов со стандартными показывает пригодность полученных материалов: селитры (в качестве удобрения), медицинского гипса, а также сырья для порошковой металлургии.

Ключевые слова: серная кислота, утилизация, нитрат аммония, медицинский гипс, оксид железа (III).

Введение. Неуклонный рост количества автомобильно-тракторных транспортных средств во всем мире привел к увеличению потребности металлического свинца для производства свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, предназначенных для запуска двигателей внутреннего сгорания автомобиля или трактора [1,2]. В условиях дефицита первичного свинца, связанного с обеднением свинецсодержащих минералов в существующих и эксплуатируемых рудах, а также с проблемами экономического и экологического характера при открытии новых месторождений, в последние десятилетия успешно развивается производство вторичного свинца с получением металлического свинца, в основном, металлургической переработкой свинецсодержащего сырья. В общем балансе производства вторичного свинца наибольшую часть в качестве сырья составляет лом из отработанных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, которые подвергаются металлургической переработке, в основном, без разделки батареи со сжиганием органической массы и без слива электролита, представляющего собой слабый раствор серной кислоты. Другая схема переработки аккумуляторного лома предусматривает предварительную разделку батарей с получением полупродуктов, подлежащих дальнейшему переделу [1,3].

Одним из основных продуктов разделки отработанных аккумуляторов является электролит, содержание которого составляет 30...33% (вес.) от батареи. При централизованном сборе аккумуляторов, их перевозке или долгом хранении на складах происходит утечка электролита в окружающую среду, причиняя ей значительный ущерб. Обычно электролит нейтрализуют известняком (CaCO_3) с последующим получением используемого в строительстве гипса или содой

(Na_2CO_3) с получением кристаллического сульфата натрия (Na_2SO_4).

Отработанный электролит после регенерации можно использовать для заправки в новые батареи. Однако при эксплуатации аккумулятора в нем накапливаются примеси в виде железа (в основном), меди и др., которые сильно снижают рабочие характеристики батареи. Технологические схемы очистки электролита от железа достаточно сложны (например, экстракционная очистка), требуют дорогостоящего оборудования, различных химических реагентов и т.п. [4]. Поэтому многие организации, занимающиеся сбором и переработкой отработанных аккумуляторов, часто вывозят электролит на различные свалки или сливают в бассейны, нанося непоправимый ущерб окружающей среде [5].

Отработанный электролит может служить подходящим полуфабрикатом для получения продукции сельскохозяйственного значения. Так, при нейтрализации отработанного электролита (серной кислоты) карбонатом аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) можно получить сульфат аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), имеющий на рынке низкую цену, и использовать его в качестве удобрения. Однако при многолетнем применении сернокислый аммоний вызывает подкисление почвы, поэтому его использование на территории Армении нецелесообразно, так как в Араратской котловине преобладают бедные гумусом бурые почвы, солончаки и почвы, богатые гипсом и известью [6]. Для почв Армении наиболее целесообразны азотные удобрения, для этого нами был выбран путь утилизации отработанного электролита с получением селитры - нитрата аммония.

Целью настоящей работы является нахождение путей безотходной утилизации серной кислоты из отработанных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей для получения удобрений в виде селитры - нитрата аммония, наиболее подходящего к почвам Армении.

Экспериментальная часть. В качестве исходного раствора была использована отработанная серная кислота. Применялись следующие реактивы и растворы:

1. Отработавшая серная кислота, которую фильтровали, после чего измеряли плотность прозрачного раствора, определяли массовую долю (в %) по справочным данным [7].

2. Азотная кислота, плотность $1,4 \text{ г/см}^3$ и разбавленная 1:3.

3. Серная кислота, плотность $1,84 \text{ г/см}^3$, разбавленная 1:4 и 2 н раствор.

4. Оксид кальция.

5. Карбонат аммония.

6. Нитрат кальция - готовили из жженой извести. Навеску CaO переносили в стакан объемом 500 мл, последний погружали в посуду с холодной водой и нейтрализовывали сначала водой, затем - азотной кислотой.

7. Растворы этилендиаминотетрауксусной кислоты (ЭДТА) 0,02 н и 0,1 н. 0,1 н раствора готовили из фиксаля, 0,02 н раствора получали разбавлением исходного 0,1 н раствора водой или готовили растворением 18,613 г ЭДТА в

500...700 мл воды и доводили объем до 1 л. Мутный раствор фильтровали. Титр раствора устанавливали по 0,1 н раствору нитрата кальция.

8. Гидроксид натрия 0,1 и 0,5 н растворов. Титр раствора устанавливали по 0,1 н раствору щавелевой кислоты (0,1 н раствора щавелевой кислоты готовили из фиксанала).

9. Формалин 5%, нейтрализованный по фенолфталеину.

10. Фенолфталеин - 0,1% спиртовой раствор.

11. Метиловый оранжевый - 0,1% раствор.

12. Метиловый красный - 0,2% спиртовой раствор.

13. Эриохром черный Т - 0,1 г индикатора и 2,0 г NaCl растирали в фарфоровой ступке до образования однородной массы.

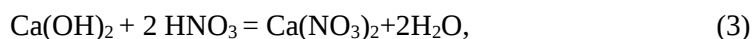
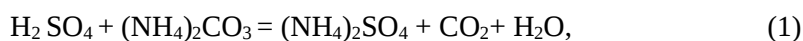
14. Буферный раствор с pH 10,5 готовили растворением 67 г NH_4Cl в 200 мл воды в мерной колбе емкостью 1,0 л. К раствору добавляли 570 мл 25% раствора аммиака. Объем раствора доводили водой до метки и перемешивали.

15. BaCl_2 - 5% раствор.

Методика работы. Нейтрализацию серной кислоты проводили углекислым аммонием ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$). При наличии железа в кислоте образуется желтая муть. Для осаждения гидроксида железа (III) к раствору добавляли 3 г NH_4Cl , нагревали его при 70...80°C, после чего добавляли гидроксид аммония. Раствор фильтровали, осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ промывали 2%-ым горячим раствором NH_4Cl , затем осадок с фильтром переносили в фарфоровый тигель и прокаливали при температуре 850...900°C, в результате чего образовывался оксид железа (III).

К фильтрату добавляли нитрат кальция. Образовавшийся сульфат кальция с раствором оставляли на ночь и на следующий день фильтровали. Осадок сульфата кальция сушили на воздухе, а раствор нитрата аммония выпаривали на электрической плите досуха.

Опыты и расчеты проводились на основании следующих реакций:



Количество серной кислоты было рассчитано с учетом получения 100 г конечного продукта NH_4NO_3 . Нейтрализацию серной кислоты проводили карбонатом аммония в сухом виде (1). Поскольку процесс нейтрализации протекал очень бурно, поэтому стакан с реакционной смесью заранее помещали в баню с холодной водой. Нейтрализацию проводили медленно, и нагретую воду часто меняли холодной водой. Процедуру продолжали до прекращения реакции.

Для получения нитрата аммония из сульфата аммония использовали водную суспензию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которую получали гашением жженой извести (CaO) водой (2). Процесс проводили в холодной бане. Затем добавляли азотную кислоту в таком количестве, чтобы обеспечить приблизительно стехиометрическую концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по уравнению реакции (3). Полученную суспензию добавляли 800...1000 мл водой, интенсивно перемешивали и оставляли на ночь.

Декантацией отделяли раствор нитрата кальция и приливали к раствору $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. При этом выделялись нитрат аммония NH_4NO_3 и осадок гипса (4). Реакционную смесь перемешивали 10...15 мин и оставляли на ночь.

На следующий день раствор фильтровали декантацией плотным фильтром (синяя лента). Фильтрат выпаривали в фарфоровой чашке на медленном огне досуха, в результате которого образовывались кристаллы NH_4NO_3 белого цвета.

Полученный осадок CaSO_4 несколько раз промывали водой для удаления нитрата и других ионов и высушивали на воздухе (промывные воды вылить).

Таким образом, в результате обработки отработанной серной кислоты получают нитрат аммония (NH_4NO_3), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и оксид трехвалентного железа (Fe_2O_3).

Анализ на пригодность готового продукта - нитрата аммония в качестве азотного удобрения - можно было проводить исходя из требований ГОСТ 2-2013. Однако этот стандарт распространяется на нитрат аммония, полученный нейтрализацией азотной кислоты газообразным аммиаком. Очевидно, что химический состав такого конечного продукта (важное значение имеет также содержание добавок и примесей) будет отличаться от NH_4NO_3 , полученного нами из отходов серной кислоты. Поэтому для оценки качества NH_4NO_3 , полученного из отходов серной кислоты, необходимо разработать новую методику определения содержания готовой продукции и элементный состав в нем.

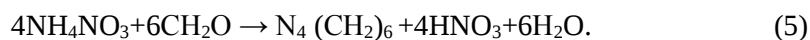
Как известно, качество азотных удобрений оценивается по содержанию в них азотсодержащих соединений в пересчете на азот и влагу, а также некоторых добавок и примесей [8]. Согласно этому стандарту, в NH_4NO_3 требуется не менее 34% азота в аммиачной и нитратной формах и 0,3% влаги. Концентрация нитрата аммония в плаве после упарки должна составлять 97...98,5%.

Нами был проведен анализ готовых продуктов - нитрата аммония и гипса.

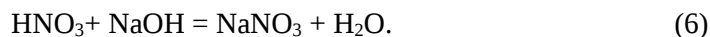
Анализ нитрата аммония

В применяемой аммиачной селитре в качестве азотного удобрения азот находится одновременно в аммиачной и нитратной формах.

Определение нитрата аммония формальдегидным методом [9]. Нитрат аммония взаимодействует с формальдегидом по реакции



Выделившуюся азотную кислоту оттитровывают раствором гидроксида натрия в присутствии индикатора фенолфталеина:



Ход анализа. Навеску (0,5...1 г) нитрата аммония переносят в мерную колбу емкостью 100...200 мл, растворяют в воде, доводят до метки водой и перемешивают. Далее пипеткой берут 5...10 мл раствора, переносят в коническую колбу, добавляют 20 мл воды, 10 мл 5%-го раствора формалина, 8...10 капель индикатора фенолфталеина и титруют 0,5 н раствором NaOH до слабо-розовой окраски.

Расчет содержания нитрата аммония. Содержание NH_4NO_3 в массовых долях в % рассчитывают по формуле

$$\omega = \frac{VTV_1}{V_2g} \cdot 100, \quad (7)$$

где V - объем 0,5 н раствора NaOH, израсходованного на титрование, мл; V – общий объем NH_4NO_3 , мл; V_2 - аликвотная часть раствора для титрования, мл; g – навеска NH_4NO_3 ; T - масса в г/мл NH_4NO_3 , соответствующая на 1 мл точно 0,5н раствора NaOH и определяемая по формуле

$$T = \frac{N\mathcal{E}}{1000}, \quad (8)$$

N - нормальность раствора NaOH; $\mathcal{E}$ - грамм-эквивалент NH_4NO_3 .

Суммарное содержание нитратного и аммиачного азотов в NH_4NO_3 определяют по формулам (7), (8).

Определение влаги в нитрате аммония. Содержание гигроскопической влаги определяют по потере в массе после сушки в определенных условиях.

Ход анализа. Навеску пробы 1...3 г помещают в предварительно высушенный и взвешенный бюкс, закрывают крышкой, взвешивают, переносят в сушильный шкаф, снимают крышку, помещают ее рядом с бюксом и сушат при 100...110 °C до постоянной массы, охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

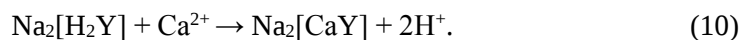
Содержание влаги в нитрате аммония рассчитывают по формуле

$$\% = \frac{(n - m)}{n} \cdot 100, \quad (9)$$

где n - масса пробы до высушивания, г; m - масса пробы после высушивания, г.

Определение содержания кальция в нитрате аммония. В этом случае применяют комплексометрический метод. Метод основан на реакции взаимодействия с двузамещенной натриевой солью ЭДТА или $\text{Na}_2[\text{H}_2\text{Y}]$ с солями кальция, в результате чего образуются хорошо растворимые в воде бесцветные

внутрикомплексные соединения $\text{Na}_2[\text{CaY}]$ по следующей схеме [10]:



Титрование проводят в растворе с pH 7...11 (аммонийный буфер) в присутствии индикатора эриохрома черного Т [10].

Ход анализа. Пипеткой берут 2...5 мл раствора нитрата аммония, добавляют 10 мл воды, 5 мл аммиачной буферной смеси, 15...20 кристаллов смеси индикатора эриохрома черного Т, смешанной с NaCl в соотношении 1:20 (до образования винно-красного раствора), титруют ЭДТА до перехода в синюю окраску.

Содержание кальция в нитрате аммония в массовых долях в % определяют по формуле

$$\omega = \frac{VTV_1}{V_2g} \cdot 100, \quad (11)$$

где V - объем раствора ЭДТА, израсходованного на титрование, мл; Т - масса кальция, соответствующая 1 мл раствора ЭДТА, г; V_1 - общий объем раствора нитрата аммония, мл; V_2 - аликвотная часть раствора, взятая для титрования, мл; g - масса пробы, г.

Определение растворимых сульфат-ионов в нитрате аммония. Основано на осаждении SO_4^{2-} в виде BaSO_4 . Определение проводят гравиметрическим методом.

Ход анализа. Навеску пробы нитрата аммония 0,3 г растворяют в 50 мл воды, добавляют 4...5 капель индикатора метилового оранжевого и 1,0 н раствора соляной кислоты до появления розовой окраски. Раствор нагревают при 70...80 °С, медленно добавляют 10 мл 5%-го горячего раствора хлорида бария и перемешивают.

Как только BaSO_4 осядет на дно стакана, проверяют полноту осаждения. Для этого к прозрачной жидкости осторожно приливают 2...3 капли осадителя и наблюдают, не образуется ли муть? Раствор оставляют на ночь. На следующий день раствор фильтруют плотным фильтром (синяя лента). Осадок промывают дистиллированной водой до удаления ионов хлора (проверяют ионами Ag^+ в стекающей с фильтра жидкости). Осадок с фильтром переносят во взвешенный тигель, обугливают на электрической плите, затем прокаливают в муфельной печи при температуре 800...900 °С до постоянной массы.

Анализ готового продукта в виде гипса

Определение кальция в гипсе. Навеску пробы 0,1 г растворяют в 4...5 мл 10%-го раствора соляной кислоты, добавляют воды до 30 мл объема, пипеткой берут (из этого раствора) 5 мл раствора, добавляют 20 мл воды, 5 мл аммиачной буферной смеси, 15...20 кристаллов индикатора эриохрома черного Т, смешан-

ного с NaCl в соотношении 1:20 (до появления розовой окраски), титруют раствором ЭДТА до перехода раствора в синюю окраску.

Расчет содержания кальция проводили по формуле (11).

Определение сульфат-ионов в гипсе. Навеску пробы гипса в количестве 0,1 г растворяют в 4...5 мл 10 %-го раствора соляной кислоты, добавляют воды до 30 мл. Определение проводят гравиметрическим методом.

Ход определения. Пипеткой берут 10 мл из этого раствора, осаждают SO_4^{2-} в виде BaSO_4 и продолжают анализ, как описано при определении SO_4^{2-} в нитрате аммония.

Результаты химического анализа нитрата аммония как готового продукта, полученного из серной кислоты из отработавших свинцово-кислотных аккумуляторных батарей, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные данные химического анализа стандартного и синтезированного нитратов аммония

Содержание, масс. %	Стандартный NH_4NO_3 (ГОСТ 9-2013)	Синтезированный NH_4NO_3
NH_4NO_3	97...98.5	97...97,38
Азот	≥ 34.0	34,10...34,78
Влага	≤ 0.3	0,18
Ca^{2+}	отсутствует	0,55
SO_4^{2-}	отсутствует	2,19

Из данных табл. 1 следует, что в синтезированном нитрате аммония содержание азота, как основного компонента в селитре, не отличается от количества азота, лимитированного стандартом для NH_4NO_3 . Это означает, что полученный нитрат аммония можно успешно использовать в качестве удобрения, подходящего, особенно, к почвам Армении. Добавки в небольших количествах в виде ионов кальция и SO_4^{2-} , на наш взгляд, будут играть положительную роль, обогащая почву полезными микроэлементами.

В табл. 2 приведены результаты анализа готового продукта в виде гипса.

Таблица 2

Данные химического анализа гипса

Содержание компонентов	Массовая доля, %	Среднее значение, %
Ca^{2+}	23,0; 23,20; 22,8; 23,3; 23,10	23,080
SO_4^{2-}	55,86; 54,87; 55,20; 54,30; 55,0	55,046
H_2O	21,14; 21,93; 22,0; 22,40; 21,90	21,874

На основании усредненных значений массовых долей молярное соотношение $\text{Ca}^{2+} : \text{SO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{O}$ составляет 0,5770 : 0,5734 : 1,2152, т.е. 1,0063 : 1,0 : 2,1193, или 1,0 : 1,0 : 2,0. Исходя из этого, состав гипса можно представить в виде $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Практические испытания показали, что по своему качеству полученный гипс не уступает медицинскому гипсу, выпускаемому по ГОСТу 125-79.

Заключение. Разработан способ утилизации техногенной серной кислоты при пирометаллургической переработке отработанных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. В результате получают готовые продукты товарного вида: нитрат аммония (NH_4NO_3), сернокислый кальций-гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), оксид железа (Fe_2O_3). Проведен химический анализ нитрата аммония и гипса по стандартным условиям. Установлена пригодность синтезированного нитрата аммония в качестве удобрения, богатого азотом. Полученный гипс можно успешно использовать в области медицины или в других целях, а оксид железа (III) - в аналитической практике, а также в порошковой металлургии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета науки при Министерстве образования и науки Республики Армения в рамках проекта 13- 2F046.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Морачевский А.Г.** Актуальные проблемы утилизации лома свинцовых аккумуляторов // Журнал прикладной химии. - 2003. - Т.76, вып. 9. - С.1467-1476.
2. **Башева Т.С.** Определение экологических критериев риска при обращении с сернокислыми отходами аккумуляторных батарей // Проблеми екології. - 2013. - N 1(31). - С.35-41.
3. Металлургия вторичных тяжелых цветных металлов. - М.: Металлургия, 1987. - 528 с.
4. **Lieby R.** The East Penn Process for Recycling Sulfuric Acid from Lead Acid Batteries // Third International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials. -TMS. - 1995. - P.311-319.
5. **Середина В.П., Протопопов Н.Ф.** Влияние разлива серной кислоты на экологические функции почв // Известия Томского политехнического университета. - 2004. - N 5. - С. 58-62.
6. Հայաստանի. - Երևան: Հայաստան, 1969. – 68 էջ:
7. **Лурье Ю.Ю.** Справочник по аналитической химии. - М.: Госхимиздат, 1962. - 290 с.
8. ГОСТ 9-2013. Селитра аммиачная. Технические условия.
9. Технический анализ и контроль в производстве неорганических веществ. - М.: Высшая школа, 1986. - 280 с.
10. **Фритц Дж., Шенк Г.** Количественный анализ. - М.: Мир, 1978. - 557 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 14.09.2014.

Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ժ.Մ. ԱՌՍՏԱՄՅԱՆ, Ա.Հ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ,
ԱԼԼԱ Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ

**ԾՄՄԲԱԿԱՆ ԹԹՎԻ ՕԳՏԱՀԱՆՈՒՄԸ ԲԱՆԵՑՐԱԾ ԿԱՊԱՐԱԹՎԱՅԻՆ
ԱԿՈՒՄՈՒԼՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑՆԵՐԻՑ**

Նկարագրված է բանեցրած կապարաթթվային ակումուլյատորային մարտկոցներից ստացված տեխնածին ծծմբական թթվից ամոնիումի նիտրատի, ծծմբաթթվական կալցիումի և երկաթի (III) օքսիդի՝ որպես ապրանքատեսակների ստացման եղանակ: Մինթեզված նյութերի քիմիական վերլուծության արդյունքների համեմատությունը պետստանդարտների տվյալների հետ ցույց է տալիս ստացված նյութերի պիտանիությունը. ամոնիումի նիտրատը՝ որպես պարարտանյութ, գիպսը՝ բժշկական նպատակների համար, ինչպես նաև հումք՝ փոշեմետալուրգիայի համար:

Առանցքային բառեր. ծծմբական թթու, օգտահանում, ամոնիումի նիտրատ, բժշկական գիպս, երկաթի (III) օքսիդ:

**M.V. MARTIROSYAN, Z.M. ARSTAMYAN, A.H. ARAKELYAN,
ALLA S. AGHBALYAN**

**UTILIZING THE SULPHURIC ACID FROM THE WASTE LEAD-ACID STORAGE
BATTERIES**

A method for producing ammonium nitrate, calcium sulphate and iron (III) oxide in the form of commercial products by utilizing technogenic sulphuric acid obtained at metallurgical processing of the waste lead-acid storage batteries is described. The comparative chemical analysis of the synthesized products with the standard ones shows the suitability of the obtained materials - nitrate (fertilizer), medical plaster, as well as raw materials for powder metallurgy.

Keywords: sulphuric acid, recycling, ammonium nitrate, medical plaster, iron (III) oxide.

Ա.Ա. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Տ.Ս. ԱՂԱՄՅԱՆ

ՔՐՈՍԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆԱԿԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է մետաղի կորզման աստիճանի կախումը տարբեր գործոններից՝ յուրաքանչյուր դեպքում մյուս բաղադրամասերի հաստատուն պարունակության և խտանյութի 120 μ մանրացման պայմաններում: Բոլոր դեպքերում վերականգնման արդյունքում մետաղական ֆազը ներկայացնում է հիմնականում քրոմ՝ այս կամ այն մետաղական խառնուրդներով: Ստացված մետաղական ֆազը ենթարկվել է քիմիական և ռենտգենաֆազ վերլուծությունների:

Առանցքային բառեր. ալյումինաթերմային վերականգնում, քրոմ, բարձրաջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ, մետաղական ֆազ, հարուցիչ:

Ներածություն. Ալյումինաթերմային վերականգնումը բարձրաջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ է (ԲԻՄ), որն ընթանում է շնորհիվ ելանյութ օքսիդների ու վերականգնիչի միջև ընթացող ջերմանջատիչ քիմիական ռեակցիայից անջատված ջերմության և տարածվում է այրման ռեժիմով [1-3]: Շնորհիվ այդ ջերմության՝ գործընթացը կարելի է իրականացնել անվառարան, առանց արտաքինից էներգիայի ծախսի, որը և տեխնոլոգիայի կարևորագույն առավելությունն է: Գործընթացը տեղի է ունենում ելանյութերի բարակ շերտում: Տեղային բարձրաջերմաստիճանային իմպուլս հարուցելուց հետո ռեակցիան, շնորհիվ ջերմահաղորդականության, տարածվում է ամբողջ համակարգով՝ սինթեզված տաք մետաղական զանգվածից դեպի չտաքացած բովախառնուրդը: Ալյումինի բարձր վերականգնիչ հատկությունները, հեշտ սպասարկելի լինելը, համեմատած *Ca*-ի և *Mg*-ի հետ, այս գործընթացը դարձնում է անփոխարինելի՝ ավանդական եղանակների հետ համեմատած: Այդպիսի վերականգնման գործընթացների իրագործումը ավանդական վառարանային եղանակներով բարդ է, էներգատար, աշխատատար, պահանջում է բարդ սարքավորումներ և ընթանում է ժամերով: Մինչդեռ ԲԻՄ գործընթացով համաձուլվածքների ստացումը տևում է վայրկյաններ: Այրման մեծ արագություններն ապահովում են գործընթացի մեծ արտադրողականությունը: ԲԻՄ գործընթացի տարածման արագությունը կախված է շատ գործոններից, այդ թվում՝ նաև նյութերի նախնական դիսպերսայնությունից: Որքան մանրադիսպերս են ելանյութերը, այնքան մանրահատիկ է ստացված համաձուլվածքը: Այդ տեսակետից նախնական մեխանաքիմիական ակտիվացման զուգակցումը ԲԻՄ գործընթացի հետ շատ կարևոր նշանակություն ունի: Շնորհիվ մեխանաքիմիական մշակման՝ մեծանում է փոխազդող նյութերի ռեակցիայի արագությունը: Մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ, միկրոհետերոգեն կառուցվածքների առաջացման արդյունքում, կարելի է հարուցել այնպիսի ԲԻՄ գործընթացներ, որոնք առանց նախնական ակտիվացման չեն ընթանում:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Քրոմիտային խտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնման փորձերն իրականացվել են հետևյալ եղանակով: Բովախառնուրդը՝ բաղկացած նուրբ մանրացված քրոմիտային խտանյութից, ալյումինի փոշուց, $KClO_3$ -ից, $K_2Cr_2O_7$ -ից և կալցիումի օքսիդից, լավ խառնելուց հետո տեղավորվել է ավազով լցված հրակայուն տարողության մեջ:

Խտանյութը մանրացվել է MML տիպի թրթռաղացում, օդում՝ 120 μ տևողությամբ: Բովախառնուրդին ավելացվել է հարուցիչը, և շիկացած լարով սկիզբ է դրվել բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզին: Ռեակցիոն խառնուրդի մակերեսային շերտում գրգռվել է քիմիական ռեակցիա, և ձևավորվել է այրման ալիք, որն արագորեն տարածվել է ամբողջ նմուշի երկարությամբ՝ հաստատուն արագությամբ: Այրումը տևել է 10...12 μ : Այդ պայմաններում վերականգնված քրոմն առաջացրել է մետաղական գնդիկներ, որոնք կենտրոնանում են բովախառնուրդի հատակում, իսկ քրոմիտային խտանյութում պարունակվող այլ օքսիդները (MgO , CaO) և K_2O -ն ստացված Al_2O_3 -ի և SiO_2 -ի հետ առաջացրել են դժվարալուծ սիլիկատներ և ալյումինասիլիկատներ խարամի ձևով, որոնք սառչելուց հետո հեշտությամբ պոկվել են մետաղի գնդիկներից: Մետաղական զանգվածը ենթարկվել է հետազոտության քիմիական, մանրադիտակային [4] և ռենտգենաֆազ վերլուծության եղանակներով [5]:

Հետազոտության արդյունքները: Փորձնականորեն ուսումնասիրվել է մետաղի կորզման աստիճանի կախումը տարբեր գործոններից՝ յուրաքանչյուր դեպքում հաստատուն պահելով մյուս բաղադրամասերը: Ուսումնասիրվել է մետաղական ֆազի կորզման աստիճանի կախումը վերականգնիչի քանակից, բովախառնուրդի մնացած բաղադրամասերի հաստատուն պարունակության և խտանյութի 120 μ մանրացման պայմաններում: Բոլոր դեպքերում վերականգնման արդյունքում մետաղական ֆազը ներկայացնում է հիմնականում քրոմ՝ այս կամ այն մետաղական խառնուրդներով:

Բովախառնուրդի 100% տեսական քանակի դեպքում (աղ. 1, փորձ 5) վերականգնման գործընթացն ընթանում է բուռն, տեղի ունի լավ ֆազագոյացում և սառեցնելուց հետո ֆազերի հեշտ բաժանում: Այս դեպքում մետաղական ֆազում քիչ են խառնուրդները (0,3% Al, 1,25% Fe): Վերականգնիչի քանակի ավելացումը հանգեցնում է մետաղական ֆազում ալյումինի քանակի աճի (0,2...1,0%). այդ պայմաններում ալյումինի ավելացման հետ միասին երկաթի քանակն աճում է (1,08%-ից մինչև 1,24%):

Այս փորձերում մետաղական մագնեզիում չի հայտնաբերվել: Ըստ երևույթին մագնեզիումի օքսիդը, բացի քլորացումից, մասնակցում է նաև խարամագոյացման գործընթացին: Մետաղի ելքը վերականգնիչի տեսական քանակի դեպքում կազմել է 90,2%: Վերականգնիչի քանակի ավելացումը՝ մինչև 20% տեսական քանակի համեմատ, հանգեցնում է մետաղի ելքի մեծացմանը: Սակայն այս դեպքում մետաղական ֆազում մեծ են երկաթի (1,30%) և ալյումինի պարունակությունները: Վերականգնիչի քանակի ավելացումը՝ տեսական քանակից 50%-ով ավելի, հանգեցնում է մետաղի ելքի զգալի փոքրացման՝ կապված քրոմի կորուստների հետ: Ստացված մետաղն

այս դեպքում ունի ոչ այնքան լավ կառուցվածք՝ կապված երկաթի և ալյումինի քանակների մեծացման հետ:

Այսպիսով, քրոմի ելքի բարձրացման և երկաթի քանակի նվազեցման նպատակով բովախառնուրդում ալյումինի քանակի ավելացումը իմաստ չունի: Այդ տեսակետից փորձեր են արվել մեծացնել մետաղի կորզման աստիճանը՝ կախված այլ գործոններից: Այդ նպատակով ուսումնասիրվել է մետաղի ելքի կախումը թերմիտային նյութերի՝ մասնավորապես $KClO_3$ -ի քանակից, բովախառնուրդի մնացած բաղադրամասերի հաստատուն պարունակության և ալյումինի տեսական քանակության (7,5 գ) պայմաններում: Լավագույն արդյունքներ են ստացվել 1,6 գ $KClO_3$ -ի (տեսական քանակություն) պարունակության դեպքում, որի դեպքում մետաղի կորզման աստիճանը հասնում է 88,9%՝ երկաթի ցածր պարունակությամբ (1,02%): Փաստորեն, $KClO_3$ -ի քանակի ավելացումը հանգեցնում է այն արդյունքին, ինչը նկատվում է վերականգնիչի քանակի ավելացման դեպքում:

Հաջորդ խմբաքանակի փորձերում ուսումնասիրվել է մետաղական ֆազի կորզման աստիճանի կախումը $K_2Cr_2O_7$ -ի քանակից, բովախառնուրդի մնացած բաղադրամասերի հաստատուն պարունակության, 7,5 գ ալյումինի և 1,6 գ $KClO_3$ -ի տեսական քանակությունների պայմաններում: Լավագույն արդյունքներ են ստացվել 2,8 գ $K_2Cr_2O_7$ -ի պարունակության դեպքում: Այս դեպքում մետաղի ելքը ամենաբարձրն է և հասնում է 91,0%-ի, երկաթի ցածր պարունակությամբ (0,9%): $K_2Cr_2O_7$ -ի քանակի ավելացումը չի հանգեցնում ոչ երկաթի և ոչ էլ ալյումինի քանակի կտրուկ նվազման մետաղական ֆազում: Վերջինս մեծացնում է միայն մետաղական քրոմի ելքը: Երկաթի քանակի նվազեցման նպատակով բովախառնուրդին ավելացվել է նաև $NaCl$:

Ուսումնասիրվել է մետաղի կորզման աստիճանի կախումը $NaCl$ -ի քանակից, բովախառնուրդի մնացած բաղադրամասերի հաստատուն պարունակության, 7,5 գ ալյումինի և 1,6 գ $KClO_3$ -ի և 2,8 գ $K_2Cr_2O_7$ ըստ տեսական անհրաժեշտ քանակների պայմաններում: $NaCl$ -ի քանակի փոփոխությունը զգալիորեն նվազեցնում է երկաթի պարունակությունը մետաղի մեջ: Լավագույն արդյունքներ են ստացվել 9 գ $NaCl$ -ի պարունակության դեպքում, երբ մետաղի կորզման աստիճանը հասնում է 91,6%՝ երկաթի և ալյումինի ցածր պարունակությամբ (0,22% Fe և 0,2% Al):

Ուսումնասիրվել է նաև մետաղական ֆազի կորզման աստիճանի կախումը հալանյութի (CaO) քանակից՝ բովախառնուրդի նշված օպտիմալ բաղադրության պայմաններում: Փորձարկվել են կալցիումի օքսիդի տարբեր քանակություններ: Սակայն փորձերի արդյունքները ցույց տվեցին, որ CaO -ի քանակի ավելացումը՝ 1,2%-ից բարձր, առանձնապես արդյունավետ չի ազդում ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացի վրա: Ընդհակառակը, CaO -ի քանակի ավելացումը հանգեցնում է մետաղի կորզման աստիճանի նվազեցմանը՝ կապված քրոմի որոշ քանակի կորստի հետ ($CaCrO_4$ -ի ձևով): Ըստ երևույթին, բովախառնուրդում պարունակվող K_2O -ի քանակը բավարարում է խարամի հեղուկահոսունության մեծացման և, հետևաբար, ֆազազոյացման համար: Վերը նկարագրված փորձերը բերված են աղ. 1-ում:

Քրոմիտային խտանյութից մետաղների կորզման աստիճանի կախվածությունը բովախառնուրդի բաղադրությունից

23

Փորձի համարը	Բովախառնուրդի բաղադրությունը												Մետաղի կորզման աստիճանը, %		
	խտանյութ		K ₂ Cr ₂ O ₇		NaCl		Al		KClO ₃		CaO		Cr	Al	Fe
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	%	%	%
1	20	46,4	2,8	6,5	1,0	13,9	7,5	26,7	1,6	3,7	1,2	2,8	88,9	0,3	0,92
2	20	45,4	2,8	6,3	2,0	15,9	7,5	26,1	1,6	3,6	1,2	2,7	89,2	0,3	0,61
3	20	44,8	2,8	6,3	2,9	17,8	7,5	25,7	1,6	3,6	1,2	2,7	89,4	0,2	0,36
4	20	44,4	2,8	6,2	3,1	17,7	7,5	25,5	1,6	3,5	1,2	2,7	91,0	0,2	0,34
5	20	43,5	2,8	6,1	4,8	19,4	7,5	24,9	1,6	3,5	1,2	2,6	91,6	0,2	0,22
6	20	42,5	2,8	6,0	5,8	21,2	7,5	24,4	1,6	3,4	1,2	2,5	87,0	0,1	0,22

Այսպիսով, օպտիմալ պայմաններ կարելի է համարել 100 կգ բովախառնուրդի հետևյալ կազմը՝ քրոմիտային խտանյութ՝ 43,5%, ալյումինի փոշի՝ 24,9%, $KClO_3$ ՝ 3,5%, $K_2Cr_2O_7$ ՝ 6,1%, $NaCl$ ՝ 19,40% և CaO ՝ 2,6%: Այս պայմաններում ստացվում է մետաղական քրոմ՝ 0,22% Fe -ի և 0,2% Al -ի պարունակությամբ, մետաղի 91,6% կորզման աստիճանով: Մետաղական ֆազն այս պայմաններում դրսևորել է բավական ամուր և խիտ կառուցվածք:

Համեմատության համար նման օպտիմալ պայմաններում ստացվել է մետաղ չակտիվացված քրոմիտային խտանյութի փորձանմուշից: Այս դեպքում նույնպես վերականգնման գործընթացն ընթացել է նման ձևերով, բայց տարբերվել է համեմատաբար ցածր ելքերով և ստացված մետաղական ֆազի կառույցով:

Ընտրված լավարկված բաղադրությամբ կատարվել են վերականգնման փորձեր՝ բավական մեծ պարունակություններով (1000 գ խտանյութ): Վերականգնման պրոցեսն ընթացել է շատ լավ և հանգիստ՝ առանց բովախառնուրդի բաղադրամասերի արտանետումների: Մետաղի ելքը այդ պայմաններում կազմել է մոտ 90%: Մետաղական ֆազը ստացվել է ամուր բյուրեղի տեսքով և հեշտությամբ անջատվել խառամից: Նշված օպտիմալ պայմաններով ստացված բովախառնուրդի ալյումինաթերմային վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազը ենթարկվել է քիմիական վերլուծության: Արդյունքները ներկայացված են աղ. 2-ում:

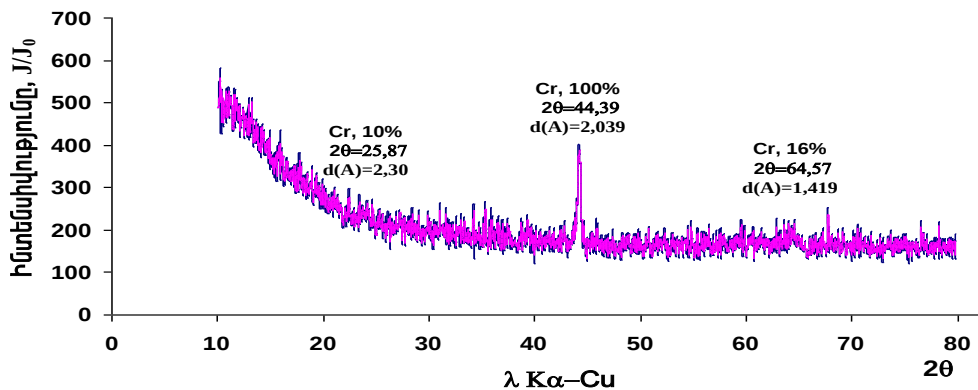
Աղյուսակ 2

Մետաղական ֆազերի քիմիական վերլուծության արդյունքները

Մետաղական ֆազի բաղադրությունը, %	Cr	Al	Fe	Si	Mg	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 աղյուսակից, ակտիվացված և չակտիվացված փորձանմուշից ստացված տվյալները բավական տարբերվում են իրարից: Ակտիվացված փորձանմուշի վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազում զգալի բարձրացել է քրոմի զանգվածային բաժինը (93,89%), և նվազել են երկաթի Fe -ի (0,49%), Si -ի (1,58%) և մասամբ Al -ի (3,49%) զանգվածային բաժինները:

Մետաղական ֆազում ալյումինի ավելցուկային պարունակությունը երկու դեպքում էլ կապված է վերականգնիչի ավելցուկ քանակից: Սակայն վերականգնիչի պակասի դեպքում, ինչպես ցույց տվեցին փորձերի արդյունքները, քրոմի ելքը զգալիորեն պակասում էր: Ելնելով ստացված արդյունքներից, չակտիվացված և $NaCl$ -ի առկայությամբ ակտիվացված ու լվացված փորձանմուշը ենթարկվել է ալյումինաթերմային վերականգնման: Նկարում պատկերված է ստացված արգասիքի ռենտգենագիրը:



Նկ. NaCl-ի առկայությամբ մեխանաքիմիապես ակտիվացված մետաղական քրոմի ռենտգենագիրը

Ինչպես երևում է նկարից, ռենտգենագրում երևում են միայն քրոմին բնորոշ առկայծումները: Սակայն ակտիվացված փորձանմուշի դեպքում ռենտգենագրերում դրանք ավելի արտահայտված են:

Վերն ասվածից կարելի է եզրակացնել, որ քրոմիտները *NaCl*-ի առկայությամբ մեխանաքիմիապես ակտիվացնելիս անվառարան ալյումինաթերմային վերականգնման եղանակով՝ մեկ փուլով, ստացվում է քրոմի բավական բարձր պարունակությամբ մետաղական քրոմ: Ստացված մետաղն աչքի է ընկնում յուրահատուկ և բարձրարժեք ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով՝ գերամրությամբ, գերպլաստիկությամբ, գերբարձր հրակայունությամբ, առաձգականությամբ, հակակոռոզիոն հատկություններով և այլն:

Եզրակացություն: Այսպիսով, կատարված հետազոտությունները թույլ են տալիս առաջարկել տեղական քրոմ պարունակող խտանյութերի մշակման նոր, ոչ ավանդական տեխնոլոգիա, որի հիմքում ընկած է ԲԻՍ և ՄԱ պրոցեսների զուգակցումը: Շնորհիվ այդ պրոցեսների զուգակցման՝ հնարավոր է իրականացնել քրոմիտների ուղղակի, ալյումինաթերմային վերականգնում՝ շրջանցելով դրանց նախնական թրծումը, և մեխանաքիմիական ակտիվացումից հետո մեկ փուլով ստանալ բարձր ֆիզիկամեխանիկական և կառուցվածքային հատկություններով մետաղական քրոմ և բարձրկավառողային խարամ՝ էներգախնայողական և բնապահպանական տեսակետից պաշտպանված եղանակներով:

Միաժամանակ, ԲԻՍ և մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացների զուգակցումը ենթադրում է այդպիսի նյութերի ստացման մեծ պոտենցիալ հնարավորություններ՝ հիմնված որպես էլանյութ ռեակցվող նյութերի ռեակցիոն կարողությունների կառավարման և ցանկալի բաղադրությամբ ու կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման վրա՝ կատարելագործված, արդյունավետ և բնապահպանական տեսակետից նպաստավոր տեխնոլոգիաներով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. О влиянии механической активации на СВС составы NiAl и TiAl / **Н.Ф. Шкоди́ч, Н.А. Кочетов** и др. // Цветная металлургия.- 2006.- N5.- С. 44-50.
2. **Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В. И., Боровинская И.П.** Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.- М.: ЗАО Изд-во “БИНОМ“, 1999.- 175 с.
3. **Мержванов А.Г., Юхвид В.И., Боровинская И.П.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений // Докл. АН СССР.- 1980.- Т. 255, N1.- С. 120-124.
4. **Кузнецова О.В.** Исследование фазовых равновесий в системе FeCr- O: Автореферат дис. ...канд. хим. наук.- Челябинск, 2007.- 22 с.
5. **Молчанов В.И., Юсупов Т.С.** Физические и химические свойства дисперсных минералов.- М.: Недра, 1981.- 201 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Կապանի մասնաճյուղ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.09.2014:

А.А. АЙВАЗЯН, Т.С. АГАМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Опытным путем исследована зависимость степени извлечения металла от различных факторов в условиях 120 - минутного измельчения концентрата и постоянного содержания других компонентов в каждом случае. Во всех случаях в результате восстановления металлическая фаза в основном представляет собой хром с теми или иными примесями. Полученная металлическая фаза подвергнута химическому рентгенофазовому анализу.

Ключевые слова: алюминотермическое восстановление, хром, высокотемпературный самораспространяющийся синтез, металлическая фаза, инициатор.

A.A. AYVAZYAN, T.S. AGHAMYAN

INVESTIGATING THE PROCESS OF ALUMINIUM- THERMAL REDUCTION OF CHROMIUM CONCENTRATES

The dependence of the metal extractins degree on different factors is investigated experimentally under the condition of 120-minute crushing of the concentrate and the constant content of other components in each case. In all cases, as a result of reduction, the metallic phase is mainly chromium with different impurities. The obtained metallic phase is subjected to chemical x-ray phase analysis.

Keywords: aluminum-thermal reduction, chromium, high temperature selfspreading synthesis, metallic phase, initiator.

В.Г. ПЕТРОСЯН, О.А. ОГАНЕСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАСОСОВ СИСТЕМ
БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА №2 АРМЯНСКОЙ АЭС ПРИ ПРОЕКТНОЙ
АВАРИИ**

На примере Армянской АЭС исследовано функционирование систем безопасности в случае проектной аварии с потерей теплоносителя. Определено влияние внедрения сетчатого фильтра приемка герметических помещений на кавитационный запас насосов высокого давления системы аварийного охлаждения активной зоны и спринклерной системы. Выявлено, что непрерывная работа спринклерной системы уменьшает давление в герметических помещениях ниже атмосферного, что в совокупности с установкой сетчатого фильтра приводит к снижению кавитационного запаса насосов систем безопасности ниже допустимого значения.

Ключевые слова: сетчатый фильтр, система аварийного охлаждения активной зоны, спринклерная система.

Введение. Программа повышения безопасности Армянской АЭС предусматривает увеличение максимальной проектной аварии до разрыва трубопровода первого контура диаметром 2х209 мм [1,2]. Для достижения данной цели планируется внедрение мероприятий по модернизации существующих систем безопасности, в том числе системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ) и спринклерной системы. После модернизации САОЗ система сможет обеспечить долгосрочное охлаждение активной зоны в условиях низкого давления в первом контуре. Данный эффект будет достигнут установкой трехходовых клапанов с линиями рециркуляции. Планируемая модернизация спринклерной системы призвана увеличить резервирование и пропускную способность системы добавлением дополнительного насоса и разделением на два независимых канала. Однако для должной работоспособности вышеупомянутых систем прежде всего необходимо произвести рециркуляцию через приемок герметических помещений. Для решения данной задачи был установлен сетчатый фильтр приемка герметических помещений, который должен обеспечить необходимый для рециркуляции расход, даже в условиях засорения мусором.

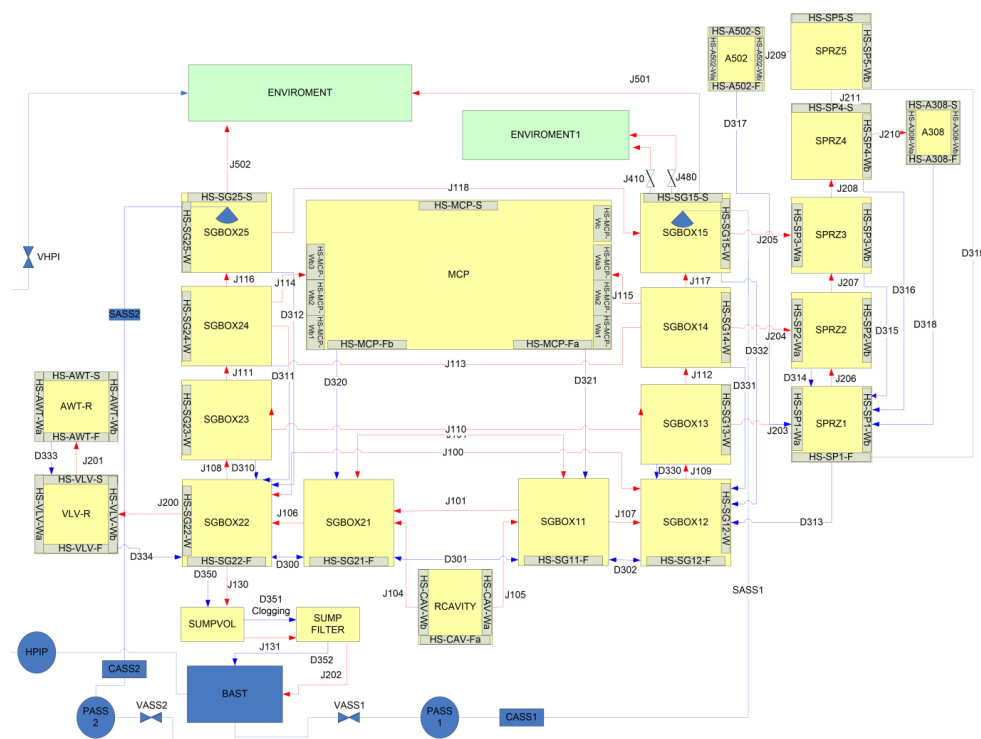
В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с функционированием насосов САОЗ высокого давления (ВД) и спринклерной системы Армянской АЭС при новой проектной аварии с разрывом дыхательного трубопровода компенсатора давления (КД) после внедрения сетчатого фильтра приемка герметических помещений.

Методика расчетов. Для проведения расчетов была разработана расчетная схема герметических помещений ААЭС для кода COCOSYS [3,4]. Помещения были смоделированы при помощи 26 узлов, соединенных между собой 56 атмосферными и дренажными соединениями. Для моделирования облицовки стен были использованы 53 тепловые структуры. Модель отражает состояние герметических помещений 2-го блока ААЭС после планируемых модернизаций, т.е. с улучшенной плотностью, модифицированной системой САОЗ и установленным фильтром прямка (рис. 1).

Основываясь на консервативном подходе, были выбраны начальные и граничные условия в герметических помещениях ААЭС.

Для расчетов была выбрана авария с двусторонним разрывом дыхательного трубопровода компенсатора давления диаметром 2х209 мм.

Выбросы энергии и массы для данной аварии были рассчитаны при помощи кода RELAP5 MOD3 [5].



Для достижения большой фильтрационной площади были установлены фильтрационные модули с прямоугольным сечением, число и размер которых были определены, основываясь на:

- количестве генерируемого мусора;
- оценке эффектов потока;
- расчетах гидравлического сопротивления фильтра и предварительных гидравлических тестов.

Проект предусматривает 65 м² фильтрационной поверхности. Фильтрационная поверхность состоит из стальных перфорированных листов толщиной 4 мм с отверстиями диаметром 10 мм. Внешняя поверхность перфорированных листов покрывается сеткой с размером стороны ячейки 0,7 мм.

Прямо́к и фильтры были смоделированы при помощи двух объемов. Первый из них представляет нефiltrуемый объем прямо́ка, второй – объем внутри фильтрующих модулей. Эти два объема разделены сеткой (рис. 2).

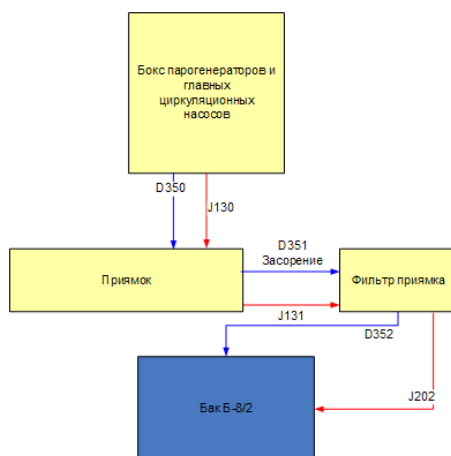


Рис. 2. Схема моделирования прямо́ка гермозоны

Для моделирования эффекта засорения фильтра была использована специальная модель COCOSYS. Данная модель решает следующее уравнение для расчета гидравлического сопротивления вследствие накопления мусора:

$$\Delta p = \pm(K\gamma\eta)|v|^{0.5}, \quad (1)$$

где Δp – дополнительные потери давления; K – коэффициент потерь; η – плотность покрытия; v – скорость потока.

Как следует из уравнения, потери давления вследствие накопления мусора зависят от плотности покрытия мусора и коэффициента потерь. Данный коэффициент определяется экспериментальным путем. Для ААЭС данный коэффициент был определен на экспериментальной установке, эксплуатируемой VUEZ, и

согласно полученным результатам для разрыва трубопровода эквивалентным диаметром 200 мм плотность покрытия мусором составляет $2,1 \text{ кг/м}^2$, а потери давления – $3,3 \text{ кПа}$. Исходя из этого значения, был рассчитан коэффициент потерь для расхода $1550 \text{ м}^3/\text{час}$ (максимальный проектный поток), который равен $4 \cdot 10^9$.

Интерпретация и анализ результатов расчетов. Во время расчетов были оценены возможности спринклерной системы и взрывных клапанов поддерживать давление в герметических помещениях ниже атмосферного для предотвращения выхода радионуклидов за пределы герметической оболочки. Кроме того, на основе результатов расчета был оценен допустимый кавитационный запас (ДКЗ) насосов спринклерной системы и САОЗ.

Вследствие разрыва и поступления пароводяной смеси в герметические помещения давление начинает повышаться и на 5-й секунде от начала аварии доходит до уставки открытия взрывных клапанов. Однако из-за сопротивления клапанов их полное открытие происходит с задержкой, и давление продолжает повышаться, достигая на 8-й секунде максимального значения – $0,195 \text{ МПа}$. Начиная с этого момента и до 300-й секунды клапаны периодически открываются, и давление в герметических помещениях не превышает значения $0,2 \text{ МПа}$ (проектный предел). После 300-й секунды давление в герметических помещениях начинает снижаться по причине работающей спринклерной системы (система активируется на 48-й секунде) и на 940-й секунде от начала аварии достигает атмосферного. Поскольку спринклерная система непрерывно конденсирует пар, давление продолжает снижаться и достигает значения $0,061 \text{ МПа}$ на 3260-й секунде. Необходимо отметить, что на ААЭС отсутствует уставка автоматического отключения спринклерной системы, и система продолжает работать, несмотря на сильное разрежение. Начиная с 3260-й секунды давление в герметических помещениях медленно повышается и на 37000-й секунде достигает атмосферного (рис. 3).

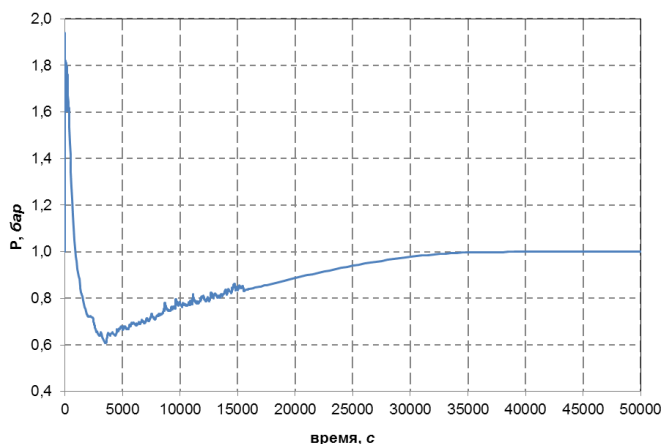


Рис. 3. Изменение давления в герметической зоне во время аварии

В данных расчетах было учтено засорение сетчатого фильтра приемка гермозоны мусором, сгенерированным при разрыве дыхательного трубопровода, на 300-й секунде с начала аварии. Как было указано выше, при засорении фильтра приемка создается дополнительное гидравлическое сопротивление, которое приводит к снижению расхода в приемок и, следовательно, к уменьшению количества поступающей воды в бак аварийного запаса борной кислоты. После засорения фильтра начинается заполнение объема фильтра, и на 2978-й секунде уровень воды в приемке сравнивается с уровнем воды на полу гермозоны. Дальнейший рост уровня воды в герметических помещениях продолжается до 10000-й секунды. К этому времени гидростатическое давление, образующееся за счет уровня воды, компенсирует сопротивление, создаваемое засорением поверхности фильтра, и расход воды в бак аварийного запаса борной кислоты сравнивается с количеством воды, подаваемой на всас насосов САОЗ и спринклерной системы. Начиная с этого момента уровень воды в баке аварийного запаса борной кислоты остается на уровне 3,91 м (рис. 4).

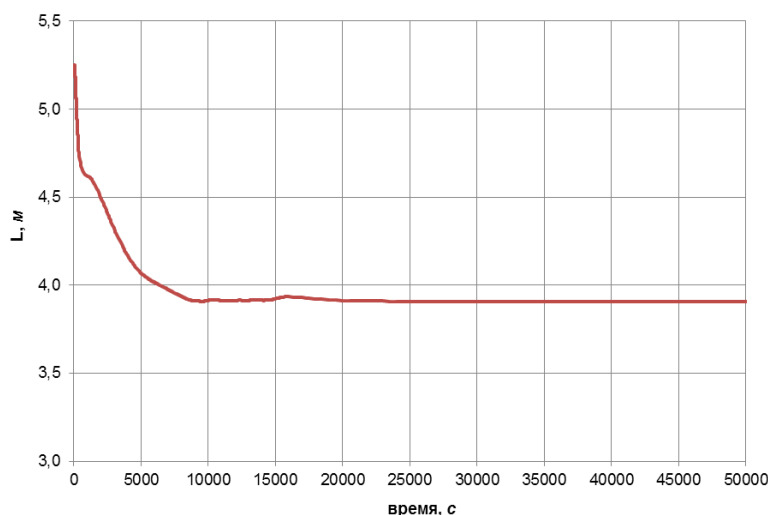


Рис. 4. Изменение уровня воды в баке Б-8/2

Для оценки кавитационного запаса (КЗ) насосов САОЗ и спринклерной системы использовалась формула

$$КЗ = (L_B - L_{всас}) + \frac{P_{атм}}{\rho g} - \frac{P_{нас}}{\rho g} - \frac{P_{пот}}{\rho g}, \quad (2)$$

где L_B — уровень воды в баке аварийного запаса борной кислоты; $L_{всас}$ — высотная отметка всаса насоса; $P_{атм}$ — давление в герметических помещениях; $P_{нас}$ — давление насыщения на всасе насоса при заданной температуре; $P_{пот}$ — потери напора на импеллере насоса; ρ — плотность воды; g — гравитационная константа.

Согласно техническим характеристикам насосов САОЗ ВД и спринклерной системы, необходимый кавитационный запас должен составлять 6 и 8 м соответственно. Как видно из результатов, кавитационный запас насосов САОЗ ВД ниже необходимого значения начиная с 2500-й секунды и до 5000-й секунды включительно (рис. 5).

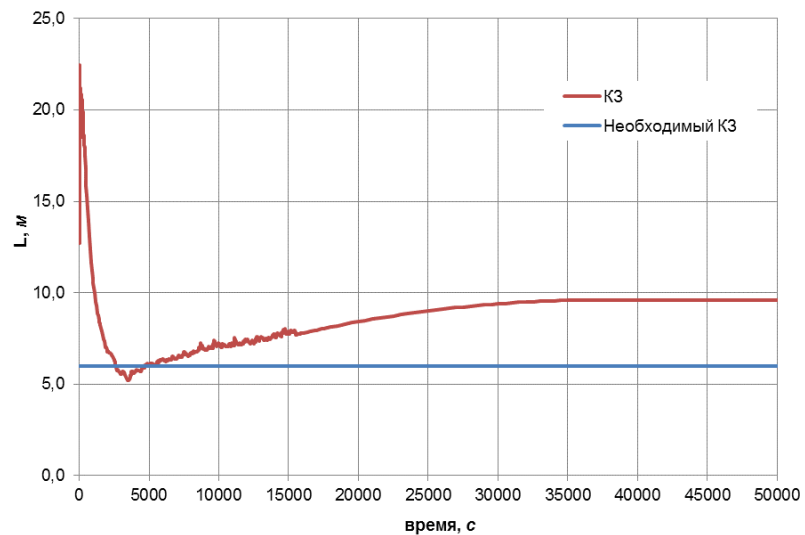


Рис. 5. Значение кавитационного запаса для насосов САОЗ ВД

Для насосов спринклерной системы значение кавитационного запаса ниже допустимого в течение временного отрезка с 1600-й секунды и до 13000-й секунды включительно (рис. 6).

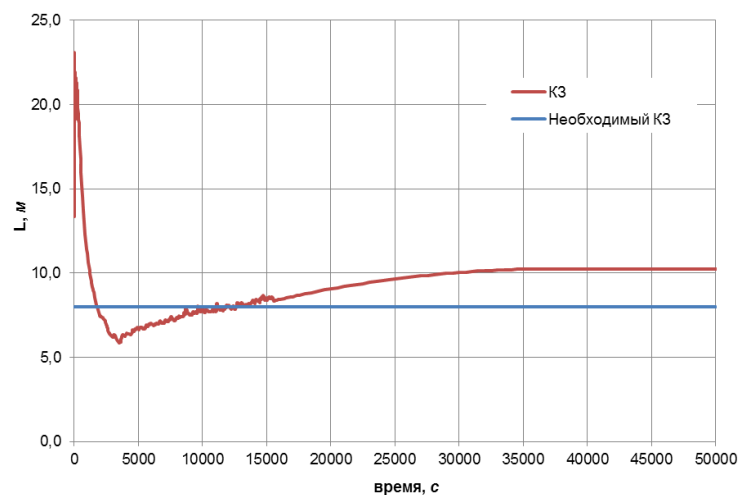


Рис. 6. Значение кавитационного запаса для насосов спринклерной системы

Для определения условий, при которых КЗ насосов был на допустимом уровне, были проведены дополнительные расчеты. Для оценок были выбраны консервативные условия в гермозоне. Поскольку в рамках программы комплексной модернизации ААЭС минимально допустимое значение давления в гермозоне было равно 0,085 МПа, то для оценки ДКЗ было выбрано данное значение.

Для насосов САОЗ ВД при максимальной температуре в баке запаса борного раствора Б-8/2 79°C и давлении в гермозоне, равном 0,085 МПа, необходимый кавитационный запас будет достигнут при уровне в баке, равном 2,71 м (таблица 1).

Таблица 1

Кавитационный запас насосов САОЗ ВД

Уровень в баке	dH	P _{атм}	P _{нас}	P _{потери}	КЗ
2,0	1,600	8,673	4,617	0,357	5,299
2,5	2,100	8,673	4,617	0,357	5,799
2,7	2,300	8,673	4,617	0,357	6,000
3,0	2,600	8,673	4,617	0,357	6,299
3,5	3,100	8,673	4,617	0,357	6,799

Для насосов спринклерной системы при тех же консервативных условиях необходимый кавитационный запас будет достигнут при уровне в баке, равном 3,98 м (таблица 2). Отклонение от рассчитанного минимального уровня – 3,91 м составляет 1,8%.

Таблица 2

Кавитационный запас насосов спринклерной системы

Уровень в баке	dH	P _{атм}	P _{нас}	P _{потери}	КЗ
3,5	3,745	8,673	4,542	0,357	7,519
3,91	4,155	8,673	4,542	0,357	7,929
3,98	4,225	8,673	4,542	0,357	8,000
5,2	5,445	8,673	4,542	0,357	9,219
7,0	7,245	8,673	4,542	0,357	11,019

Выводы. Основываясь на результатах анализов аварии с двусторонним разрывом дыхательного трубопровода КД, можно сделать следующие выводы:

1. Пиковое давление в гермозоне равно 0,195 МПа, что не превышает максимально допустимого значения 0,2 МПа.

2. Непрерывная работа спринклерной системы приводит к снижению давления в гермозоне ниже атмосферного давления. В частности, в данных расчетах было достигнуто значение 0,061 МПа, что ниже минимально допустимого пре-

дела – 0,085 МПа. Следовательно, необходимо внедрение защиты от сильного разрежения.

3. Расчет кавитационного запаса для насосов САОЗ ВД и спринклерной системы показал, что во время аварии значение кавитационного запаса ниже необходимого кавитационного запаса. Были проведены дополнительные исследования по выявлению минимального давления в гермозоне, при котором кавитационный запас будет выше минимально допустимого значения. Из результатов расчетов следует, что значение кавитационного запаса остается в допустимых пределах, если давление в гермозоне выше 0,085 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка комплексной программы модернизации Армянской АЭС - NRI Rez, VUJE a.s, Арматом и НТИЦ ЯРБ контракт МАГАТЭ № ARM9022-86943V.
2. NS-R-2 Safety of Nuclear Power Plants: Operation /J. Clifford, et al. – Vienna; IAEA. – 2000. – 40 p.
3. COCOSYS V2.4 User's Manual /W. Klein-Heßling, S. Arndt, et al. – Koln: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 2013. - 793p.
4. State-of-the-Art Report on Containment Thermal-hydraulics and Hydrogen Distribution / H. Karwat, et al. – Paris: OECD/NEA, 1999. – 291 p.
5. RELAP5/MOD3.3 code manual /V.H. Ransom, J.A. Trapp, et al. – Rockville: Information Systems Laboratories, 2010. – 298 p.
6. Final report of the programme on the safety of WWER and RBMK nuclear power plants / C. Benedetti, et al. – Vienna; IAEA. – 1999. – 218 p.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 09.11.2014.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՆԱԽԱԳԾԱՅԻՆ ՎԹԱՐԻ ԸՆԹԱՅՔՈՒՄ ՀԱԷԿ 2-ՐԴ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈՎԻ ԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՊՈՄՊԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱԷԿ-ի օրինակով ուսումնասիրվել է անվտանգության համակարգերի աշխատանքը նախագծային ջերմատարի կորստով վթարի դեպքում: Որոշվել է հերմետիկ գոտու ելարանի գտիչի ներդրման ազդեցությունը վթարային լրասնման համակարգի և ցայտաջրմուղային համակարգի պոմպերի կավիտացիոն պաշարի վրա: Հետազոտության արդյունքները ցույց տվեցին, որ ցայտաջրմուղային համակարգի անընդհատ աշխատանքը հանգեցնում է հերմետիկ գոտում ճնշման անկմանը մթնոլորտային ճնշումից ցածր, ինչը համակցված գտիչի տեղադրմանը զուգընթաց հանգեցնում է անվտանգության համակարգերի պոմպերի կավիտացիոն պաշարի նվազմանը թույլատրելի արժեքից ցածր:

Առանցքային բառեր. ցանցկեն գտիչ, ակտիվ գոտու վթարային հովացման համակարգ, ցայտաջրմուղային համակարգ:

V.G. PETROSYAN, H.A. HOVHANNISYAN

**INVESTIGATING THE OPERATION OF THE SAFETY SYSTEMS' PUMPS OF THE
ARMENIAN NPP SECOND UNIT AT DESIGN BASIS ACCIDENT**

Based on Arm. NPP example the operation of the safety systems in case of the design basis loss of coolant accident is investigated. The influence of containment sump strainer implementation on the net positive suction head of high-pressure injection pumps of emergency core cooling system and spray system is determined. It is revealed that the continuous operation of the spray system leads to a decrease in pressure in the containment below atmospheric pressure, what in conjunction with the strainer installation leads to the safety systems' pumps net positive suction head decrease below the allowable value.

Keywords: reticulated strainer, emergency core cooling system, spray system.

ՀՏԴ 621.315:621.382

ԳԻՏԱԿԱՆ ՄԱՐՔԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ
ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Լ.Հ. ՍՈՒՔՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ, Տ.Վ. ՎԱՂՈՒՆՑ

**ՖԵՐՈՒԼԵԿՏՐԻԿ-ՕՔՍԻԴ-ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ
ԸՍՏ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ՍՈՂՈՒԼԱՑՎԱԾ ԼՈՒՍԱՑԻՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՌԵԺԻՄՈՒՄ**

Տեսականորեն հետազոտվել են ունակային սկզբունքով աշխատող ֆերոլեկտրիկ – օքսիդ – կիսահաղորդիչ կառուցվածքի ֆոտոզգայնության մեխանիզմներն ու ընթացող օպտիկա-ֆիզիկական երևույթներն ըստ ինտենսիվության / հաճախականության մոդուլացված լույսի ազդման դեպքում: Հիմնավորվել է ըստ ինտենսիվության/հաճախականության մոդուլացված լուսային ճառագայթի միջոցով տարբեր մեմբրաններից ստացված համապատասխան ֆոտո-արձագանքների գրանցման, տարանջատման ու մշակման հնարավորությունը:

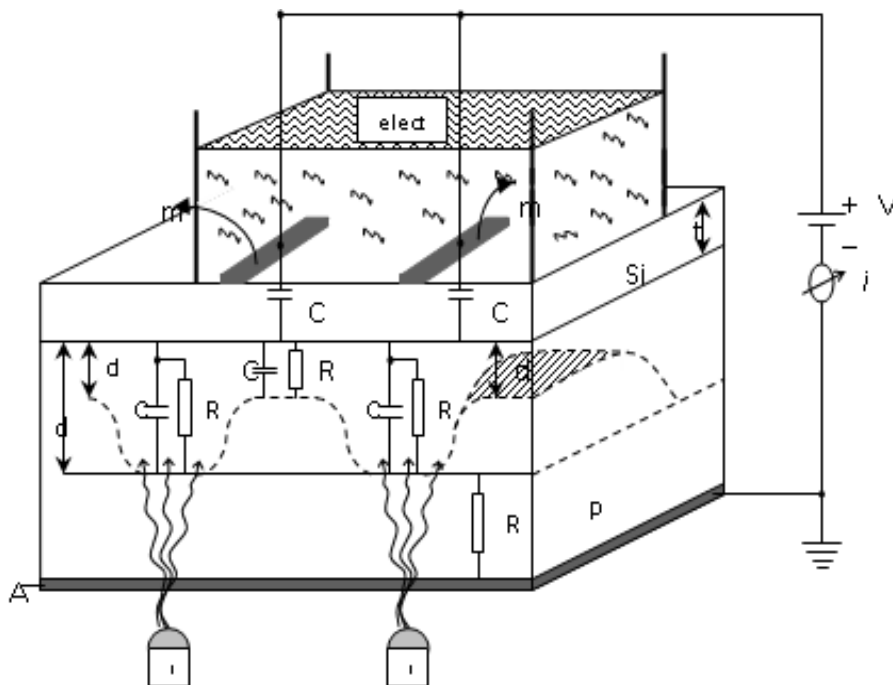
Առանցքային բառեր. ֆերոլեկտրիկ, մոդուլացված լույս, կիսահաղորդիչ, ՄՕԿ կառուցվածք:

Ներածություն: Լուսահասցեավորվող պոտենցիալմետրական տվիչները (ԼՊՏ, [1]) «լաբորատորիա չիպի վրա» սկզբունքի իրականացման առաջին քայլերն են, որոնք հնարավորություն են տալիս միևնույն հիմքով (մատրիցում) միավորել կենսաբժշկական տարբեր անալիտների նկատմամբ զգայնություն ցուցաբերող բազմաթիվ տարրեր, կառուցվածքներ և, այնուհետև, ըստ ինտենսիվության կամ ըստ հաճախականության մոդուլացված լուսային ճառագայթի միջոցով այդ տարբեր թաղանթներից ստացված համապատասխան ֆոտոարձագանքների գրանցման, տարանջատման ու մշակման միջոցով որոշել այս կամ այն անալիտի առկայությունը, պարամետրերը, խտությունը և այլն: Նշված ԼՊՏ-երը գտնվում են նախնական լաբորատոր հետազոտման փուլում և կարիք ունեն ինչպես տեսական, այնպես էլ փորձարարական հետազոտման, ինչը հատուկ է ցանկացած նոր գիտական բնագավառի: Մյուս կողմից, շնորհիվ իրենց մի շարք առավելությունների՝ բազմաֆունկցիոնալ հատկությունների դրսևորման, բարձր քիմիական և կատալիտիկ ակտիվության, ֆերոլեկտրիկական զգայուն թաղանթներով տվիչները կենսաբժշկական բնագավառում օգտագործման տեսակետից նոր և խոստումնալից սարքեր են, որոնք կարող են հիմք հանդիսանալ «լաբորատորիա մեկ չիպի վրա» տեխնոլոգիայի զարգացման համար [1-5]:

Աշխատանքում տեսականորեն հետազոտվել են երկու մեմբրաններ պարունակող ֆերոլեկտրիկ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ կառուցվածքի ունակության և ֆոտոլեկտրական բնութագրերն ըստ հաճախության մոդուլացված լուսային ազդանշանի կիրառման ռեժիմում:

Տեսական մոդելը և հիմնական առնչությունները: Դիցուք ունենք երկու՝ m_1 , m_2

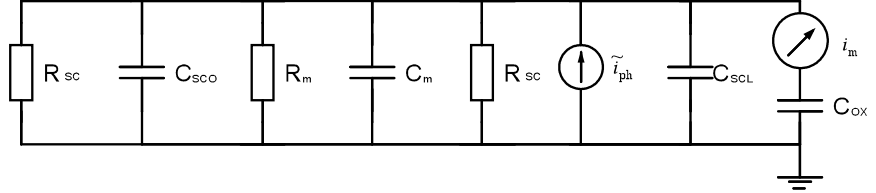
փականներ, որոնք միմյանցից հեռացված են ֆոտոլիցքակիրների դիֆուզիոն (ռեկոմբինացիոն) երկարություններից շատ ավելի մեծ հեռավորության վրա: Այդ փականները կարող են պատված լինել տարբեր իոնների նկատմամբ ընտրողական զգայնություն ցուցաբերող մեմբրաններով (թաղանթներով)՝ սենսորային տարբեր ֆունկցիաների իրականացման նպատակով: Ընդունենք, որ երկու փականներին էլ կիրառված է միևնույն V_g հաստատուն շեղման լարումը (ընդհանուր հիմնային տարրի միջոցով), բայց մոդուլացված լույսի աղբյուրն ազդում է միայն դրանցից մեկի աղբատացած շերտի վրա (նկ. 1): Անտեսելով հարթակի չեզոք տիրույթի R_{sub} դիմադրությունը ծավալային լիցքի տիրույթի R_{sc} -ի և R_m -ի նկատմամբ, օքսիդի շերտում ավելցուկային (լրացուցիչ) դրական լիցքերն ու թակարդներում գրավված լիցքերը, ինչպես նաև օքսիդ-կիսահաղորդիչ մակերևութային մակարդակների առկայությունը, փականների և միջփականային տիրույթները կներկայացնենք համապատասխան համարժեք սխեմայի տեսքով (նկ. 2):



Նկ. 1. Երկմեմբրանային I_{DS} -ի լայնական կտրվածքը

Ընդունենք, որ p-Si հարթակի (կամ փականի) կողմից բյուրեղի վրա ընկնում է ըստ ինտենսիվության մոդուլացված օպտիկական ճառագայթ (ազդանշան),

$$\Phi = \Phi_o + \Phi_I e^{j\omega t},$$



Նկ. 2. Երկմեմբրանային LMS-ի համարժեք սխեման

որտեղ Φ_o - ն ընկնող ճառագայթի հոսքի (հզորության) հաստատուն բաղադրիչն է միավոր մակերևույթին՝ $\Phi_o = \frac{P_{opt}(1-R)}{h\nu} [1 - e^{-\alpha d_o}]$, P_{opt} -ը՝ ընկնող օպտիկական հզորությունը (ν - լսմ/սմ²), R -ը՝ անդադարձման գործակիցը, S - ը՝ աղքատացած շերտի լայնական կտրվածքի մակերեսը, $h\nu$ -ն՝ ֆոտոնի էներգիան, Φ_I -ը՝ ընկնող ճառագայթի հոսքի փոփոխական բաղադրիչը, $\omega = 2\pi f$ - ը՝ լուսային ազդանշանի մոդուլման անկյունային հաճախությունը, t -ն՝ ժամանակը: Եթե մոդուլացված լույսի աղբյուրն «աշխատում է» որևէ (աջ կամ ձախ) փականի աղքատացած տիրույթում, ապա օգտվելով Պուասոնի՝ հոսանքի անխզելիության, հոսանքի խտության հավասարումներից [6] և Կիրիստի օրենքներից, ելքային ֆոտոհոսանքի $\tilde{i}_m$ փոփոխական բաղադրիչի համար կունենանք՝

$$|\tilde{i}_m| = |\tilde{i}| \cdot \left[\frac{\theta_{ox}}{1 + (\theta_{ox} + \theta_{scl})^2} \right] \sqrt{(\theta_{ox} + \theta_{scl})^2 + 1},$$

$$|\tilde{i}_{ph}| = \frac{2qd_o}{\varepsilon_s} \frac{P_{opt}(1-R)\theta}{h\nu\sqrt{1+\theta^2}} \cdot [1 - e^{-\alpha d_o}] \cdot \left[|C_{scl}(t)| + \frac{\varepsilon_s \sqrt{2}}{L_D} \right],$$

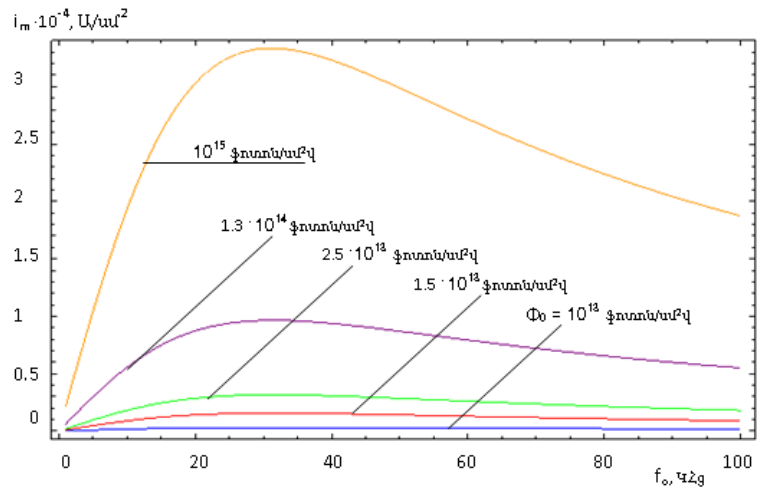
որտեղ d_o -ն լույսի բացակայության ռեժիմում աղքատացած շերտի հաստությունն է, α -ն՝ կլանման գործակիցը, $\theta = 2\pi f\tau$, τ -ն՝ ֆոտո-լիցքակիրների կյանքի տևողությունը, $L_D \equiv \sqrt{\frac{kT\varepsilon_s}{q^2 p_p^2}} \equiv \sqrt{\frac{\varepsilon_s}{qp_p\beta}}$ -ն՝ Դեբայի էկրանավորման երկարությունը, $\beta = q/kT$, q -ն՝ էլեկտրոնի տարրական լիցքը, ψ_s -ը՝ կիսահաղորդիչ-օքսիդ մակերևույթային պոտենցիալի փոփոխական բաղադրիչը, ε_s -ը՝ կիսահաղորդիչի դիէլեկտրական թափանցելիությունը, C_{scl} -ը՝ լուսային ազդանշանի առկայության դեպքում կիսահաղորդիչի աղքատացած շերտի ունակությունը, $\theta_{ox} = \omega C_{ox} R_s$, $\theta_{scl} = \omega C_{scl} \cdot R_{sc}$, R_s -ը

և R_{sc} -ը, համապատասխանաբար, հարթակի և աղքատացած տիրույթի ակտիվ դիմադրությունները լուսային ազդանշանի բացակայության ռեժիմում: Հաշվարկները կատարվել են պարամետրերի հետևյալ համախմբերի համար. $Na \rightarrow (1...100) \cdot 10^{14} \text{ սմ}^{-3}$, f մոդուլման հաճախականությունը՝ $1...10000 \text{ կՀց}$, ֆոտոլիցքակիրների կյանքի տևողությունը՝ $\tau_0 \rightarrow 10^{-6}...10^{-9} \text{ վ}$, լուսային հոսքի Φ_l - մակերևութային խտությունը՝ $\Phi_l \rightarrow 10^{10}...10^{12} \text{ Ֆոտոն/սմ}^2$, լուսային հոսքի (ինտենսիվության) մոդուլման օրենքը՝ $\sin$ -ալ, օքսիդային շերտի հաստությունը՝ $t_{ox} \rightarrow (30...150) \text{ նմ}$, փականի լարումը՝ $V_g \rightarrow (0..5) \text{ Վ}$, աղքատացած շերտի շունտող R_{sc} դիմադրությանը՝ $\sim 5 \text{ ՄՕհմ}$, օքսիդի շերտի շունտող R_s դիմադրությանը՝ $\sim 10 \text{ ՄՕհմ}$, $\varepsilon_{si} \sim 11,8$, $\varepsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-14} \text{ Ֆ/սմ}$: Հաշվարկներում անտեսվել են Հելմհոլցի կրկնակի շերտի ունակությունը, R_{ef} էլեկտրոդի և հարթակի չեզոք մասի դիմադրությունները, չափիչ սարքի և սնման աղբյուրի ներքին դիմադրությունը և այլն: Նկ. 3-5-ում պատկերված են արտաքին շղթայում չափվող փոփոխական $\tilde{I}_m$ հոսանքի կախվածությունները լուսային ազդանշանի մոդուլման f հաճախությունից, լիցքակիրների կյանքի τ տևողությունից, փականին կիրառված V_g լարումից, օքսիդային շերտի t_{ox} հաստությունից, լույսի հոսքի Φ_o -ինտենսիվությունից, կլանման α գործակցից, հարթակի լեգիրման Na աստիճանից և այլն:

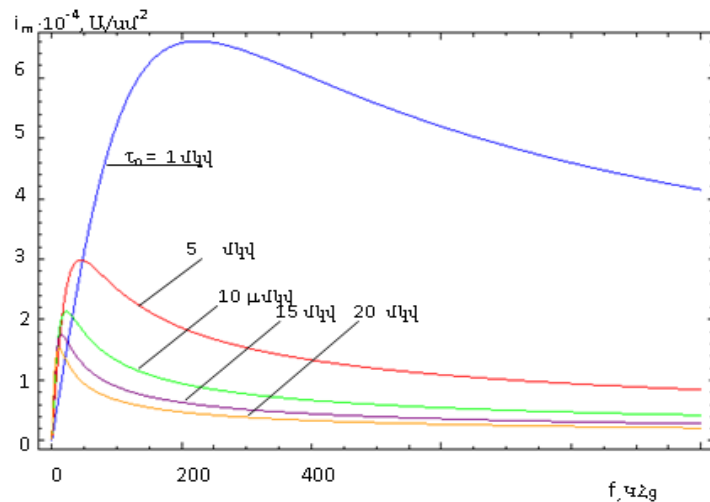
Ինչպես և սպասվում էր, լուսային հոսքի ինտենսիվության աճը հանգեցնում է աղքատացած շերտի ունակության աճման (աղքատացած շերտի հաստության նվազման): Ինչպես հետևում է կիսահաղորդչային ֆիզիկայի ընդհանուր դրույթներից, մակերևութային պոտենցիալի, աղքատացած շերտի նվազման, աղքատացած շերտի ունակության փոփոխությունները պետք է նկատվեն լուսային ազդանշանի և ֆոտոգեներացված լիցքակիրների կյանքի տևողության որոշակի հարաբերակցության պայմաններում: Եթե լուսային ազդանշանի մոդուլման հաճախականությունը շատ փոքր է ֆոտոլիցքակիրների կյանքի տևողության հակադարձ մեծությունից $f \leq \frac{1}{\tau}$, ապա ֆոտոլիցքակիրներն այդ ժամանակահատվածում կհասցնեն ռե-

կոմբինացվել և չեն կարող հետևել “լուսային” ազդանշանի փոփոխությանը:

Դա նշանակում է, որ գոյություն ունի լուսային ազդանշանի և ֆոտոգեներացված լիցքակիրների կյանքի տևողության որոշակի հարաբերակցություն, որի դեպքում կարող է նկատվել մակերևութային պոտենցիալի և աղքատացած շերտի ունակության ժամանակային փոփոխություն:



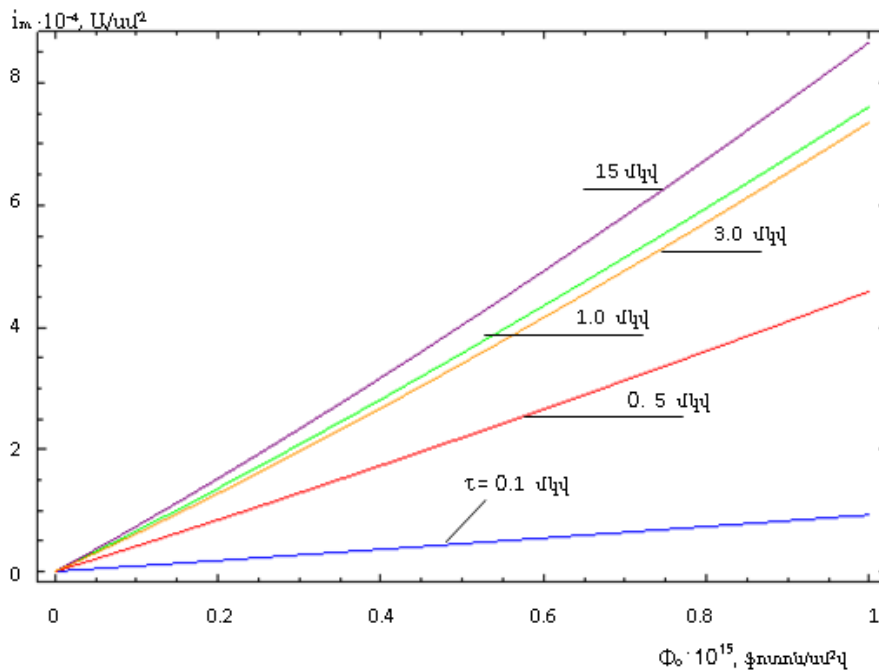
Նկ. 3. Արտաքին շղթայում չափվող i_m ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի մոդուլման f հաճախությունից Φ_0 տարբեր հոսքերի դեպքում ($Na = 10 \times 10^{15} \text{ սմ}^{-3}$, $t_{ox} = 50 \text{ նմ}$, $Vg = 1 \text{ Վ}$, $\tau = 10^{-7} \text{ վ}$, $R_s = 5 \text{ ՄՕհմ}$, $R_{sc} = 10 \text{ ՄՕհմ}$, $\alpha = 10^4 \text{ սմ}^{-1}$)



Նկ. 4. Արտաքին շղթայում չափվող i_m ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի մոդուլման f հաճախությունից լիցքակիրների կյանքի τ տևողության տարբեր արժեքների դեպքում ($Na = 10 \times 10^{15} \text{ սմ}^{-3}$, $t_{ox} = 50 \text{ նմ}$, $Vg = 1 \text{ Վ}$, $\Phi_0 = 2.5 \cdot 10^{13} \text{ ֆոտոն/սմ}^2$, $R_s = 5 \text{ ՄՕհմ}$, $R_{sc} = 10 \text{ ՄՕհմ}$, $\alpha = 10^4 \text{ սմ}^{-1}$)

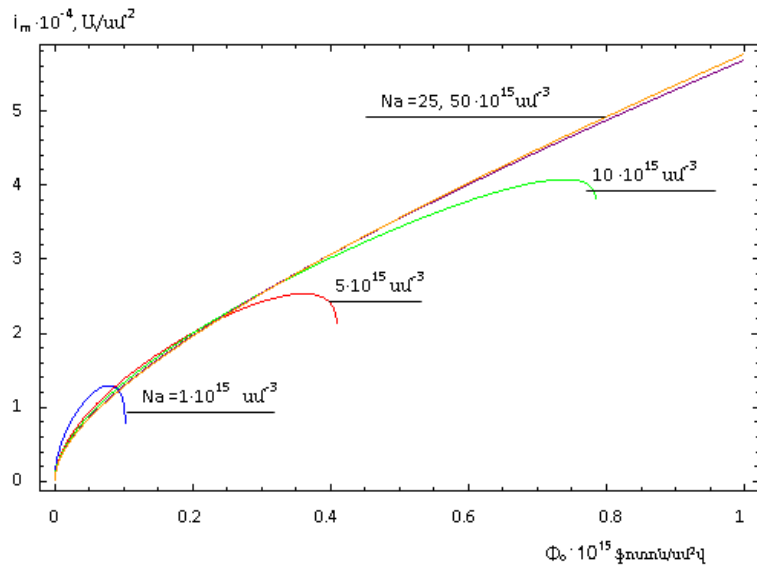
Այս կախվածությունները հստակ երևում են նկ. 3 և 4-ից: Ընդ որում, մակերևութային պոտենցիալի և աղբատացած շերտի ունակության “հագեցումը” պայմանավորված է լուսային ազդանշանի ինտենսիվության և ֆոտոլիցքակիրների կյանքի տևողության փոխհարաբերակցությունից: Ինչպես և ունակությունների դեպքում, արտաքին չափվող հոսանքը սկսում է փոփոխվել միայն լուսային ազդանշանի ինտենսի-

վության մոդուլման և լիցքակիրների կյանքի տևողության խիստ որոշակի հարաբերակցության արժեքից սկսած (նկ. 4): Φ_0 -ի (լուսային հոսքերի) մեծ արժեքների դեպքում i_m -ը հասնում է հագեցման, և միաժամանակ նեղանում է f հաճախականային տիրույթը, որտեղ ձևավորվում է ֆոտոհոսանք և, հետևաբար, արտաքին չափվող i_m -հոսանքը: Որքան մեծ է լիցքակիրների կյանքի տևողությունը, այնքան փոքր հաճախությունների դեպքում են տեղի ունենում աղքատացած շերտի ունակության մոդուլման երևույթները:



Նկ. 5. Արտաքին շղթայում չափվող i_m ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի Φ_0 հոսքից (ֆոտոն/սմ²) լիցքակիրների կյանքի τ տևողության տարբեր արժեքների դեպքում ($Na=10 \times 10^{15}$ սմ⁻³, $t_{ox}=50$ նմ, $Vg=1$ Վ, $f=10$ կՀց, $R_s=5$ ՄՕհմ, $R_{sc}=10$ ՄՕհմ, $\alpha=10^4$ սմ⁻¹)

Ինչպես երևում է նկ.6-ից, հարթակի լեգիրման Na աստիճանի աճը հանգեցնում է ունակության աճման և արտաքին շղթայում հոսանքի նվազման: Դա առաջին հերթին պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ լեգիրման աճը հանգեցնում է աղքատացած շերտի ունակության (աղքատացած շերտի հաստության նվազման) մեծացման և այդ ֆոնի վրա փոփոխական ունակության նվազման՝ ունակության հաստատուն բաղադրիչի նկատմամբ և, որպես հետևանք, ֆոտոհոսանքի և արտաքին շղթայում չափվող հոսանքի նվազման:



Նկ. 6. Արտաքին շղթայում չափվող i_m ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի Φ_0 հոսքից (ֆոտոն/սմ²վ) *p*-Si հարթակի լեգիրման տարբեր N_a խտությունների, լիցքակիրների կյանքի տևողության տարբեր արժեքների դեպքում ($\tau=10^{-7}$ վ, $t_{ox}=50$ նմ, $V_g=1$ Վ, $f=10$ կՀց, $R_s=5$ ՄՕհմ, $R_{sc}=10$ ՄՕհմ, $\alpha=10^4$ սմ⁻¹)

Եզրակացություն: Կիսահաղորդչային մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ ունակության՝ աղքատացման ռեժիմում ընթացող էլեկտրաֆիզիկական երևույթների խորացման և վերլուծության արդյունքում տեսականորեն կապ է հաստատվել մետաղ-ֆերո-էլեկտրիկ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ կառուցվածքի՝ որպես LQSi -ի հիմնական բաղադրիչի պարամետրերի, մասնավորապես, կառուցվածքի ունակության փոփոխման մեխանիզմի և մոդուլացված լույսի հաճախականության և ինտենսիվության միջև, որն այնուհետև հաստատվել է համակարգչային և ֆիզիկական փորձնական հետազոտությունների միջոցով (կներկայացվի այլ հոդվածներում):

Հետազոտության արդյունքները կնպաստեն բազմաֆունկցիոնալ, նոր տեսակի սարքերի նախագծմանը և մշակմանը, ինչը հնարավորություն կտա կիսահաղորդչային մեկ բյուրեղի ծավալում կամ մակերևույթում ինտեգրված բազմաթիվ մեմբրանների (զգայուն նանոթաղանթների) միջոցով կատարել տարբեր նյութերի առկայության և կոնցենտրացիայի ստուգում: Մշակված սարքերը կարող են կիրառվել ոչ միայն կենսաբժշկության, սննդի, դեղագործության, գյուղատնտեսության բնագավառներում, այլև բիրքիմիական տարբեր հետազոտություններում:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ ԳՊԿ-ի կողմից տրամադրվող ֆինանսական աջակցության շնորհիվ՝ № SCS 14A-2g47 գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Hafeman D.G., Parce J.W. and McConnel H.M.** Light-addressable potentiometric sensor for biochemical systems // Science. – 1998. - Vol. 240 (4856). - P. 1182-1185.
2. **Bousse L., Mostarshed S., and Hafeman D.** Investigation of carrier transport through silicon wafers by photocurrent measurements // J. Appl. Phys. – 1994. - Vol. 75 (8). - P. 4000-4008.
3. Minority carrier diffusion length effects on light-addressable potentiometric sensor (LAPS) devices / **M. Sartore, M. Adami, C. Nicolini, et al** // Sens. Actuator A. – 1992. - Vol. 32. - P. 431-436.
4. Portable light addressable potentiometric sensor (LAPS) for multisensory applications / **T. Yoshinobu, M.J. Schöning, R. Otto, et al** // Sensors and Actuators B. - 2003. - Vol. 95. – P. 352–356.
5. **Բունիաթյան Վ.Վ., Սուրբյան Լ.Ն., Դաշտոյան Հ.Ռ.** Լուսահասցեունակ կենսաբժշկական տվիչների հետազոտումը // ՀՊՀՀ ԼՐԱԲԵՐ. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու. - 2012. - Մաս 1. - Էջ 381-385:
6. **Sze S.M.** Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. - Wiley Inter science, 2006. - 898 p.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.09.2014:

Л.А. СУКОЯН, В.В. БУНИАТЯН, Т.В. ВАДУНЦ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРОЭЛЕКТРИК-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК СТРУКТУР ПРИ РЕЖИМЕ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ СВЕТОВОГО ЛУЧА

Теоретически исследована фоточувствительность ферроэлектрик-оксид-полупроводник структур, работающих по емкостному принципу под воздействием модулированного по частоте/интенсивности светового луча. Обоснована возможность регистрации, разделения и обработки сигнала, полученного при помощи модулированного светового луча из разных мембран.

Ключевые слова: ферроэлектрик, модулированный свет, полупроводник, МОП структура.

L.H. SUKOYAN, V.V. BUNIATYAN, T.V. VADUNC

THE FERROELECTRIC–OXIDE–SEMICONDUCTOR STRUCTURE CHARACTERISTICS AT THE FREQUENCY MODULATION LIGHT SIGNAL MODE

The photosensitivity of the ferroelectric-oxide-semiconductor structures operating by the capacitive principle under the influence of the frequency intensity of modulated light beam is theoretically investigated. The possibility of registrating, separating and processing the signal obtained from different membranes with the help of modulated light beam is substantiated.

Keywords: ferroelectric, modulated light, semiconductor, MOS structure.

Ա.Կ. ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ

ՄՆԱՑՈՐԴԱՅԻՆ ԴԱՍԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ $m=2^k$ ՍՈՂՈՒԼՈՎ
ԲԱԶՄԱՊԱՏԿՄԱՆ ՍԱՐՔԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ

Դիտարկված են արագագործության տեսակետից արդյունավետ մնացորդային դասերի համակարգում $m=2^k$ մոդուլով բազմապատկման գործողության ավգորիթներ, սարքի (մոդուլային բազմապատկիչների) կառուցվածքային սխեման՝ նախագծման և տրամաբանական սինթեզման ժամանակակից միջոցների կիրառմամբ:

Առանցքային բառեր. մոդուլային թվաբանություն, մոդուլային բազմապատկիչներ, օպերացիոն ավտոմատ, դեկավարող ավտոմատ, մոդուլային բազմապատկման սարքի RTL նկարագրում:

Թվային սարքերին անընդհատ ներկայացվող արագագործության բարձրացման պահանջների տեսակետից մնացորդային դասերի համակարգը (մոդուլային թվաբանությունը) դիտարկվում է որպես արագագործության բարձրացման և հաշվարկների ապահովման միջոց: Մնացորդային դասերի համակարգի օգտագործումը թույլ է տալիս էականորեն բարձրացնել թվաբանական հաշվարկների արագությունը՝ մնացորդների հետ գործողությունների զուգահեռ կատարման շնորհիվ [1]:

Աշխատանքում առաջադրված խնդրի լուծումը կարելի է իրականացնել երկու եղանակով՝ ինդեքսային բազմապատկման մեթոդով (կամ՝ դիսկրետ-լոգարիթմական մեթոդ) [2] և երկու դրական թվերի սովորական երկուական բազմապատկմամբ, որից, որպես վերջնական արժեք, վերցված են ընդհանուր արտադրյալի ցածր k բիթերը:

Դիտարկված է մնացորդային դասերի համակարգում $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների նախագծման այն սկզբունքը, որը հիմնված է մոդուլային թվաբանության և դասական բուլյան հանրահաշվի հատկությունների միավորման վրա: Շնորհիվ մոդուլային թվաբանության հատկանիշների՝ 2^k մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների իրագործումը կարելի է իրականացնել հետևյալ կերպ:

Ենթադրենք՝ տրված են a և b դրական թվերը՝ $a > 0$ և $b > 0$, և նրանց $P=axb$ արտադրյալը: Եթե երկու թվերը փոքր են մոդուլի 2^k արժեքից, և a և b թվերը կարող են ներկայացվել n բիթերով (երկու թվերն ունեն միևնույն կարգայնությունը), ապա թվերի P արտադրյալը կարող է ներկայացվել հետևյալ բանաձևով՝

$$P = \sum_{i=0}^{2n-1} r_i \cdot 2^i, \quad (1)$$

որտեղ r_i -ն a և b թվերի բազմապատկման i -րդ բիթն է:

(1) Բանաձևը գրենք ընդլայնված տեսքով՝

$$P = \sum_{i=0}^{n-1} r_i \cdot 2^i + 2^n \sum_{i=n}^{2n-1} r_i \cdot 2^{i-n} \quad (2)$$

Հաշվարկենք (2) արտահայտության արժեքը մոդուլի համար: Հարմարության համար փոխարինենք 2^k մոդուլի տեսքը m -ով: Համապատասխանաբար, այդ արտահայտությունը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$|P|m = \left| \sum_{i=0}^{n-1} r_i \cdot 2^i + |2^n|m \cdot \sum_{i=n}^{2n-1} r_i \cdot 2^{i-n} \right| m \quad (3)$$

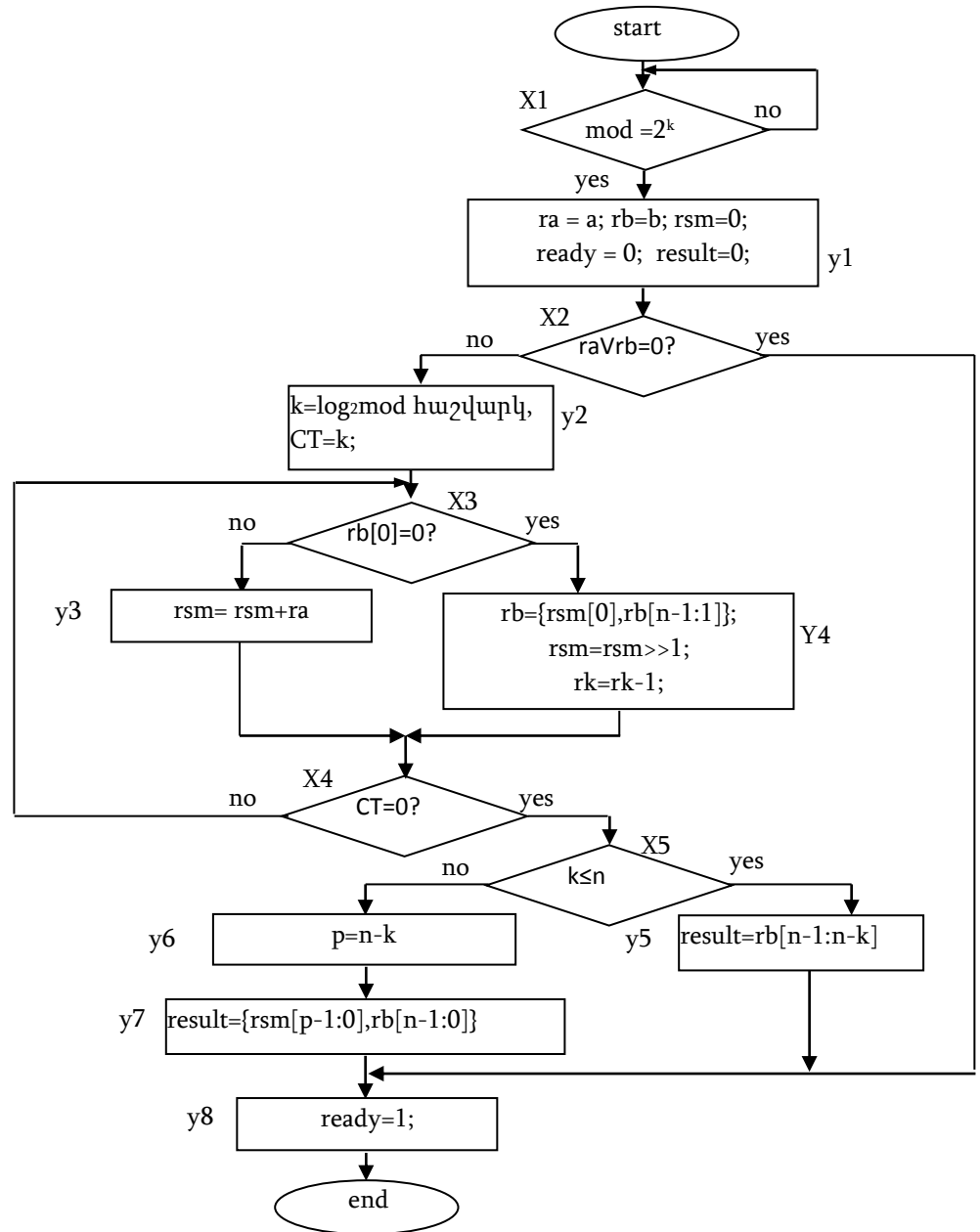
Հաշվի առնելով այն փաստը, որ $|2^k|m=0$, արտահայտություն (3)-ը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ՝

$$|P|m = \left| \sum_{i=0}^{n-1} r_i \cdot 2^i \right| m \quad (4)$$

Նկատի ունենալով այս ամենը՝ $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչը ներկայացնում է a և b դրական թվերի սովորական երկուական բազմապատկիչ, որից որպես վերջնական արժեք վերցված են ընդհանուր $P=axb$ արտադրյալի ցածր k բիթերը [3,4]:

Որպես հիմք ընդունելով a և b դրական թվերի բազմապատկման երկուական ալգորիթմը, ըստ որի բազմապատկումը կատարվում է n տակտում (n -ը արտադրիչների կարգերի քանակն է), առաջարկվում է $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկման ալգորիթմ, համաձայն որի բազմապատկումը կատարվում է k տակտում, եթե $k \leq n$, և n տակտում, եթե $k > n$: Ալգորիթմի բլոկ-սխեման ներկայացված է նկ.1-ում:

Երկու n -կարգանի a և b թվերը տեղակայվում են համապատասխանաբար ra և rb ռեգիստրներում: m մոդուլի արժեքը տեղակայվում է $rmod$ ռեգիստր: Երկուական բազմապատկման գործողության իրականացման համար առանձնացվում է նաև rsm ռեգիստրը, որտեղ կգրանցվեն բազմապատկման ընթացքում ձևավորվող միջանկյալ գումարման արդյունքները, ինչպես նաև *result* վերջնական արդյունքի ռեգիստրը, որտեղ կգրանցվի $P=(axb) \bmod m$ մոդուլային բազմապատկման արդյունքը: a կամ b թվերի գրոյին հավասար լինելը ստուգելուց հետո ($X2$ պայմանը) առանձին ալգորիթմով կատարվում է k արժեքի հաշվարկը, որը տեղակայվում է CT հաշվիչ, քանի որ բազմապատկման գործողությունը կատարվելու է ոչ թե n , այլ k տակտերի ընթացքում: Համաձայն դասական երկուական, առանց նշանի թվերի բազմապատկման ալգորիթմի՝ արտադրյալի բարձր կարգերը ձևավորվում են rsm ռեգիստրում, իսկ ցածր կարգերը՝ rb ռեգիստրում:

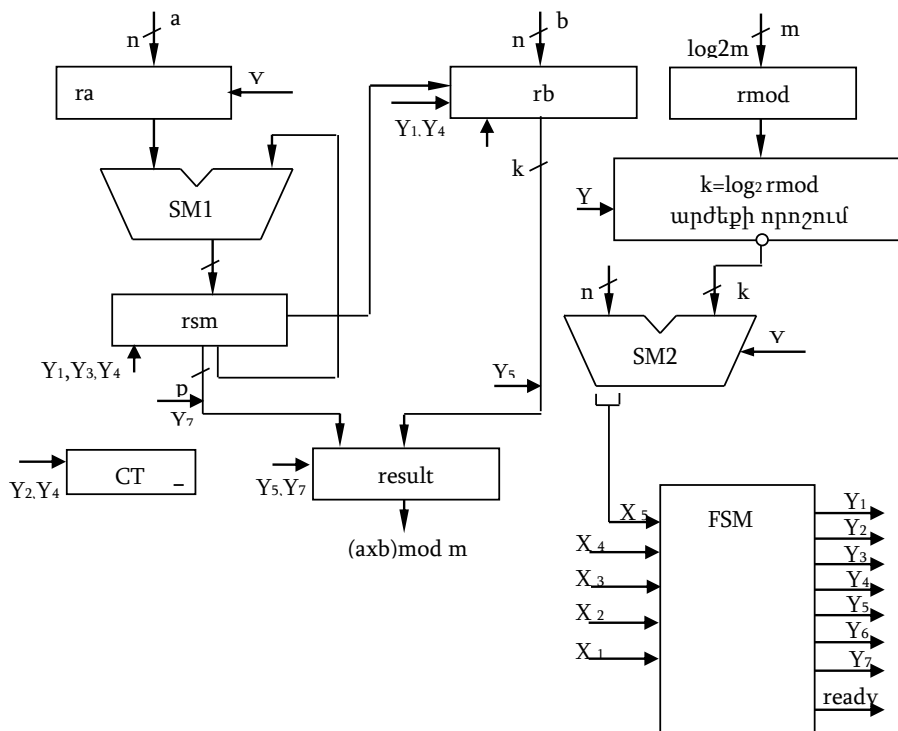


Նկ. 1. $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչի ալգորիթմի բլոկ-սխեման

Ելնելով այս փաստից, $P=(axb)\bmod m$ մոդուլային բազմապատկման արդյունքի վերջնական արժեքի ձևավորման համար անհրաժեշտ է քննարկել երկու դեպք՝ երբ $k \leq n$, և երբ $k > n$ (X5 պայմանը):

Եթե $k \leq n$, ապա *result* ռեգիստրում տեղակայվում են *rb* ռեգիստրի բարձր k բիթերը ($result=rb[n-1:n-k]$), հակառակ դեպքում *result* ռեգիստրում տեղակայվում են *rsm* ռեգիստրի ցածր $p=n-k$ բիթերը՝ միավորված *rb* ռեգիստրի n բիթերի հետ ($result=\{rsm[p-1:0],rb[n-1:0]\}$):

Համաձայն նկ.1-ում ներկայացված ալգորիթմի՝ մշակվել է ղեկավարող ազդանշաններով համալրված 2^k մոդուլով մոդուլային բազմապատկման սարքի կառուցվածքային սխեման (նկ. 2):



Նկ. 2. $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչի կառուցվածքային սխեման

Ղեկավարող ազդանշանները նշված են նկ. 1-ում բերված ալգորիթմի բլոկ-սխեմայի օպերացիոն բլոկներին համապատասխան և ձևավորվում են FSM (Final State Machine) ղեկավարող ավտոմատի միջոցով [5] :

Կառուցվածքային սխեմայում *SM1* գումարիչը կատարում է սովորական երկուական գումարում և երկուական բազմապատկման գործողության կատարման ֆունկցիոնալ հանգույցն է, իսկ *SM2* գումարիչի միջոցով որոշվում է n և k արժեքների տարբերությունը, և հաշվարկվում է p արժեքը ($p=n-k$):

Այնուհետև վերլուծվում է SM2 գումարիչի բարձր բիթը, եթե այն հավասար է զրոյի, ապա կարելի է եզրակացնել, որ $k \leq n$, հակառակ դեպքում՝ $k > n$:

Առանձին ուշադրության է արժանի k արժեքի որոշումը: Քանի որ այն հաշվարկվում է $k = \log_2 \text{mod}$ բանաձևին համաձայն, ապա անհրաժեշտ է հաշվարկել m մոդուլի արժեքի լոգարիթմը: Այս հաշվարկն իրականացնելու համար բավական է $r \bmod$ տեղաշարժող ռեգիստրի աջ տեղաշարժերի միջոցով որոշել միակ «1» արժեքի դիրքը (կարգը), ինչը և կհանդիսանա $\log_2 \text{mod}$ արտահայտության արժեքը:

2^k մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների նախագծման համար Verilog լեզվով RTL-նկարագրման ժամանակ սարքի յուրաքանչյուր բլոկը նկարագրվում է առանձին *always* պրոցեդուրային օպերատորի միջոցով, իսկ, եթե այն կոմբինացիոն սխեմա է, ապա կարող է նկարագրվել նաև *assign* օպերատորի կիրառմամբ: Մասնավորապես՝

```
module
...
always @ (posedge clk )
begin
if(y1) begin ready1=0;ready=0; ra=a; rb=b; rmod=mod;acc=0;cout=0;result=0; end else
if(y2) begin ct=4'b1000; end else
if(y3) {cout,acc}=acc+ra; else
if(y4) begin rb={acc[0],rb[n-1:1]}; acc={cout,acc[n-1:1]}; ct=ct-1; end else
if(y5) ct=ct;
if(y6) begin rk={acc,rb}; r1=rk;r2=rk; ready=1; end
if(y7) begin r1=r1-rmod; r2=r1; end
if(y8) begin result=r2[m-1:0]; ready1=1; end
ready1=0; end
...
assign x2=(ra||rb==0);
assign x3=(rb[0]);
assign x4=(ct==0);
assign x5=(r1<rmod);
...
endmodule
```

Արդյունքում՝ ստացվում է սարքի RTL-նկարագրումը, որի հիմքի վրա կարելի է սինթեզել սխեման:

2^k մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների կառուցման համար կարելի է առաջարկել նաև փոխանցումը պահպանող գումարիչների հիման վրա կառուցված $k/2$ -կարգանի կոմբինացիոն բազմապատկիչների կիրառումը, սակայն, ինչպես նշվել է, որպես ապարատային ծախսեր պահանջվում են $5k/2$ լրիվ գումարիչներ, իսկ փոխանցման ազդանշանի տարածման ժամանակը՝ $3k/2 + 2(k/2 - 1) - 1 = 5k/2 - 3$ [6]:

Եզրակացություն: Ելնելով վերը նշվածից՝ կարելի է եզրակացնել, որ $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների նախագծման առաջարկված եղանակը ավելի արդյունավետ է արագագործության և օգտագործվող գումարիչների կարգայնության տեսանկյունից (k տակտ)՝ համեմատած ավանդական ըստ $\text{mod } m$ -ի բազմապատկման մեթոդի, այսինքն՝ կատարվում է սովորական բազմապատկում և հաջորդող բաժանում m -ի մոդուլի վրա, քանի որ բաժանարարի (մոդուլ m -ի արժեքի) նորմալացման, քանորդի յուրաքանչյուր բիթի հաշվարկման և, ի վերջո, վերջնական մնացորդի, որը և կհանդիսանա $(axb) \bmod m$ արդյունքը, հնարավոր նորմալացման անհրաժեշտ գործընթացները կարող են արագագործության նվազեցման պատճառ դառնալ ($(n+2n-\log_2 m+3)$ տակտ՝ n տակտ բազմապատկման, $2n-\log_2 m+1$ տակտ քանորդի կարգերի որոշման և 2 տակտ բաժանարարի և վերջնական մնացորդի նորմալացման համար):

Աղյուսակում ներկայացված են երկուական բազմապատկման և հաջորդող՝ m -ի մոդուլի վրա բաժանման եղանակով (եղանակ 1) և առաջարկվող՝ $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների եղանակով (եղանակ 2) կառուցված սարքերի աշխատանքի ժամանակի և օգտագործվող գումարիչների վերլուծությունները $n=8$ և $n=16$ կարգայնություն ունեցող թվերի դեպքում:

Աղյուսակ

Մոդուլի արժեք	n=8				n=16			
	Եղանակ 1		Եղանակ 2		Եղանակ 1		Եղանակ 2	
	Տակտ. քանակ	Գումարիչ. քանակ	Տակտ. քանակ	Գումարիչ. քանակ	Տակտ. քանակ	Գումարիչ. քանակ	Տակտ. քանակ	Գումարիչ. քանակ
m=16 k=4	23	1x8 և 1x16 կարգ. ՏՄ	4	2x8կարգ. ՏՄ	47	1x16և 1x32 կարգ. ՏՄ	4	2x16 կարգ. ՏՄ
m=64 k=6	18	1x8 և 1x16 կարգ. ՏՄ	6	2x8կարգ. ՏՄ	45	1x16և 1x32 կարգ. ՏՄ	6	2x16 կարգ. ՏՄ
m=1024 k=10	13	1x8 և 1x16 կարգ. ՏՄ	8	2x8կարգ. ՏՄ	41	1x16և 1x32 կարգ. ՏՄ	10	2x16 կարգ. ՏՄ

Ինչպես երևում է աղյուսակից, $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչների եղանակով (եղանակ 2) կառուցված սարքերի արագագործությունը զգալիորեն բարձրանում է, իսկ ապարատային ծախսերը (մասնավորապես՝ գումարիչների քանակը և կարգայնությունը) կրճատվում:

Նշենք, որ $m=2^k$ մոդուլով մոդուլային բազմապատկիչները կարող են կիրառվել նաև $m=2^{k+1}$ և $m=2^{k-1}$ մոդուլներով կոդերի հսկում իրականացնող մասնագիտացված սարքերում, իսկ այն մասնավոր դեպքերում, երբ $m=2^{k+1}$ և $m=2^{k-1}$ թվերը պարզ թվեր են (օրինակ՝ $m=2^4+1=17$, $m=2^8+1=257$, $m=2^5-1=31$, $m=2^8-1=127$ և այլն), ապա նմանատիպ բազմապատկիչները կարող են կիրառվել նաև որոշ ալգորիթմներով (RSA գաղտնագրման ալգորիթմ, ԴիՖֆի-Հելլմանի գաղտնագրման բանալիների գեներացման ալգորիթմ) գաղտնագրման սարքերի կառուցման դեպքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Акушский И.Я., Юдицкий Д.И.** Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Советское радио, 1968.- 486с.
2. **Կիրակոսյան Գ.Տ., Սաղաթելյան Ա.Կ.** Մնացորդային դասերի համակարգում ինդեքսային մեթոդով բազմապատկման սարքերի նախագծումը // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և կառավարում. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- 2014.- Մաս 1.- էջ 110-115:
3. **Taylor F.** LargeModuliMultipliersforSignalProcessing // IEEE Transactionson Circuits and Systems.- 1981.- Vol. CAS-28, N7.- P. 731–736.
4. Исследование и разработка методов аппаратной реализации базовых элементов и основных вычислительных процедур для специализированных устройств цифровой обработки сигналов с применением нетрадиционной арифметики: Отчет о НИР (заключ.), шифр "Вега-К-2004" / ИПИМРАН; рук. А.Л. Стемповский. – М., 2007. - № ГР01200410531. - Инв. № 02200601688.
5. **Стемповский А.Л., Корнилов А.И., Семёнов М.Ю.** Особенности реализации устройств цифровой обработки сигналов в интегральном исполнении с применением модулярной арифметики // Информационные технологии.- 2004.- №2.- С. 2–9.
6. **Туманян А.К., Сагателян А.К.** Построение схем умножения на основе комбинационных умножителей // Моделирование, Оптимизация, Управление. ISSN 1829-216x: Вестник ГИУА.- 2011.- Вып. 14, том 1.- С. 82-91.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացված է խմբագրություն 31.09.2014:

Ա.Կ. ՏԱԳԱՏԵԼՅԱՆ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ УМНОЖЕНИЯ ПО МОДУЛЮ $m=2^k$ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Рассмотрены эффективный, с точки зрения быстродействия, алгоритм и структурная схема устройства умножения по модулю $m=2^k$ в системе остаточных классов с применением современных методов проектирования и логического синтеза.

Ключевые слова: модулярная арифметика, модулярные умножители, операционный автомат, управляющий автомат, RTL описание устройства модулярного умножения.

A.K. SAGHATELYAN

DESIGNING MULTIPLIERS BY THE MODULE $m=2^k$ IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES

An efficient, in terms of fast performance, algorithm anda blockdiagram of a multiplication device by the module $m = 2^k$ in the system of residual classes by using modern methods of design and logic synthesis are considered.

Keywords: modular arithmetic, modular multipliers, operating unit, control unit, RTL description of the device for modular multiplication.

М.В. МАРКОСЯН, В.Г. АВЕТИСЯН, А.А. МАНУКЯН, М.А. МОСЕСОВ,
В.Х. ТОНОЯН, А.Е. САРЬЯН, Р.М. ПЕТРОСЯН, Э.А. АРУТЮНЯН,
К.А. КАЗАРЯН

АНТЕННАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН

Описывается комплекс технических решений, направленных на значительное сокращение времени сворачивания (разворачивания) антенной системы радиолокационной станции диапазона метровых волн. Приведенные и реализованные решения для механики антенной системы и системы ее управления способствуют повышению мобильности радиолокационной станции.

Ключевые слова: антенная система, радиолокационная станция, диапазон метровых волн.

Введение. В [1] обоснована необходимость мероприятий по повышению мобильности радиолокационной станции (РЛС) диапазона ультракоротких волн (УКВ) путем значительного сокращения времени сворачивания (разворачивания) ее антенной системы, а также показана взаимосвязь мероприятий радиотехнического и конструкторско-технологического планов.

Цель работы – представить конструкторско-технологические решения в механике антенной системы, охватывающей антенную решетку и антенно-мачтовое устройство, и в системе автоматического управления разворачиванием и сворачиванием антенной системы РЛС.

Рабочая антенная система. Антенная система РЛС содержит:

- антенную решетку;
- антенно-мачтовое устройство;
- подсистему энергоснабжения и автоматического управления.

Вся антенная система размещена на трехосной платформе контейнера стандартного трейлера. На рис.1 приведен фотоснимок антенной системы в рабочем состоянии на несущей платформе контейнера, а на рис. 2 - фотоснимок антенной системы в свернутом состоянии.

Регулируемые по высоте опоры платформы в количестве 6-и штук - четыре неподвижные и две выдвижные опоры (размах между ними 5,4 м), создают достаточные плечи, обеспечивающие устойчивое и стабильное состояние антенной системы при наличии моментов, обусловленных весовыми и ветровыми нагрузками в процессе эксплуатации. Горизонтирование платформы осуществляет специальная программно-аппаратная подсистема регулирования опор по высоте.

Задача перевода антенной системы РЛС в транспортное положение состоит в ее укладке в контейнер, имеющий длину 13,62 м, ширину 2,55 м и высоту 2,48 м. Поскольку горизонтальный размер антенной решетки составляет 17,7 м [1], общая горизонтальная ферма выполнена в виде двух составных складывающихся ферм длиной по 8,8 м каждая, что достаточно для размещения решетки в сложенном состоянии по длине контейнера. Деление общей фермы на более чем две части нецелесообразно с точки зрения увеличения ширины сборной фермы и усложнения ее конструкции дополнительными узлами.



Рис. 1. Фотоснимок смонтированной на платформе антенной системы



Рис. 2. Фотоснимок антенной системы в свернутом состоянии

Антенная решетка. Основными составными узлами антенной решетки являются центральная секция и две складывающиеся фермы излучателей антенной решетки. Фермы закреплены к бокам центральной секции с помощью осей. Перечисленные основные узлы показаны на фотоснимке, приведенном на рис. 3.

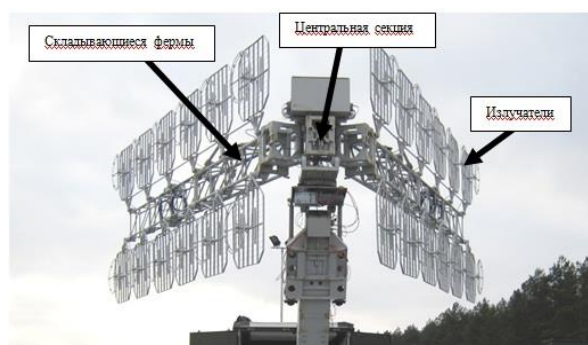


Рис. 3. Фотоснимок антенной решетки

Фермы изготовлены из стальных труб круглого сечения для уменьшения аэродинамического сопротивления и обледенения [2 - 4]. Каждая ферма состоит из двух этажей излучателей в виде кольцевых антенн [5] по 12 штук в каждом

линейном ряду этажа, а каждый излучатель имеет держатель 1 (см. рис. 4) с шарнирной опорой 2, закрепленной на ферме. Вертикальный рабочий габаритный размер фермы с антеннами составляет 3,6 м. В верхней части центральной секции размещен верхний электрошкаф подсистемы энергоснабжения и автоматического управления, обеспечивающий автоматическое сворачивание (разворачивание) антенн и ферм с помощью соответствующих актуаторов.

Держатели группы из 6-и антенн каждого этажа фермы соединены между собой горизонтальной тягой 3, чье горизонтальное смещение осуществляется актуатором 4 укладки антенн в горизонтальное положение при переводе антенной системы в транспортное состояние. Возможность такой укладки антенн обеспечивается смещением в 0,08 м (в вертикальной плоскости) антенн нижнего ряда относительно антенн верхнего ряда. При уложенном состоянии антенн вертикальный габаритный размер фермы равен 2,1 м, что меньше высоты контейнера и позволяет укладку в него сложенных ферм антенной решетки.

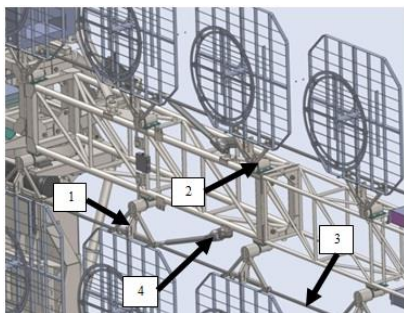


Рис. 4. Фрагмент фермы антенной решетки

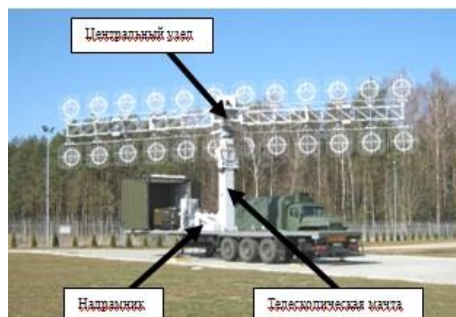


Рис. 5. Основные составные единицы антенно-мачтового устройства

Четыре актуатора тяг групп из 6-и антенн и делители высокочастотной мощности низких уровней с соответствующими фидерами размещены на составных фермах антенной решетки. Делители же высокочастотной мощности высоких уровней размещены в центральной секции. На ней также установлены актуаторы сворачивания (разворачивания) составных ферм. Для снятия ветровых нагрузок на актуаторы в рабочем развернутом положении решетки фермы снабжены электромеханическими фиксаторами [6, 7].

Антенно-мачтовое устройство. На фотоснимке (см. рис. 5) указаны основные составные единицы антенно-мачтового устройства. Это его основание – надрамник, телескопическая мачта, которая закреплена к надрамнику двумя шарнирными узлами на подшипниках, два соответствующих актуатора для приведения телескопической мачты из транспортного горизонтального положения в рабочее вертикальное положение и наоборот, а также центральный узел, находящийся под центральной секцией антенной решетки.

Привод выдвижной внутренней трубы телескопической мачты обеспечивает расположение центра симметрии антенной решетки на высотах от 6,5 до 9,7 м с дискретом 0,8 м. В каждом положении внутренняя верхняя труба телескопической мачты фиксируется клиновым фиксатором. Выдвижение внутренней трубы мачты осуществляется с помощью тросовой системы от лебедки, расположенной на внешней поверхности нижней наружной трубы. На ее внутренней поверхности закреплены специальные направляющие, вдоль которых выдвигается внутренняя труба. Во внутренней полости мачты расположена металлическая кабельная цепь, обеспечивающая правильную и безопасную укладку радиочастотных кабелей и кабелей электропитания в процессе выдвижения внутренней трубы мачты [8].

Центральный узел антенно-мачтового устройства изображен на рис. 6.

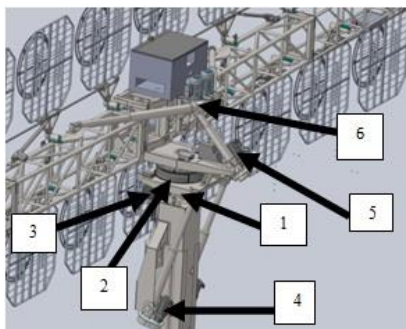


Рис. 6. Центральный узел антенно-мачтового устройства и центральная секция антенной решетки

Основой центрального узла служит азимутальная платформа 1. На азимутальной платформе размещены главный подшипник 2, электродвигатель азимутального привода 3, коллектор электрических цепей, радиочастотный вращающийся переход, азимутальный n-кодер. Актуаторы 4 обеспечивают горизонтальность платформы. Инклинометр производит отсчет текущего значения угла отклонения плоскости азимутальной платформы от перпендикулярности относительно вертикальной оси мачты.

Азимутальный привод с частотным управлением обеспечивает азимутальное вращение антенной решетки со скоростями в интервале (3...6) об/мин, а также плавные режимы разгона и остановки ее вращения на телескопической мачте.

Движение актуаторов 4 горизонтальности азимутальной платформы в процессе сворачивания или разворачивания программно синхронизировано с движением актуаторов подъема нижней трубы телескопической мачты.

Корректировка и контроль положения антенной решетки по углу места осуществляются n-кодером угла места и соответствующим актуатором 5, обеспечивающим заданное угломестное положение решетки в интервале углов от -5° до $+15^\circ$. Позицией 6 обозначены актуаторы ферм.

Подсистема энергоснабжения и автоматического управления. Подсистема содержит два дизель-генератора автономного питания (рабочий и резервный) и нижний электрошкаф управления и контроля, размещенные на платформе контейнера. В состав этой подсистемы входит также расположенный в верхней части центральной секции антенной решетки верхний электрошкаф управления и контроля. Эти единицы указаны на рис. 7.



Рис. 7. Основные единицы подсистемы энергоснабжения и автоматического управления

Комплекс управления антенной системой представляет собой сложную программно-аппаратную реализацию, обеспечивающую автоматическое синхронное функционирование всех механизмов антенной системы и их контроль. Процессы сворачивания (разворачивания) излучателей и ферм антенной решетки, их фиксации, горизонтирования установки антенной решетки, а при необходимости, корректировки ее рабочего положения по углу места обеспечиваются верхним электрошкафом и его контроллером. Нижний электрошкаф и его контроллер обеспечивают процесс азимутального вращения антенной решетки с заданной скоростью и в заданном режиме, процесс установки телескопической мачты антенной системы из транспортного положения в рабочее и наоборот, а также процесс подъема антенной решетки на заданную рабочую высоту и ее фиксацию. Разработанное программное обеспечение позволяет диагностировать состояние всех узлов, положения датчиков и выдавать соответствующие команды на исполнение. В качестве протокола обмена данными между контроллерами выбран «CANOPEN», позволяющий повысить надежность обмена данных на относительно большие расстояния.

Структура управления предусматривает два режима – автоматический режим по принципу “с одной кнопки” и ручной режим, обеспечивающий автономное управление каждым механизмом.

Пульт оператора представляет собой терминал, содержащий кнопки управления и информационное табло, на котором высвечиваются необходимые световые и словесные подсказки. Пульт управления изображен на рис. 8.

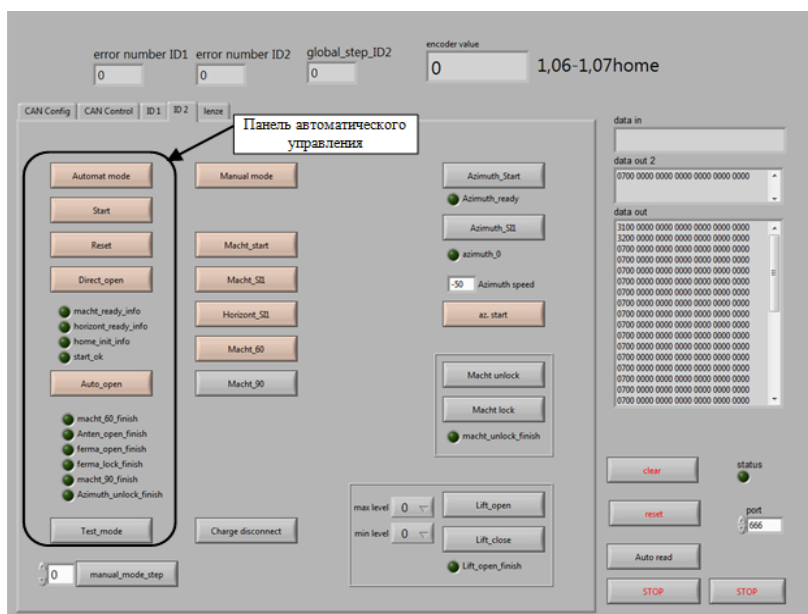


Рис. 8. Пульт управления

Этапы автоматического разворачивания и сворачивания антенной системы. На рис. 9 - 14 представлен процесс автоматического разворачивания антенной системы, состоящий из 6-и последовательных этапов при их следующих конечных состояниях:

- первый этап - тент контейнера трейлера сложен, опоры платформы контейнера приведены в рабочее положение; максимальная продолжительность – 5 мин;
- второй этап - телескопическая мачта антенной системы поднята и составляет угол 60° относительно горизонта; продолжительность подъема – 2 мин 11 с;
- третий этап – излучатели антенной решетки развернуты и приведены в рабочее вертикальное состояние; продолжительность – 56 с;
- четвертый этап - фермы антенной решетки развернуты в рабочее состояние и зафиксированы; продолжительность – 3 мин 7 с;
- пятый этап - телескопическая мачта поднята в рабочее вертикальное положение; продолжительность - около 1 мин;

- шестой этап – антенная решетка поднята на требуемую высоту, и начинается ее азимутальное вращение; максимальная продолжительность – 3 мин;

Этапы автоматического сворачивания выполняются в обратном порядке. Общее максимальное время разворачивания (сворачивания) составляет 15 мин.

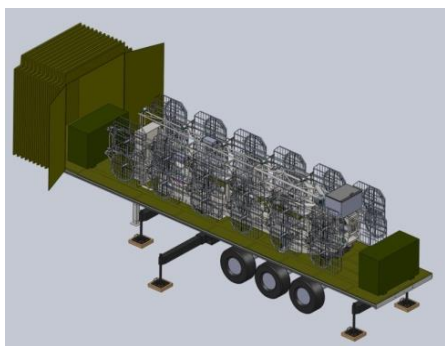


Рис. 9. 1-й этап

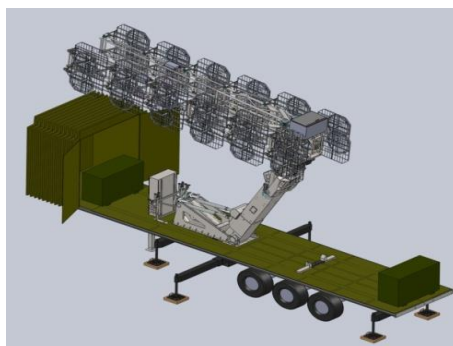


Рис. 10. 2-й этап

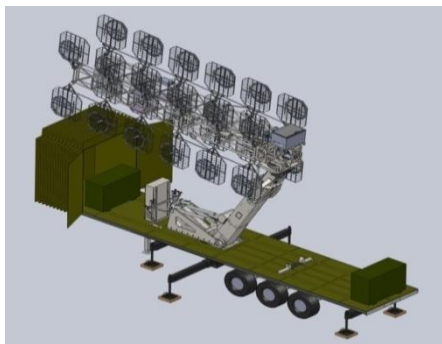


Рис. 11. 3-й этап

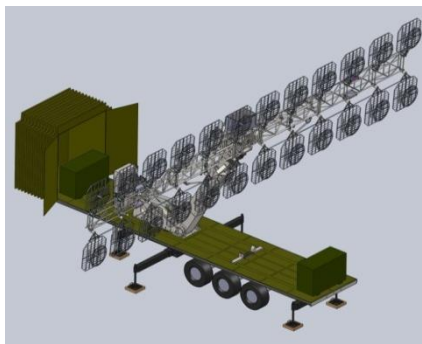


Рис. 12. 4-й этап

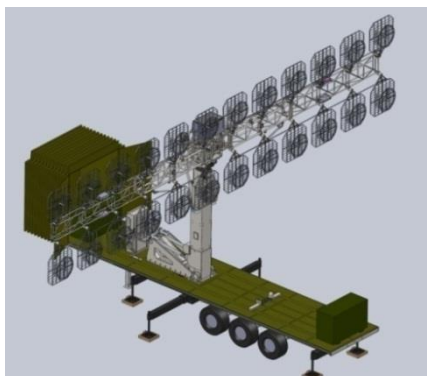


Рис. 13. 5-й этап

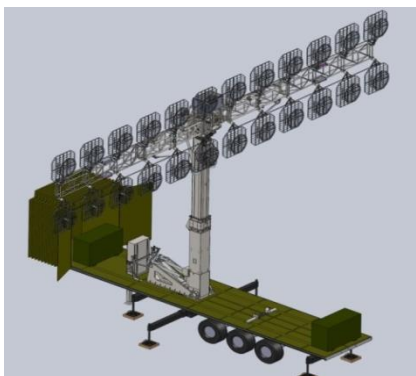


Рис. 14. 6-й этап

Краткий обзор по проектированию конструкций антенной системы.

Для всех основных конструкций выполнены моделирование и расчеты по выбору материалов и определению прочности и жесткости при реальных условиях работы. Это - воздействия весовых нагрузок, нагрузок при транспортировке, ветровых нагрузок при скорости ветра до 40 м/с и толщине обледенения до 10 мм, а также учет динамических и аэродинамических характеристик конструкций при азимутальном вращении антенной решетки со скоростью 6 об/мин. Расчеты были произведены по программе Solid Works 2012, Solid Works Flow Simulation CO-ADAPCO STAR –CCM+ [2, 9 - 12].

На этапе проектирования антенной системы, при сравнительном анализе с целью выбора принципа работы приводов, выбор был сделан в пользу электро-механических актуаторов, как более надежных, менее сложных и дешевых по сравнению с гидравлическими или пневматическими [13]. В процессе моделирования всей системы были определены требуемые мощности электро-механических актуаторов и точки их опор. Спроектированные и изготовленные актуаторы снабжены шариковинтовыми передачами, сервомоторами, датчиками обратной связи, датчиками температуры и тормозом. Они имеют высокий КПД и обеспечивают высокоточное движение с программным управлением [2, 14 - 19].

Выводы

Для повышения мобильности РЛС диапазона УКВ предложены конструктивно-технологические решения при реализации:

- телескопического мачтового устройства;
- заданной установки антенной решетки по высоте и углу места;
- азимутального вращения в заданном режиме;
- компактного сворачивания и разворачивания излучателей антенной решетки;
- надежного сворачивания и разворачивания самой антенной решетки;
- программно-электронного автоматического управления процессом сворачивания и разворачивания антенной системы в целом.

Таким образом, предпринятые и приведенные в [1] мероприятия радиотехнического плана и описанный комплекс технических решений настоящей работы привели, с одной стороны, к созданию РЛС диапазона УКВ с улучшенными радиотехническими параметрами антенной решетки по сравнению с прототипом; с другой стороны, при такой РЛС, имеющей автоматизированную систему синхронного управления механизмами антенной системы, время перевода РЛС с транспортного положения в рабочее и наоборот сокращается, как минимум, в 6...7 раз.

В результате реализованная РЛС обладает лучшими тактико-техническими характеристиками, возможностью ее эксплуатации при сокращенной численности обслуживающего персонала и, что весьма существенно, значительно повышенной мобильностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модернизация антенной системы радиолокационной станции диапазона метровых волн / **М.В. Маркосян, В.Г. Аветисян, А.А. Оганесян** и др. // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2014.- Т. 67, № 2.- С. 173-182.
2. **Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.** Расчет на прочность деталей машин: Справочник.- 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993.- 640 с.
3. **Гохберг М.М.** Металлические конструкции подъемно-транспортных машин.- М.: Машиностроение, 1969.- 520 с.
4. **Давыдов Е.Ю.** Проектирование ферм из круглых и прямоугольных труб.- Минск: БГПА, 2000.-128 с.
5. The measurements of parameters of UHF antenna array radiators / **M.V. Markosyan, V.H. Avetisyan, A.A. Hovhannisyan et al** // Proc. Intern. Conf. on Microwave and THz Technologies and Wireless Communication. -Yerevan, Armenia, October 16-17, 2012. - P. 156-161.
6. **Орлов П.И.** Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. П.Н. Учаева.- Изд. 3-е, испр.- М.: Машиностроение, 1988.- 560 с.
7. **Орлов П.И.** Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2/Под ред. П.Н. Учаева.- Изд. 3-е, испр.- М.: Машиностроение, 1988.-544 с.
8. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.2.- 9-е изд., перераб. и доп./Под ред. И.Н. Жестковой.- М.: Машиностроение, 2006.- 960 с.
9. **Алямовский А.А.** COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010.-784с. (Серия “Проектировщик”).
10. **John D. Anderson.** Fundamentals of Aerodynamics. - Mcgraw Hill Series in Aeronautical and Aerospace Engineering, 2010. - 1152 p.
11. **Jack Moran.** An Introduction to Theoretical and Computational Aerodynamics. - Dover Books on Aeronautical Engineering, 2010.- 480 p.
12. **Kishor C. Mehta, William L. Coulbourne.** Wind Loads Guide to the Wind load Provisions of ASCE 7-10. - American Society of Civil Engineers, 2013.- 186 p.
13. **Навроцкий К.Л.** Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. - М.: Машиностроение, 1991.- 384с.
14. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов / **С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др.**- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 2004.-560 с.
15. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986.- 656 с.
16. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986.- 496 с.
17. **SKF Catalogue 6000 EN 2005 (www.skf.com).**
18. **Стали и сплавы. Справочник:** Справ.изд./ **В.Г. Сорокин и др.;** Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001.- 608 с.
19. **HIWIN Catalogue 2010 Form S99TE 16-1003 (www.hiwin.com.tw)**

Ереванский НИИ Средств связи, Институт Математики и Высоких Технологий Российско–Армянского (Славянского) университета. Материал поступил в редакцию 10.04.2014.

Մ.Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Վ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ,
Մ.Ա. ՄՈՍԵՍՈՎ, Վ.Խ. ՏՈՆՈՅԱՆ, Ա.Ե. ՍԱՐՅԱՆ, Ռ.Մ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ,
Է.Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Կ.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

**ՄԵՏՐԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՇԱՐԺՈՒՆԱԿ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՅԻՈՆ
ԿԱՅԱՆԻ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ**

Նկարագրվում է տեխնիկական լուծումների համալիրը՝ ուղղված մետրային ալիքների տիրույթի ռադիոլոկացիոն կայանի անտենային համակարգի բացազատման (հավաքման) ժամանակի զգալի կրճատմանը: Բերված և իրականացված լուծումները նպաստում են անտենային համակարգի մեխանիկայի և նրա կառավարման համակարգի ռադիոլոկացիոն կայանի շարժունակության բարձրացմանը:

Առանցքային բառեր. անտենային համակարգ, ռադիոլոկացիոն կայան, մետրային ալիքների տիրույթ:

**M.V. MARKOSYAN, V.H. AVETISYAN, A.A. MANUKYAN, M.A. MOSESOV,
V. Kh. TONOSYAN, A.E. SARYAN, R.M. PETROSYAN,
E.A. HARUTUNYAN, K.A. GHAZARYAN**

THE ANTENNA SYSTEM OF METER WAVEBAND MOBILE RADAR

The complex of technical solutions aimed at a significant decrease in the clotting (setup) time of meter waveband radar antenna system is described. The presented and realized solutions for the mechanics of the antenna system and its control system promote the increase in radar mobility.

Keywords: antenna system, radar, meter waveband.

С.О. СИМОНЯН, М.А. АДАМЯН

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ
ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОРРЕКТНЫХ СИСТЕМ КОНЕЧНЫХ
УРАВНЕНИЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ МАТРИЦАМИ

Предложены конструктивные декомпозиционные аналитические и численно-аналитические матрично-векторные методы решения линейных однопараметрических корректных систем конечных уравнений с комплексными матрицами. При первом аналитическом методе получено точное выражение для векторных компонентов решения исходной задачи, а при втором методе – приближенное, наилучшее в смысле наименьшей евклидовой нормы вектора компонентов решения (точнее, эквивалент этого решения). При численно-аналитическом методе получена рекуррентная цепочка определения векторных дискрет для решения исходной задачи на основе применения дифференциальных преобразований. Рассмотрен модельный пример, который решен как известным параллельным методом, так и предложенным численно-аналитическим методом. Как показали вычисления, численно-аналитический метод выгодно отличается от параллельного метода.

Ключевые слова: линейные однопараметрические корректные системы конечных уравнений с комплексными матрицами, декомпозиция, дифференциальные преобразования, конструктивные матрично-векторные методы, численно-аналитические решения.

Введение. В работах [1 – 4] для решения линейных однопараметрических систем конечных уравнений на основе дифференциальных преобразований Пухова [5] были предложены параллельные конструктивные численно-аналитические матрично-векторные методы, предназначенные для систем как с действительными, так и комплексными матрицами. В настоящей работе предлагаются конструктивные декомпозиционные аналитические и численно-аналитические матрично-векторные методы решения линейных однопараметрических корректных систем конечных уравнений с комплексными матрицами (естественно, они могут быть применимы и для систем с действительными матрицами). Численно-аналитический метод также основан на дифференциальных преобразованиях.

Математический аппарат. Рассмотрим линейные однопараметрические корректные системы конечных уравнений

$$A(t) \cdot X(t) = a(t), \text{rang} A(t) = n, \quad (1)$$

где $A(t) = a_{ij}(t), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}$ и $a(t) = (a_1(t), \dots, a_n(t))^T$ - квадратная матрица и вектор правых частей системы с комплексными элементами, обладающими достаточной гладкостью по параметру t ; $X(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))^T$ - вектор искомых переменных. Решение системы (1) имеет вид

$$X(t) = A^{-1}(t) \cdot a(t), \quad (2)$$

где $A^{-1}(t)$ - однопараметрическая обратная к $A(t)$ матрица [6,7].

Теперь представим исходную матрицу $A(t)$ в виде

$$A(t)_{n \times n} = B(t)_{n \times n} + j \cdot C(t)_{n \times n}, \quad (3)$$

а неизвестный вектор–столбец $X(t)$ - в виде

$$X(t) = G(t) + j \cdot H(t), \quad (4)$$

в которых $B(t)$ и $C(t)$ - квадратные матрицы действительной и мнимой частей матрицы $A(t)$; $G(t)$ и $H(t)$ - вектор–столбцы действительной и мнимой частей вектор–столбца $X(t)$, а $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица. Пусть вектор–столбец $a(t)$ правой части системы (1) также можно представить в виде

$$a(t)_{n \times 1} = b(t)_{n \times 1} + j \cdot c(t)_{n \times 1}, \quad (5)$$

где $b(t)$ и $c(t)$ - вектор–столбцы действительной и мнимой частей вектор–столбца $a(t)$.

Аналитическое решение. При соотношениях (3) - (5) система (1) принимает вид

$$\begin{aligned} [B(t) + j \cdot C(t)] \cdot [G(t) + j \cdot H(t)] &= \\ &= [B(t) \cdot G(t) - C(t) \cdot H(t)] + j \cdot [B(t) \cdot H(t) + C(t) \cdot G(t)] = b(t) + j \cdot c(t), \end{aligned}$$

откуда получим систему матрично–векторных уравнений

$$\begin{cases} B(t)_{n \times n} \cdot G(t)_{n \times 1} - C(t)_{n \times n} \cdot H(t)_{n \times 1} = b(t)_{n \times 1}, \\ B(t)_{n \times n} \cdot H(t)_{n \times 1} + C(t)_{n \times n} \cdot G(t)_{n \times 1} = c(t)_{n \times 1}. \end{cases} \quad (6)$$

Систему (6) можно представить и в виде следующего матрично–блочного столбцевого эквивалента:

$$\begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2n \times 2n} \cdot \begin{pmatrix} G(t) \\ H(t) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = D_1(t)_{2n \times 2n} \cdot \begin{pmatrix} G(t) \\ H(t) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = \begin{pmatrix} b(t) \\ c(t) \end{pmatrix}_{2n \times 1}, \quad (7)$$

откуда составляющие точного декомпозиционного аналитического решения задачи определяются в виде

$$\begin{pmatrix} G(t) \\ H(t) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = \begin{bmatrix} B(t) & -C(t) \\ C(t) & B(t) \end{bmatrix}_{2n \times 2n}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} b(t) \\ c(t) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = D_1^{-1}(t)_{2n \times 2n} \cdot \begin{pmatrix} b(t) \\ c(t) \end{pmatrix}_{2n \times 1}. \quad (8)$$

Замечание 1. Блочная матрица $D_1(t)$, очевидно, блочно–кососимметрична относительно первой главной диагонали и блочно–симметрична относительно второй главной диагонали. Эти свойства сохраняются и для однопараметрической обратной матрицы $D_1^{-1}(t)$.

Замечание 2. Нетрудно убедиться, что систему матрично–векторных уравнений (6) можно представить и в виде следующего матрично–блочного–строчного эквивалента:

$$[B(t) \mid C(t)] \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ -H(t) \end{bmatrix} = D_2(t) \cdot \begin{bmatrix} G(t) \\ -H(t) \end{bmatrix} = [b(t) \mid c(t)], \quad (9)$$

откуда приближенное, наилучшее в смысле наименьшей евклидовой нормы вектора $(G(t) \mid H(t))^T$ решение (точнее, эквивалент этого решения) будет

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} G(t) \\ -H(t) \end{bmatrix}_{2n \times 2} &= [B(t) \mid C(t)]_{2n \times n}^+ \cdot [b(t) \mid c(t)]_{n \times 2} = \\ &= D_2^+(t)_{2n \times n} \cdot [b(t) \mid c(t)]_{n \times 2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Однако из-за использования в этой вычислительной схеме обобщенной обратной матрицы $D_2^+(t)$ условия блочной кососимметричности относительно первой главной диагонали и блочной симметричности относительно второй главной диагонали левой части решения (10) в общем случае будут нарушены, что обуславливает необходимость отказа от ее дальнейшего использования.

Замечание 3. Аналитические представления (2) или (8) практически могут быть использованы лишь при малых размерах n матриц $A(t)$, векторов $a(t)$ и при простых их элементах $a_{ij}(t), a_i(t), i, j = \overline{1, n}$. При сравнительно больших размерах матриц $A(t)$, векторов $a(t)$ и их сложных элементах, очевидно, использование аналитических представлений (2) или (8) либо нецелесообразно, либо практически невозможно. При таких ситуациях оказываются весьма эффективными численно–аналитические методы, к рассмотрению которых и перейдем далее.

Численно–аналитическое решение. Представим численно–аналитические методы решения исходной задачи, предположив, что для матриц $A(t), B(t), C(t)$ и векторов $X(t), G(t), H(t), b(t), c(t)$ с аналитическими элементами имеют место следующие матричные и векторные дифференциальные преобразования:

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dA^K(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp A(t) = \kappa_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (11)$$

$$B(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dB^K(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp B(t) = \kappa_2(t, t_v, H, B(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (12)$$

$$C(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dC^K(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp C(t) = \kappa_3(t, t_v, H, C(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (13)$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dX^K(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp X(t) = \kappa_4(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (14)$$

$$G(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dG^K(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp G(t) = \kappa_5(t, t_v, H, G(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (15)$$

$$H(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dH^K(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, K = \overline{0, \infty} \mp H(t) = \kappa_6(t, t_v, H, H(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (16)$$

$$b(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{db^K(t)}{dt^K} \mid t = t_v, K = \overline{0, \infty} \rightleftharpoons b(t) = \varkappa_7(t, t_v, H, b(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (17)$$

$$c(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{dc^K(t)}{dt^K} \mid t = t_v, K = \overline{0, \infty} \rightleftharpoons c(t) = \varkappa_8(t, t_v, H, c(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (18)$$

где $A(K), B(K), C(K)$ - матричные дискреты матриц $A(t), B(t), C(t)$ соответственно, а $X(K), G(K), H(K)$ и $b(K), c(K)$ - векторные дискреты векторов $X(t), G(t), H(t)$ и $b(t), c(t)$ соответственно; $K = \overline{0, \infty}$ - целочисленный аргумент; H - масштабный коэффициент; t_v - центр аппроксимации; символ $\rightleftharpoons$ - знак перехода из области оригиналов в область изображений и наоборот; $\varkappa_1(\cdot), \dots, \varkappa_8(\cdot)$ - некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы-матрицы $A(t), B(t), C(t)$ и оригиналы-векторы $X(t), G(t), H(t)$ и $b(t), c(t)$ соответственно.

а) Для решения рассматриваемого класса задач в работе [2] был предложен матрично-векторный параллельный метод, основанный на дифференциальных преобразованиях. Метод применим для линейных систем конечных уравнений как с однопараметрическими действительными, так и комплексными матрицами. В частности, для определения составного вектора неизвестных матричных дискрет $X(\bullet)$ получено представление

$$X(\bullet) = \begin{pmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ \vdots \\ X(K) \end{pmatrix}_{n(K+1) \times 1} = \begin{bmatrix} A_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ A_1 & A_0 & 0 & \cdots & 0 \\ A_2 & A_1 & A_0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_K & A_{K-1} & A_{K-2} & \cdots & A_0 \end{bmatrix}_{n(K+1) \times n(K+1)} \cdot \begin{pmatrix} a(0) \\ a(1) \\ a(2) \\ \vdots \\ a(K) \end{pmatrix}_{n(K+1) \times 1}, \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} A_0 &= A^{-1}(0), \\ A_1 &= A^{-1}(0) \cdot A(1) \cdot A^{-1}(0), \\ A_2 &= -A^{-1}(0) \cdot [-A(1) \cdot A^{-1}(0) \cdot A(1) + A(2)] \cdot A^{-1}(0), \\ &\dots\dots\dots \\ A_K &= -A^{-1}(0) \cdot \sum_{P=0}^K A(P) \cdot A_{K-P}, \end{aligned} \quad (20)$$

причем $A(K), K = \overline{0, \infty}$ - матричные дискреты матрицы системы $A(t)$, а $a(K), K = \overline{0, \infty}$ - векторные дискреты вектора правой части системы $a(t)$. Далее для нахождения решения $X(t)$ используются какие-либо восстанавливающие соотношения $\varkappa_4(\bullet)$ в соответствии с [4,5].

б) Теперь перейдем к рассмотрению точного декомпозиционного метода, при котором с учетом соотношений (11) - (18) матрично-блочное-столбцовое уравнение (7) из области оригиналов переведем в область дифференциальных изображений в соответствии с правилами алгебры дифференциальных преобразований [5]. Получим следующее представление:

$$\sum_{l=0}^K \left[\begin{array}{c|c} B(l) & -C(l) \\ \hline C(l) & B(l) \end{array} \right] \cdot \begin{pmatrix} G(K-l) \\ H(K-l) \end{pmatrix} = \sum_{l=0}^K D_1(l) \cdot \begin{pmatrix} G(K-l) \\ H(K-l) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b(K) \\ c(K) \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Из последнего соотношения имеем:

при $K = 0$:

$$\left[\begin{array}{c|c} B(0) & -C(0) \\ \hline C(0) & B(0) \end{array} \right] \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} = D_1(0) \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b(0) \\ c(0) \end{pmatrix},$$

откуда

$$\begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = \left[\begin{array}{c|c} B(0) & -C(0) \\ \hline C(0) & B(0) \end{array} \right]_{2n \times 2n}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} b(0) \\ c(0) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = D_1^{-1}(0) \cdot \begin{pmatrix} b(0) \\ c(0) \end{pmatrix}; \quad (22)$$

при $K = 1$:

$$\left[\begin{array}{c|c} B(0) & -C(0) \\ \hline C(0) & B(0) \end{array} \right] \cdot \begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} B(1) & -C(1) \\ \hline C(1) & B(1) \end{array} \right] \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} = D_1(0) \begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix} + D_1(1) \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b(1) \\ c(1) \end{pmatrix},$$

откуда

$$\begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix}_{2n \times 1} = D_1^{-1}(0)_{2n \times 2n} \cdot \left[\begin{pmatrix} b(1) \\ c(1) \end{pmatrix}_{2n \times 1} - D_1(1)_{2n \times 2n} \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix}_{2n \times 1} \right]; \quad (23)$$

...

при $K = K$:

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{c|c} B(0) & -C(0) \\ \hline C(0) & B(0) \end{array} \right] \cdot \begin{pmatrix} G(K) \\ H(K) \end{pmatrix} + \sum_{l=1}^K \left[\begin{array}{c|c} B(l) & -C(l) \\ \hline C(l) & B(l) \end{array} \right] \cdot \begin{pmatrix} G(K-l) \\ H(K-l) \end{pmatrix} = \\ & = D_1(0) \cdot \begin{pmatrix} G(K) \\ H(K) \end{pmatrix} + \sum_{l=1}^K D_1(l) \cdot \begin{pmatrix} G(K-l) \\ H(K-l) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b(K) \\ c(K) \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} G(K) \\ H(K) \end{pmatrix}_{2n \times 1} &= D_1^{-1}(0)_{2n \times 2n} \times \\ &\times \left[\begin{pmatrix} b(K) \\ c(K) \end{pmatrix}_{2n \times 1} - \sum_{l=1}^K D_1(l)_{2n \times 2n} \cdot \begin{pmatrix} G(K-l) \\ H(K-l) \end{pmatrix}_{2n \times 1} \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

Далее для нахождения решения $X(t)$ можно использовать какое-либо восстанавливающее соотношение $\kappa_4(\bullet)$.

Замечание 4. Свойства блочной кососимметричности относительно первой главной диагонали и блочной симметричности относительно второй главной диагонали сохраняются и при блочных матричных дискретах $D_1(0)$ и $D_1^{-1}(0)$, а также при $D_1(K)$ и $D_1^{-1}(K)$, $K \geq 1$.

Теперь для выявления сравнительных характеристик известного матрично-векторного параллельного метода [1-3] и предложенного в настоящей работе точного декомпозиционного метода рассмотрим решение одного модельного примера этими обоими методами.

Модельный пример. Пусть задана линейная однопараметрическая корректная система конечных уравнений

$$\begin{bmatrix} (1+t+j \cdot t^2) & 0 & (2+t^2+j \cdot t) \\ (-1+j \cdot t) & (2+j) & 0 \\ 0 & j \cdot t^3 & (1+j \cdot t^2) \end{bmatrix}_{3 \times 3} \cdot (G(t) + j \cdot H(t))_{3 \times 1} = \\ = \begin{pmatrix} (3+t+t^2-t^3) + j \cdot 2t \cdot (1+t) \\ (1+t-t^2) + j \cdot (1-2t) \\ (1+t^4) + j \cdot t^2 \cdot (1+t) \end{pmatrix}_{3 \times 1}.$$

а) Сначала рассмотрим применение матрично-векторного параллельного метода. При маклореновском центре аппроксимации $t_v = 0$ и масштабном коэффициенте $H = 1$ будем иметь

$$A(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ -1 & (2+j) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & j \\ j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A(2) = \begin{bmatrix} j & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j \end{bmatrix},$$

$$A(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \end{bmatrix}, A(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, K \geq 4;$$

$$a(0) = \begin{pmatrix} 3 \\ 1+j \\ 1 \end{pmatrix}, a(1) = \begin{pmatrix} 1+2 \cdot j \\ 1-2 \cdot j \\ 0 \end{pmatrix}, a(2) = \begin{pmatrix} 1+2 \cdot j \\ -1 \\ j \end{pmatrix},$$

$$a(3) = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ j \end{pmatrix}, a(4) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, a(K) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, K \geq 5;$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -2 \\ \frac{1}{2+j} & \frac{1}{2+j} & -\frac{2}{2+j} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 2-j \\ \frac{-1-j}{2+j} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} 1-j & 0 & -3+5 \cdot j \\ \frac{1}{2+j} & 0 & \frac{-4+3 \cdot j}{2+j} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

и т.д.

Следовательно, векторные дискреты в соответствии с представлением (19) имеют вид

$$X(0) = A_0 \cdot a(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, X(1) = A_1 \cdot a(0) + A_0 \cdot a(1) = \begin{pmatrix} j \\ -j \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$X(2) = A_2 \cdot a(0) + A_1 \cdot a(1) + A_0 \cdot a(2) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, X(K) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, K \geq 3,$$

а решение $X(t)$ имеет вид

$$X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + j \cdot t \\ 1 - j \cdot t \\ 1 \end{pmatrix},$$

в абсолютной точности которого можно легко убедиться его подстановкой в исходную математическую модель.

б) Теперь рассмотрим решение модельного примера предложенным в настоящей работе точным декомпозиционным методом. Очевидно, имеем

$$B(t) = \begin{bmatrix} (1+t) & 0 & (2+t^2) \\ -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, C(t) = \begin{bmatrix} t^2 & 0 & t \\ t & 1 & 0 \\ 0 & t^3 & t^2 \end{bmatrix},$$

$$b(t) = \begin{pmatrix} 3+t+t^2-t^3 \\ 1+t-t^2 \\ 1+t^4 \end{pmatrix}, c(t) = \begin{pmatrix} 2t \cdot (1+t) \\ 1-2t \\ t^2 \cdot (1+t) \end{pmatrix},$$

откуда при маклореновском центре аппроксимации $t_v = 0$ и масштабном коэффициенте $H = 1$ получаем следующие матричные и векторные дискреты:

$$B(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, B(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B(2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, K \geq 3;$$

$$C(0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$C(3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, C(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, K \geq 4;$$

$$b(0) = \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, b(1) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, b(2) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}, b(3) = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$b(4) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, b(K) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, K \geq 5;$$

$$c(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, c(1) = \begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 0 \end{pmatrix}, c(2) = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, c(3) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, c(K) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, K \geq 4.$$

Тогда

$$D_1(0) = \left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right],$$

$$D_1^{-1}(0) = \left[\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & -0.8 & 0.2 & 0.2 & -0.4 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -2 \\ -0.2 & -0.2 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & -0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right].$$

Поэтому:

при $K = 0$:

$$\begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} = D_1^{-1}(0) \cdot \begin{pmatrix} b(0) \\ c(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ откуда } G(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, H(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

при $K = 1$:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix} &= D_1^{-1}(0) \cdot \left[\begin{pmatrix} b(1) \\ c(1) \end{pmatrix} - D_1(1) \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} \right] = \\ &= D_1^{-1}(0) \cdot \left[\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \\ -2 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

$$\text{откуда } G(1) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, H(1) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix};$$

при $K = 2$:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} G(2) \\ H(2) \end{pmatrix} &= D_1^{-1}(0) \cdot \left[\begin{pmatrix} b(2) \\ c(2) \end{pmatrix} - D_1(2) \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} - D_1(1) \cdot \begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix} \right] = \\ &= D_1^{-1}(0) \cdot \left[\begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ -\frac{0}{2} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -\frac{0}{1} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -\frac{0}{1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{0}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ откуда } G(2) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, H(2) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \end{aligned}$$

при $K = 3$:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} G(3) \\ H(3) \end{pmatrix} &= D_1^{-1}(0) \times \left[\begin{pmatrix} b(3) \\ c(3) \end{pmatrix} - D_1(3) \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} - D_1(2) \cdot \begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix} - D_1(1) \cdot \begin{pmatrix} G(2) \\ H(2) \end{pmatrix} \right] = \\ &= D_1^{-1}(0) \cdot \left[\begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ -\frac{0}{0} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{0}{0} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ -\frac{0}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{0}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ откуда } G(3) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, H(3) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \end{aligned}$$

при $K = 4$:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} G(4) \\ H(4) \end{pmatrix} &= D_1^{-1}(0) \times \left[\begin{pmatrix} b(4) \\ c(4) \end{pmatrix} - D_1(4) \cdot \begin{pmatrix} G(0) \\ H(0) \end{pmatrix} - D_1(3) \cdot \begin{pmatrix} G(1) \\ H(1) \end{pmatrix} - D_1(2) \cdot \begin{pmatrix} G(2) \\ H(2) \end{pmatrix} - D_1(1) \cdot \begin{pmatrix} G(3) \\ H(3) \end{pmatrix} \right] = \\ &= D_1^{-1}(0) \cdot \left[\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{0}{0} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ откуда } G(4) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, H(4) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Дальнейшие вычисления также приводят к нулевым векторным дискретам, т.е.

$$G(K) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, H(K) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, K \geq 5.$$

Следовательно, с учетом того, что при маклореновской аппроксимации

$$G(t) = \sum_{K=0}^{\infty} G(K) \cdot t^K = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, H(t) = \sum_{K=0}^{\infty} H(K) \cdot t^K = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot t = \begin{pmatrix} t \\ -t \\ 0 \end{pmatrix},$$

окончательным решением задачи будет

$$X(t) = G(t) + j \cdot H(t) = \begin{pmatrix} 1 + j \cdot t \\ 1 - j \cdot t \\ 1 \end{pmatrix},$$

что точно совпадает с решением, полученным выше применением матрично-векторного параллельного метода.

Замечание 5. При некорректных линейных однопараметрических системах конечных уравнений

$$A(t) \cdot X(t) = a(t),$$

где $A(t) = (a_{ij}(t)), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, m \neq n$ и $a(t) = (a_1(t), \dots, a_m(t))^T$, для нахождения вектора $X(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))^T$ можно использовать аналогичные соотношениям (2) – (8) аналитические решения с обобщенными обратными матрицами $A^+(t)_{n \times m}$ и $D_1^+(t)_{2n \times 2m}$ вместо $A^{-1}(t)$ и $D_1^{-1}(t)$ соответственно. При численно-аналитическом решении, аналогичном (19), (20), можно воспользоваться псевдообратной матрицей $A^+(0)_{n \times m}$ вместо $A^{-1}(0)$ (что и сделано в работе [1] при использовании дополнительных корректирующих векторов дискрет), а при численно-аналитическом решении, аналогичном (21) – (24), – псевдообратной матрицей $D_1^+(0)_{2n \times 2m}$ вместо обратной $D_1^{-1}(0)$. Естественно, при использовании обобщенных обратных матриц $A^+(t)$, $D_1^+(t)$ или псевдообратных матриц $A^+(0)$, $D_1^+(0)$ в этих вычислительных схемах речь может идти лишь только о приближенных наилучших в соответствующих смыслах решениях [6,7].

Заключение. Предложенный декомпозиционный численно-аналитический метод и проведенные расчеты по решению модельного примера показывают, что декомпозиционный метод намного более прост, нежели аналитический или матрично-векторный параллельный метод. Это важное свойство обуславливает возможность эффективного использования средств современных информационных технологий [8] с целью решения рассмотренного класса задач применением точных декомпозиционных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Способ решения линейных неавтономных систем конечных уравнений на основе ДТ-преобразований // Электронное моделирование. -1997.- Том 19, № 4. -С. 19-30.
2. **Симонян С.О., Аветисян А.Г., Асланян Л.М.** Дифференциально – падеевская матрично-векторная модель решения систем линейных неавтономных уравнений // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. научн. трудов/ ГИУА.- Ереван, 1998.-Вып.1.- С. 65 -71.

3. **Simonyan S.O., Avetisyan A.G.** The Method of Linear Non – Autonomous Finite Equation Set Solution on the Basis of Differential Taylor Transforms // Engineering Simulation. – 1998.- Vol. 15, №2.- P. 407-421.
4. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Прикладная теория дифференциальных преобразований.- Ереван: ГИУА “Чартарагет”, 2010.-364 с.
5. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений.- Киев: Наукова думка. 1984.- 420 с.
6. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц.- М.: Физматлит, 2010.- 560 с.
7. **Ben-Israel A., Greville T.N.E.** Generalized Inverses. Theory and Applications - A. Wiley – Interscience Publication, 2002. – 371 p.
8. **Макс Шлее.** Qt 9.8 Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ – Петербург, 2012.- 912 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 02.10.2014.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Ա. ԱՂԱՄՅԱՆ

ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐՈՎ ԳԾԱՅԻՆ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԿՈՌԵԿՏ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Առաջարկվել են կոմպլեքս մատրիցներով գծային միապարամետրական կոռեկտ վերջավոր հավասարումների համակարգերի լուծման կոնստրուկտիվ դեկոմպոզիցիոն անալիտիկ և թվա-անալիտիկ մատրիցա-վեկտորային մեթոդներ: Առաջին անալիտիկ մեթոդի դեպքում նախնական խնդրի լուծման վեկտորային բաղադրիչների համար ստացվել է ճշգրիտ լուծում, իսկ երկրորդ մեթոդի դեպքում՝ մոտավոր (վեկտորային բաղադրիչների նվազագույն էվկլիդյան նորմի իմաստով) լավագույն լուծումը (ավելի ճիշտ՝ այդ լուծման համարժեքը): Թվա-անալիտիկ մեթոդի դեպքում ստացվել է նախնական խնդրի լուծման վեկտորային դիսկրետների որոշման անդրադարձ շղթա՝ հիմնվելով դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա: Դիտարկվել է մոդելային օրինակ, որը լուծվել է ինչպես հայտնի զուգահեռ մեթոդով, այնպես էլ առաջարկված թվա-անալիտիկ մեթոդով: Ինչպես ցույց են տվել հաշվարկները, թվա-անալիտիկ մեթոդը շահեկանորեն տարբերվում է զուգահեռ մեթոդից:

Առանցքային բառեր. կոմպլեքս մատրիցներով գծային միապարամետրական վերջավոր հավասարումների կոռեկտ համակարգեր, դեկոմպոզիցիա, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, կոնստրուկտիվ մատրիցա-վեկտորային մեթոդներ, թվա-անալիտիկ լուծումներ:

S.H. SIMONYAN, M.A. ADAMYAN

**DECOMPOSITION METHODS FOR SOLVING LINEAR ONE-PARAMETRIC
FINITE EQUATION SETS WITH COMPLEX MATRICES**

Constructive, decomposition, analytical and numerical-analytical matrix-vector methods are proposed for solving linear one-parametric finite equation sets by complex matrices. In the case of the first analytical method, an exact expression for vector components of the initial problem solution is obtained, whereas in the second method - an approximate solution which is the best in the sense of the least Euclidean norm's of the vector component (more precisely, the equivalent of that solution) is obtained. In the case of the numerical – analytical method, for the solution of the initial problem, a recurrent chain of defining the vector discretizes on the basis of the application of differential transformations is received. A model example is examined, which has been solved both with the known parallel method and the proposed numerical-analytical one. The computations denote that the numerical-analytical method advantageously differs from the parallel method.

Keywords: one-parametric finite equation sets with complex matrices, decomposition, differential transformations, constructive matrix-vectorial methods, numerical-analytical solutions.

Վ.Հ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Օ.Ն. ԳԱՄՊԱՐՅԱՆ

ՑԻԴԿՈՒԼՅԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ
ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԴԱՄԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ

Առաջարկվում է մի մոտեցում ցիբկույանտ ավտոմատ կառավարման համակարգերի կարգավորիչների ընտրության համար, որը հնարավորություն է տալիս նախագծել այդ համակարգերը կառավարման տեսության դասական մեթոդների կիրառմամբ: Արտածվել են համարժեք միաչափ համակարգերի փոխանցման ֆունկցիաների հաշվարկման բանաձևեր: Կատարվել է մոդելային համակարգի կայունության վերլուծություն՝ Նայքվիստի չափանիշի հիման վրա:

Առանցքային բառեր. բազմաչափ կառավարման համակարգ, ցիբկույանտ կարգավորիչ, բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիա, Նայքվիստի չափանիշ:

Բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգերի (ԲԱԿՀ) կարևոր դաս են կազմում, այսպես կոչված, նորմալ համակարգերը, որոնք շատ տարածված են, և որոնց կանոնական բազիսները օրթոգոնալ են: Նորմալ ԲԱԿՀ-երի դասում կարելի է առանձնացնել երկու ենթադասեր՝ ցիբկույանտ և հակացիբկույանտ ԲԱԿՀ-երը, որոնց բնորոշ հատկանիշն այն է, որ դրանց կանոնական բազիսները կախված չեն s կոմպլեքս փոփոխականից:

Ցիբկույանտ ավտոմատ կառավարման համակարգերի $W(s)$ փոխանցման մատրիցը ներկայացնում է ցիբկույանտ մատրից, այսինքն՝ այնպիսի մատրից, որի յուրաքանչյուր հաջորդ տող ստացվում է նախորդից՝ տարրերը մեկ դիրքով աջ տեղաշարժելով (բացի N -րդից), իսկ նախորդ տողի N -րդ տարրը դառնում է հաջորդ տողի առաջին տարր:

$$W(s) = \begin{pmatrix} w_0(s) & w_1(s) & w_2(s) & \dots & w_{N-1}(s) \\ w_{N-1}(s) & w_0(s) & w_1(s) & \dots & w_{N-2}(s) \\ w_{N-2}(s) & w_{N-1}(s) & w_0(s) & \dots & w_{N-3}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1(s) & w_2(s) & w_3(s) & \dots & w_0(s) \end{pmatrix} : \quad (1)$$

ԲԱԿՀ-երը, որոնք նկարագրվում են ցիբկույանտ մատրիցներով, կազմում են բազմաչափ համակարգերի կարևոր ենթադաս, որոնք հատկապես լայն տարածում ունեն տարբեր տեխնոլոգիական պրոցեսներում: Որպես այդպիսի ԲԱԿՀ-երի օրինակներ կարելի է նշել թղթի պատրաստման մեքենաների՝ ըստ լայնական հատույթի

կառավարման համակարգերը, վառարաններում բյուրեղների աճեցման կառավարման համակարգերը, պլաստմասսե թաղանթների ներկման համակարգերը, եռառանցք հոլակային հարթակների ավտոմատ կառավարման որոշ համակարգեր և այլն:

Ցիրկուլյանտ ԲԱԿՀ-երի նախագծման դեպքում, երբ կառավարվող օբյեկտը բնութագրվում է ցիրկուլյանտ (1) մատրիցով, նպատակահարմար է օգտագործել կարգավորիչ, որի $K(s)$ փոխանցման մատրիցը նույնպես ցիրկուլյանտ է [1] և ներկայացվում է

$$K(s) = k_0(s)I + \sum_{n=1}^{N-1} k_n(s)U^n = C \text{diag}\{p_i(s)\}C^{-1} \quad (2)$$

տեսքով, որտեղ $k_n(s)$ ($n=0,1,2,\dots,N-1$) հանդիսանում են ցիրկուլյանտ $K(s)$ մատրիցի առաջին տողի տարրերը, U -ն՝ օրթոգոնալ տեղափոխությունների մատրիցը [2], իսկ C -ն՝ $K(s)$ մատրիցի նորմավորված սեփական վեկտորներից կազմված մոդալ մատրիցը, որը համընկնում է տեղափոխությունների մատրիցի մոդալ մատրիցի հետ [2]:

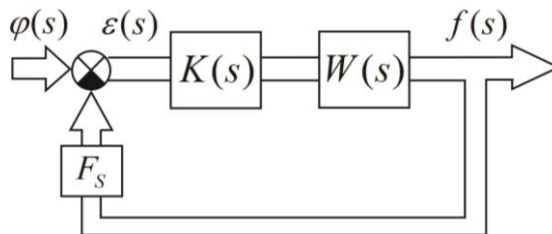
Կարգավորող $K(s)$ մատրիցի $p_i(s)$ բնութագրիչ փոխանցման ֆունկցիաները (ԲՓՖ) որոշվում են հետևյալ բանաձևով.

$$p_i(s) = k_0(s) + \sum_{n=1}^{N-1} k_n(s) \exp\left\{j \frac{2\pi(i-1)}{N} n\right\}, \quad i=1, 2, \dots, N: \quad (3)$$

Դիտարկենք N -չափանի $W(s)$ (1) ցիրկուլյանտ մատրիցով փակ համակարգը, որի

$$K(s) = \begin{pmatrix} k_0(s) & k_1(s) & k_2(s) & \dots & k_{N-1}(s) \\ k_{N-1}(s) & k_0(s) & k_1(s) & \dots & k_{N-2}(s) \\ k_{N-2}(s) & k_{N-1}(s) & k_0(s) & \dots & k_{N-3}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_1(s) & k_2(s) & k_3(s) & \dots & k_0(s) \end{pmatrix} \quad (4)$$

կարգավորիչը նույնպես ցիրկուլյանտ է (նկ. 1):



Նկ. 1. Ցիրկուլյանտ ԲԱԿՀ-ի մատրիցային կառուցվածքային սխեման

Հողվածներ [3,4]-ում առաջարկվել է դասական միաչափ համակարգերի կիրառմամբ, համապատասխանաբար, ընդհանուր տեսքի և միատիպ ԲԱԿՀ-երի նախագծման մի մոտեցում, որի էությունը հետևյալն է. որևէ մուտքից մեկ այլ ելք գնացող կապը խզելու և առանձնացնելու միջոցով ԲԱԿՀ-ի նախագծումը հանգեցվում է միաչափ համակարգի նախագծման: Ընդ որում, N -չափանի քառակուսային համակարգի համար ունենում ենք N^2 տարրեր տարրեր ընտրելու հնարավորություն: Այդ մոտեցումը կարելի է կիրառել նաև ցիրկուլյանտ համակարգերի համար, սակայն այն նույնությամբ կիրառելու դեպքում կխախտվի համակարգի կառուցվածքը. ստացվող համարժեք համակարգը կվերածվի ընդհանուր տեսքի: Քանի որ ցանկանում ենք կիրառել այդ մոտեցումը՝ պահպանելով համակարգի կառուցվածքը (ցիրկուլյանտությունը), ուստի սույն հոդվածում առաջարկվում է այդ մոտեցման մոդիֆիկացված տարբերակ, որը հիմնվում է $K(s)$ կարգավորիչի (2) ներկայացման վրա: Այս դեպքում ունենք ընտրության N հնարավորություն՝ $k_0(s), k_1(s), \dots, k_{N-1}(s)$ փոխանցման ֆունկցիաներից որևէ մեկը:

Ենթադրենք՝ ցանկանում ենք ապահովել ցիրկուլյանտ համակարգի կայունության պաշարը (գուցե նաև համակարգի վարքը բնութագրող այլ ցուցանիշներ ևս)՝ $K(s)$ ցիրկուլյանտ կարգավորիչի մեջ ընտրելով և փոփոխելով միայն մեկ, օրինակ, m -րդ ($m=0, 1, \dots, N-1$) $k_m(s)$ փոխանցման ֆունկցիան: Սա, փաստորեն, նշանակում է, որ $K(s)$ կարգավորիչի բոլոր տարրերը, որոնք (2) բանաձևում համապատասխանում են m -րդ աստիճանի U^m -ին, փոփոխվում են միաժամանակ և նույն կերպ: Յուրաքանչյուր ընտրված m -ին համապատասխանում է ոչ թե մեկ համարժեք միաչափ համակարգ, այլ N համակարգեր:

Կարգավորիչի $K(s)$ փոխանցման մատրիցը կարող է գրվել հետևյալ տեսքով՝

$$K(s) = k_0(s)I + \left[\sum_{n=1}^{N-1} k_n(s)U^n \right], \quad m=0 \text{ դեպքում}, \quad (5)$$

$$K(s) = k_m(s)U^m + \left[\sum_{\substack{n=0 \\ n \neq m}}^{N-1} k_n(s)U^n \right], \quad m>0 \text{ դեպքում}, \quad (6)$$

իսկ $K(s)$ փոխանցման մատրիցի

$$p_i(s) = k_0(s) + \sum_{n=1}^{N-1} k_n(s) \exp \left\{ j \frac{2\pi(i-1)}{N} n \right\}, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (7)$$

ԲՓՖ-ները $m=0$ դեպքում կներկայացվեն

$$p_i(s) = k_0(s) + K_{\Sigma}^0(s), \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

իսկ $m > 0$ դեպքում՝

$$p_i(s) = k_m(s) \exp \left\{ j \frac{2\pi(i-1)}{N} m \right\} + K_\Sigma^m(s), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (9)$$

տեսքով, որտեղ

$$K_\Sigma^0(s) = \sum_{n=1}^{N-1} k_n(s), \quad K_\Sigma^m(s) = k_0(s) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{N-1} k_n(s) \exp \left\{ j \frac{2\pi(i-1)}{N} n \right\}, \quad m > 0: \quad (10)$$

Ընդ որում, $K(s)$ կարգավորիչում ինդեքսի $m=0$ ընտրության դեպքում կստանանք, այսպես կոչված, սկալյար կարգավորիչ [2], այսինքն՝ ընտրվում են կարգավորիչի անկյունագծային տարրերը, իսկ $m > 0$ դեպքում՝ m ինդեքսին համապատասխանող փոխադարձ կապերը:

(8) և (9) բանաձևերը կարելի է ներկայացնել հետևյալ ընդհանուր տեսքով.

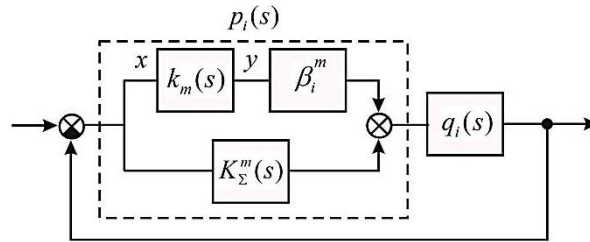
$$p_i(s) = k_m(s) \beta_i^m + K_\Sigma^m(s), \quad i=1, 2, \dots, N, \quad m=0, 1, 2, \dots, N-1, \quad (11)$$

որտեղ

$$\beta_i = \exp \left\{ j \frac{2\pi(i-1)}{N} \right\}, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (12)$$

U մատրիցի սեփական արժեքներն են:

Հաշվի առնելով (10) և (11) բանաձևերը, նկ.1-ի ցիրկույանտ համակարգի փակ բնութագրիչ համակարգերը կարող են ներկայացվել նկ. 2-ում պատկերված տեսքով:

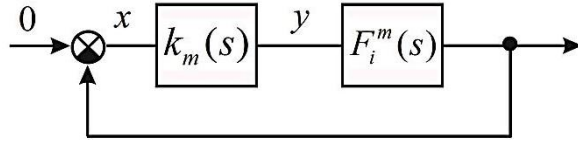


Նկ. 2. Ցիրկույանտ համակարգի փակ բնութագրիչ համակարգերը ($i=1, 2, \dots, N$)

Նկ. 2-ի սխեմայում x և y ազդանշանների կապն արտահայտվում է

$$x = -\beta_i^m \frac{q_i(s)}{1 + q_i(s) K_\Sigma^m(s)} y, \quad y = k_m(s) x, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad m=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (13)$$

բանաձևերով, իսկ այդ սխեման կարելի է ներկայացնել նրան համարժեք N հատ միաշափ փակ բնութագրիչ համակարգերի տեսքով (նկ. 3):



Նկ. 3 Զիրկույանտ համակարգի N հատ միաշափ փակ բնութագրիչ համակարգերը
($i = 1, 2, \dots, N$)

Այստեղ $F_i^m(s)$ փոխանցման ֆունկցիաները հավասար են՝

$$F_i^m(s) = \beta_i^m \frac{q_i(s)}{1 + q_i(s)K_\Sigma^m(s)} : \quad (14)$$

Եթե նշանակենք

$$Q_i^m(s) = F_i^m(s)k_m(s), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (15)$$

ապա այն կլինի նկ. 3-ի N հատ բաց միաշափ համակարգերի փոխանցման ֆունկցիան:

Քանի որ նկ. 3-ի միաշափ համակարգերը և նկ. 2-ի համակարգերը համարժեք են, ուստի $K(s)$ կարգավորիչ մատրիցով սկզբնական ցիրկույանտ համակարգի կայունությունը կարող է հետազոտվել նկ. 3-ի N միաշափ համակարգերի միջոցով:

Քանի որ $K(s)$ ցիրկույանտ մատրիցային կարգավորիչը կախված է N հատ սկալյար $k_0(s)$, $k_1(s)$, ..., $k_{N-1}(s)$ փոխանցման ֆունկցիաներից, ուստի ունենք N այլընտրանքային համարժեք տարբերակներ՝ դրանցից որևէ մեկի ընտրության և փոփոխման միջոցով $K(s)$ կարգավորիչի նախագծման համար:

Հարկ է նշել, որ m ինդեքսի ընտրությունը կախված է տարբեր գործոններից, որոնց թվում մեծ դեր են խաղում նաև նախագծողի փորձն ու նախասիրությունները:

Օրինակ. Դիտարկենք հետևյալ երկշափ ցիրկույանտ համակարգը, որի կառավարվող օբյեկտն ունի հետևյալ փոխանցման մատրիցը.

$$W(s) = \begin{bmatrix} \frac{50}{s(s+1.3)} & \frac{150}{s(s+1.3)(s+5)} \\ \frac{150}{s(s+1.3)(s+5)} & \frac{50}{s(s+1.3)} \end{bmatrix} : \quad (16)$$

Փոխանցման (16) մատրիցով համակարգի $q_1(s)$ և $q_2(s)$ բնութագրիչ ֆունկցիաներն ըստ

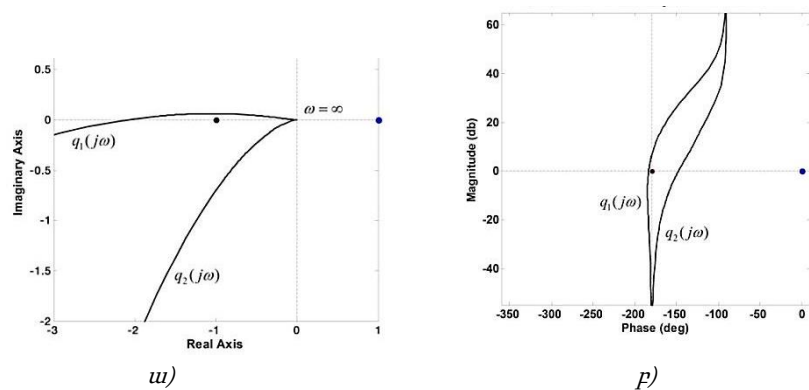
$$q_i(s) = w_0(s) + \sum_{n=1}^{N-1} w_n(s) \exp \left\{ j \frac{2\pi(i-1)}{N} n \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (17)$$

բանաձևի [2] կլինեն.

$$q_1(s) = w_0(s) + w_1(s) = \frac{50}{s(s+1.3)} + \frac{150}{s(s+1.3)(s+5)} = \frac{50(s+8)}{s(s+1.3)(s+5)}, \quad (18)$$

$$q_2(s) = w_0(s) - w_1(s) = \frac{50}{s(s+1.3)} - \frac{150}{s(s+1.3)(s+5)} = \frac{50(s+2)}{s(s+1.3)(s+5)} : \quad (19)$$

Ցիրկուլանտ $W(s)$ (16) օբյեկտի հաճախային բնութագրերը բերված են նկ. 4 (ա, բ)-ում, որտեղից երևում է, որ համակարգն անկայուն է:



Նկ. 4. Փոխանցման $W(s)$ (16) մատրիցով համակարգի հաճախային բնութագրերը՝
(ա) Նայքվիստի, (բ) Նիքոլսի

Դիցուք $K(s)$ կարգավորիչն ունի հետևյալ տեսքը.

$$K(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.8624(s+2)}{s+4} & \frac{0.5638(s+2)}{s+4} \\ \frac{0.5638(s+2)}{s+4} & \frac{0.8624(s+2)}{s+4} \end{bmatrix} = \frac{s+2}{s+4} \begin{bmatrix} 0.8624 & 0.5638 \\ 0.5638 & 0.8624 \end{bmatrix} : \quad (20)$$

Ճշգրտված՝ $G(s) = W(s)K(s)$ ցիրկուլանտ համակարգի փոխանցման մատրիցը կլինի՝

$$G(s) = \frac{s+2}{s(s+1.3)(s+4)(s+5)} \begin{bmatrix} 43.12(s+6.961) & 28.19(s+9.589) \\ 28.19(s+9.589) & 43.12(s+6.961) \end{bmatrix}, \quad (21)$$

իսկ ԲՓՖ-ների հաճախային բնութագրերը կունենան նկ.5(ա,բ)-ում պատկերված տեսքերը, որտեղից երևում է, որ համակարգը կայուն է, սակայն ունի կայունության փոքր պաշար. տատանողականության M ցուցանիշը հավասար է 7.9:

Փորձելով m ինդեքսի 0 և 1 արժեքները, տեսնում ենք, որ $m=1$ դեպքում համակարգի կայունության պաշարի պահանջվող ցուցանիշին ավելի հեշտ ենք հասնում: Այդ դեպքում կստանանք.

$$K_{\Sigma}^m(s) = K_{\Sigma}^1(s) = k_0(s), \quad (22)$$

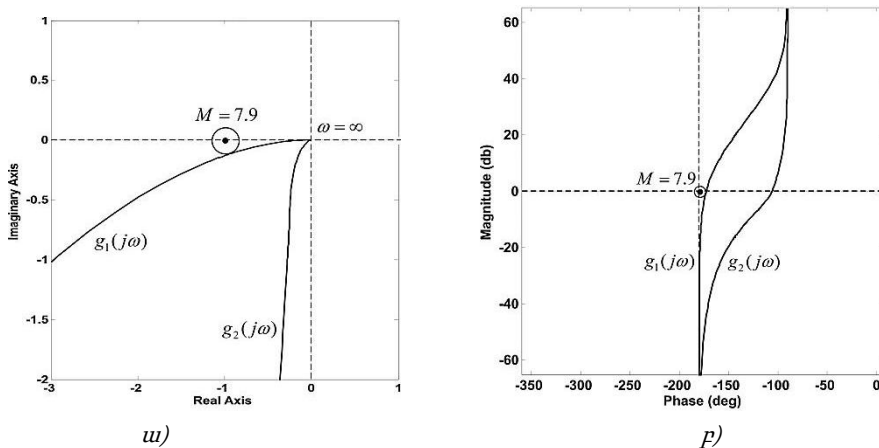
$$F_1^1(s) = \beta_1 \frac{q_1(s)}{1 + q_1(s)k_0(s)} = \frac{50s^2 + 600s + 1600}{s^4 + 10.3s^3 + 74.82s^2 + 475.2s + 689.92}, \quad (23)$$

$$F_2^1(s) = \beta_2 \frac{q_2(s)}{1 + q_2(s)k_0(s)} = -\frac{50s^2 + 300s + 400}{s^4 + 10.3s^3 + 74.82s^2 + 198.48s + 172.48}, \quad (24)$$

և (15)-ում $k_m(s)$ փոխանցման ֆունկցիան հավասար կլինի՝

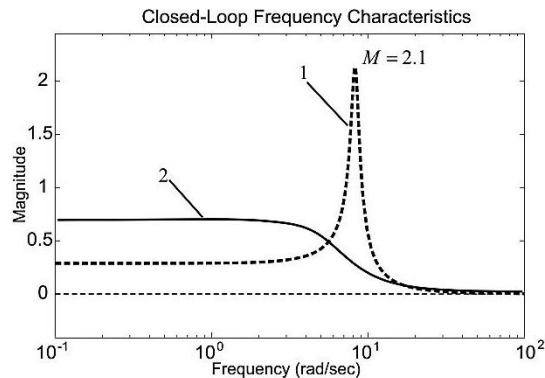
$$k_1(s) = \alpha \frac{0.5638(s+2)}{s+4}, \quad (25)$$

որտեղ α -ն իրական սկալյար գործակից է, որը պետք է որոշվի այնպես, որ ապահովվի համակարգի կայունությունը, և տատանողականության M ցուցանիշը չգերազանցի 2.1-ը:



Նկ. 5. Ճշգրտված $G(s) = W(s)K(s)$ փոխանցման մատրիցով համակարգի հաճախային բնութագրերը՝ (ա) Նայվիստի, (բ) Նիքոլսի

Փոփոխելով α -ի արժեքը, գտնում ենք, որ $\alpha=0.62$ դեպքում ստացվում է կայուն համակարգ՝ պահանջվող $M=2.1$ տատանողականության ցուցանիշով: $Q_i^m(s) = F_i^m(s)k_m(s)$, $i=1,2$ փոխանցման ֆունկցիաներով բաց համակարգին համապատասխանող նկ. 3-ի միաչափ փակ համակարգի ամպլիտուդա-հաճախային բնութագրերը բերված են նկ. 6-ում:



Նկ. 6. Նկ. 3-ի միաչափ փակ համակարգի ամպլիտուդահաճախային բնութագրերը

Պետք է նշել, որ առաջարկվող ցիրկուլյանտ կարգավորիչների նախագծման մեթոդը կիրառելի է նաև հակացիրկուլյանտ կարգավորիչների նախագծման դեպքում՝ միայն որոշակի շտկումներով՝ պայմանավորված ցիրկուլյանտ տեղափոխությունների U և հակացիրկուլյանտ տեղափոխությունների U – մատրիցների տարբերություններով [2]:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Егизарян Г.Г., Уликян А.Т., Манукян В.Г.** Проектирование многомерных циркулянтных систем автоматического регулирования // Тезисы докладов VIII Международной научно-практической конференции «Наука и образование без границ–2012», 07-15.12, Sp. zo.o. “Nauka I studia”.- Przemysl, Польша, 2012.-С. 29-32.
2. **Gasparyan O.N.** Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control: A Classical Approach.- John Wiley and Sons, West Sussex, Chichester, UK, 2008. - 354 p.
3. **Մանուկյան Վ.Հ.** Բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգերի կարգավորիչների ընտրությունը կառավարման դասական մեթոդների կիրառմամբ // ՀՊՀՀ Լրաբեր. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2014. – Մաս 1.- էջ 134-139.
4. **Манукян В.Г.** Проектирование однотипных многомерных систем автоматического регулирования с помощью скалярных критериев // XV Международная научная конференция “Актуальные вопросы современной техники и технологии”, 24 апреля 2014 г., Россия.- Липецк, 2014.-С. 28-33.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 15.10.2015:

В.Г. МАНУКЯН, О.Н. ГАСПАРЯН

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯНТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Предлагается подход для выбора регуляторов циркулянтных многомерных систем автоматического регулирования, который позволяет проектировать подобные системы с помощью классических методов теории систем автоматического регулирования. Выведены аналитические формулы для вычисления передаточных функций эквивалентных одномерных систем. С помощью критерия Найквиста проведен анализ устойчивости конкретной двумерной системы.

Ключевые слова: многомерная система автоматического регулирования, циркулянтный регулятор, характеристическая передаточная функция, критерий Найквиста.

V.H. MANUKYAN, O.N. GASPARYAN

DESIGN OF CIRCULANT CONTROL SYSTEMS BY CLASSICAL METHODS

An approach to choosing matrix regulators for circulant automatic control systems is proposed allowing to design such systems by the classical methods of the automatic control system theory. Analytical formulae for calculating the transfer functions of the equivalent one-dimensional systems are derived. Stability analysis of a two-dimensional circulant system is performed by the Nyquist criterion.

Keywords: multivariable feedback control system, circulant regulator, characteristic transfer function, Nyquist criterion.

ՀՏԴ 621.52+511.52

ԱՎՏՈՄՍԱՑՈՒՄ ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՎ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Հ.Ա. ՕՍԻՊՅԱՆ, Ս. ՄԱՐԶԱՆԴ-ՄԱԻԼԵՏ, Ա. ՄՈՐԹՈՆ,
Ն.Ս. ՆԵՐՍԵՍՅԱՆԱՐԱԳ ԻՆՏԵՐԱԿՏԻՎ ՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՈՐՈՆՈՒՄ՝ ԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ
ՊՐՈՑԵՍՈՐՆԵՐԻ ՎՐԱ ԻՐԱԿԱՆԱՑՎԱԾ ՄԱՍՆԱԿԻ ԲԱԶՄԱԶԱԾ
ՄԱՍՇՏԱԲԱՎՈՐՄԱՄԲ

Համարժեք հետադարձ ալգորիթմները բարելավում են բովանդակության վրա հիմնված պատկերների որոնման համակարգերը՝ արդյունավետ օգտագործելով օգտատերերի կողմից պիտակավորված համապատասխան/ոչ համապատասխան պատկերները: Այս ալգորիթմների հիմնական թերությունը մեծ տվյալների բազմության դեպքում վերակառուցման ժամանակն է: Ընդհանուր հաշվումների համար նախատեսված գրաֆիկական պրոցեսորները հնարավորություն են տալիս կատարել զուգահեռ հաշվարկներ հզոր հենքերի վրա: Ներկայացվում է նոր, արագ ինտերակտիվ ինտերֆեյս, որը ներառում է երկու լրացուցիչ պատուհան՝ հիմնված բազմամիջուկ գրաֆիկական պրոցեսորների միջոցով մշակված Կ-միջոցային կլաստերինգի և մասնակի բազմաչափ մասշտաբավորման վրա: Ուսումնասիրվում են ներկայացված ինտերֆեյսի արդյունավետությունը և արտադրողականությունը *Մայա* հիերոգլիֆների բազմության հիման վրա: Փորձարարական տվյալները ցույց են տալիս համապատասխան արտադրողականության բարելավումը ինտերակտիվ արագությամբ:

Առանցքային բառեր. համարժեք հետադարձ ալգորիթմներ, բովանդակության վրա հիմնված պատկերների որոնման համակարգեր, ինտերակտիվ ինտերֆեյս, գրաֆիկական պրոցեսորներ:

Ներածություն. Համարժեք հետադարձ մեթոդների գլխավոր նպատակն է բովանդակության վրա հիմնված պատկերների որոնման (ԲՀՊՈ) համակարգերի բարելավումը՝ օգտագործելով ինտերակտիվ-տեսողական ինտերֆեյսների միջոցով [1] օգտատերերի կողմից ընտրված համապատասխան/ոչ համապատասխան պատկերները: Այս պատկերները ստանալու համար ստանդարտ համարժեք հետադարձ ինտերֆեյսները պահանջում են օգտատերերի մուտքային տվյալներ՝ ցուցադրելով համարժեք պատկերների ցուցակը [2]: Գոյություն ունեն համարժեք հետադարձ ինտերֆեյսներ, որոնք հաշվարկում են բազմության օբյեկտների միջև հեռավորությունը՝ օգտատերերին լիարժեք պատկերացում տալով տվյալների բազմության մասին: Չնայած այս պայմանական ինտերֆեյսներն օգնում են օգտատերերին՝ կատարելու համարժեք հետադարձ ընտրություն, սակայն բավարար քանակությամբ համապատասխան օբյեկտների ընտրությունը, մասնավորապես, կախված է առաջին r վերադարձված կամ ցուցադրված արդյունքներում համապատասխան օբյեկտների քանակից: Հետևաբար, անհրաժեշտություն է առաջանում ողջամիտ ժամանակում իրականացնել սկզբնական արդյունքների բազմության մեջ ավելի շատ համապատաս-

խան պատկերներ ներառող լրացուցիչ ինտերֆեյսներ: Մա բարդ խնդիր է, քանի որ բարձր n - տարածաչափությունից տվյալները ցածր տարածաչափության փոխակերպելու դասական մեթոդները, ինչպիսին է բազմաչափ մասշտաբավորումը (ԲՄ), պահանջում են $O(n^3)$ ժամանակ [3]: Գրաֆիկական պրոցեսորների զուգակցումը հաշվողական միավորված սարքային ճարտարապետության (ՀՄՍՃ) տեխնոլոգիայի հետ հնարավորություն է ընձեռում կատարելու զուգահեռ ծրագրավորում նույնիսկ ոչ գրաֆիկական խնդիրների դեպքում:

Ներկայացվում է արագ ինտերակտիվ ինտերֆեյս, որը ներառում է ստանդարտ ցուցակի պատուհանը երկու լրացուցիչ պատուհանների հետ միասին, որոնք կախված են գրաֆիկական պրոցեսորի վրա իրականացված արագ Գ-միջոցային կլաստերինգից և մասնակի բազմաչափ մասշտաբավորումից (ՄԲՄ): Այս պատուհանները հնարավորություն են տալիս օգտատերերին՝ ընտրելու ավելի մեծ քանակությամբ իրար համապատասխանող արդյունքներ, որոնք տեսողականորեն ավելի տեղեկատվական են և շնորհիվ գրաֆիկական պրոցեսորի՝ իրականացվում են ավելի մեծ արագությամբ: Առաջադրվող ինտերֆեյսի արդյունավետության ցուցադրման նպատակով գնահատվում են արագությունը և տեսողական տեղեկատվականությունը՝ տվյալ համակարգը փորձարկելով Մայս հիերոգլիֆների բազմության վրա:

Արագ ինտերակտիվ տեղեկատվական որոնման առկա մոտեցումների սահմանափակումները. Բնօրինակային հարցման թարմացման մոտեցումը [4] գտնում է օպտիմալ հարցումը՝ վերակշռելով հարցման վեկտորները և առավելագույնի հասցնելով համարժեք/ոչ համարժեք օբյեկտների միջին վեկտորների միջև հեռավորությունը: Առաջադրված ինտերֆեյսը հիմնված է կշռային մոտեցման վրա [5]: Գոյություն ունի մեկ այլ մոտեցում, որը ներառում է վերականգնված օբյեկտների նմանության վրա հիմնված պատուհանները [6]:

Վերջին տասնամյակում, ելնելով միլիոնավոր օբյեկտների մշակման պահանջից, տարբեր մոտեցումներ են առաջադրվել: Ամենատարածված մեթոդներից մեկը ՄԲՄ մոտարկման ալգորիթմն է [3], $O(n \log n)$: Այս ալգորիթմի էությունն այն է, որ տրված բնօրինակ մատրիցը բաժանվում է ենթամատրիցների, ԲՄ-ը կիրառվում է յուրաքանչյուր ենթամատրիցի համար, և վերջնական լուծումը ստացվում է ենթալուծումների միավորման միջոցով: Չնայած վերը նշված մեթոդները բավականին ազդում են ալգորիթմի բարդության վրա, սակայն միլիոնավոր օբյեկտներից բաղկացած բազմությունների համար անհրաժեշտություն է առաջանում օգտագործել գոյություն ունեցող տեխնոլոգիաները՝ ծրագիրը էլ ավելի արագացնելու նպատակով: Գոյություն ունեն դասական բազմաչափ մասշտաբավորման ալգորիթմի տարբեր իրականացումներ գրաֆիկական պրոցեսորների վրա [7, 8], որոնք մի քանի տասնյակ անգամ արագացնում են ալգորիթմի աշխատանքի ժամանակը:

Ներկայացվում է արագ ինտերակտիվ ինտերֆեյս, որը միավորում է նոր ՄԲՄ ալգորիթմի իրականացումը գրաֆիկական պրոցեսորների վրա արդեն իսկ գոյութ-

յուն ունեցող $\mathcal{H}$ -միջոցային կլաստերինգի հետ [9]: Իրականացման ժամանակ օգտագործվում է ՀՄՄՃ տեխնոլոգիայի ասինխրոն տվյալների փոխանցման, հոսքերի գաղափարը, և ցուցադրվում են 20-անգամ ավելի արագ արդյունքներ՝ համեմատած նախորդ ալգորիթմների:

ՄԲՄ ալգորիթմի իրականացումը գրաֆիկական պրոցեսորների վրա. Բազմաչափ մասշտաբավորումը նախատեսված է մեծ քանակությամբ տվյալներ վերլուծելու և նրանց միջև նմանակային կապերը պատկերավոր կերպով ցուցադրելու համար: Դասական ԲՄ ալգորիթմը՝ որպես մուտքային տվյալ, ստանում է $n \times n$ -չափանի D մատրիցը, որը պարունակում է n օբյեկտների միջև բոլոր հնարավոր տարբերությունները/ նմանությունները և տեղափոխում է այդ նմանությունները ավելի ցածր չափայնության էվկլիդեսյան տարածություն: Դասական ԲՄ-ի հիմնական նպատակն է նվազագույնի հասցնել հետևյալ կորստի ֆունկցիան՝

$$\sum_{i,j} (\|x_i - x_j\| - d_{ij})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

որտեղ $\|x_i - x_j\|$ -ը ցածր չափայնության օբյեկտների միջև հեռավորությունն է, իսկ d_{ij} -ն՝ օբյեկտների միջև տարբերությունները: ԲՄ-ը հաշվարկելու համար մուտքային D մատրիցը ներկայացվում է հետևյալ մատրիցների սկալյար արտադրյալի տեսքով՝

$$J = I - \frac{1}{n} [1], B = -\frac{1}{2} J D^2 J: \quad (2)$$

Այնուհետև հաշվարկվում են B մատրիցի սեփական արժեքները՝ $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$ և սեփական վեկտորները՝ $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_m$: Վերջնական ցածր չափայնության տվյալները $x_1, x_2, \dots, x_n$ հաշվարկվում են (3) հավասարման միջոցով.

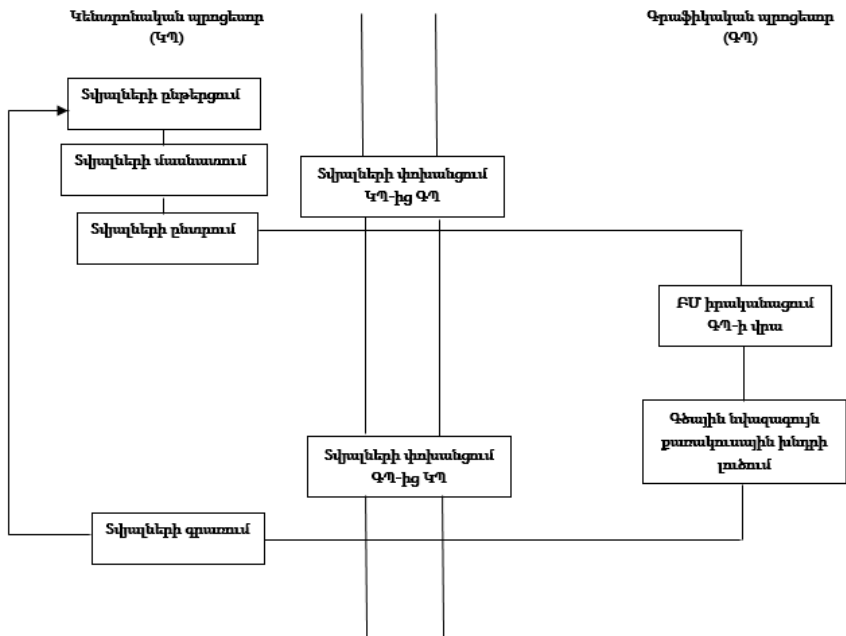
$$x = E_m \sqrt{\gamma_m}, \quad (3)$$

որտեղ γ_m -ը սեփական արժեքների անկյունագծային մատրիցն է, իսկ E_m -ը՝ սեփական վեկտորներից կազմված մատրիցը.

Այս ալգորիթմի հիմնական թերությունը սեփական արժեքների և վեկտորների հաշվարկի բարդությունն է՝ $O(n^3)$: Հետագա հաշվումները հիմնված են ՄԲՄ մոտեցման վրա [3], որի բարդությունը $O(n \log n)$ է: Նախ՝ մուտքային $n \times n$ - չափանի D մատրիցը մասնատվում է $\frac{n}{p} \times \frac{n}{p}$ - չափանի $D_1, D_2, \dots, D_p$ ենթամատրիցների, և դասական ԲՄ ալգորիթմը կիրառվում է յուրաքանչյուր D_i ենթամատրիցի համար ($dMDS_i$): Այնուհետև յուրաքանչյուր D_i ենթամատրիցից ընտրվում է s կետ, և կառուցվում է $spxsp$ -չափանի M մատրիցը, որի վրա ևս կիրառվում է ԲՄ ալգորիթմը ($mMDS_i$): Ալգորիթմի վերջին փուլում, հաշվի առնելով մինչ այդ ստացված ԲՄ լուծումները, խնդիրը հանգեցվում է գծային նվազագույն քառակուսային խնդրի հաշվարկմանը.

$$A_i dMDS_i = mMDS_i: \quad (4)$$

Այս գործընթացը շարունակվում է այնքան ժամանակ, քանի դեռ D_i ենթամատրիցի չափը օպտիմալ է ԲՄ-ն կիրառելու համար:



Նկ. 1. ՄԲՄ ալգորիթմի իրականացումը գրաֆիկական պրոցեսորի վրա

Գրաֆիկական պրոցեսորի վրա ՄԲՄ ալգորիթմի իրականացման համար իրականացվել է երկու ֆունկցիա (նկ. 1): Առաջին ֆունկցիան նախատեսված է յուրաքանչյուր ենթամատրիցի ԲՄ ալգորիթմի հաշվարկի, երկրորդ ֆունկցիան՝ գծային նվազագույն քառակուսային խնդրի լուծման համար:

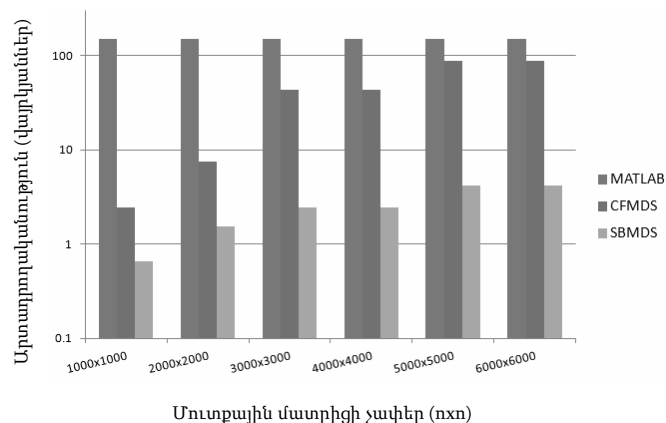
Նախ՝ տվյալները տեղափոխվում են կենտրոնական պրոցեսորից գրաֆիկական պրոցեսորի լոկալ հիշողություն, որը մի քանի անգամ ավելի արագ հիշողության տիրույթ է: Այնուհետև երկու ֆունկցիաներն իրականացվում են ուղղակիորեն գրաֆիկական պրոցեսորի վրա՝ օգտագործելով $2D \times 32$ -չափանի բլոկեր և $2D$ ցանց, որի չափը որոշվում է ենթամատրիցների և բլոկների չափերի հարաբերությամբ: Ավելի լավ արտադրողականություն ստանալու համար օգտագործվում է ՀՄՄՀ տեխնոլոգիայի հոսքերի, ասինխրոն տվյալների փոխանցման գաղափարը:

Փորձարարական տվյալներ. Փորձնական տվյալներում օգտագործված Մայա բազմությունը բաղկացած է 6240 պատկերներից, որոնք բաժանված են 24 դասերի, և յուրաքանչյուր դաս պարունակում է 10 տարբեր օբյեկտներ՝ յուրաքանչյուրից ընդգրկելով 25 տարբերակներ: Պատկերները նկարագրելու համար նախ՝ հաշվարկվում են նրանց HOOSC նկարագրությունները [10], որից հետո հաշվարկվում է $\mathcal{G}$ -միջոցային կլաստերինգը: Կլաստերինգի արդյունքում ստացված բառարանի համար հաշ-

վարկվում է նորմալացված բաշխումը, որի միջոցով ստացվում է յուրաքանչյուր պատկերի bag-of-visual համախումբը: Բոլոր փորձերը իրականացվել են Windows 7, Intel Core i5-3230M, 2.60 GHz մեքենայի համար, որը համալրված է NVIDIA GT 730M գրաֆիկական պրոցեսորով (384 cores, 2 SM, 2GB global, 48KB shared memory):

Առաջարկված ինտերֆեյսը ներառում է հարցումը, L_1 հեռավորության հիման վրա հաշվարկված 70 վերին արդյունքները, գրաֆիկական պրոցեսորի վրա իրականացված ՄԲՄ ալգորիթմի արդյունքում ընտրված պատկերների ենթաբազմությունը և ընտրված պատկերին համարժեք պատկերների բազմությունը:

ՄԲՄ ալգորիթմի արագությունը գնահատելու համար վերջնական արդյունքները համեմատվել են MATLAB-ով իրականացված ծրագրի արդյունքների հետ, ինչպես նաև գրաֆիկական պրոցեսորի վրա իրականացված CFMDS ալգորիթմի հետ: Ելնելով օգտագործված գրաֆիկական պրոցեսորի տեսակից՝ M մատրիցի չափը որոշվել է որպես $\frac{3}{2} \times \frac{\text{օբյեկտների քանակ}}{p}$: Ենթամատրիցների օպտիմալ քանակը որոշվել է 10 անկախ կատարումներից հետո, և լավագույն արդյունքները ստացվել են տարբեր մուտքային տվյալների համար տարբեր p արժեքների դեպքում (1000x1000, 2000x2000, 3000x3000 - $p = 10$; 4000x4000, 5000x5000, 6000x6000 - $p = 30$): Նկ. 2-ում ցուցադրված են երեք տարբեր իրականացումների համար ստացված արդյունքները: ՄԲՄ իրականացումը մոտ 20 անգամ ավելի արագ արդյունքներ է ապահովում, քան CFMDS ալգորիթմը, որը նույնպես իրականացված է գրաֆիկական պրոցեսորների վրա և մոտ 100 անգամ ավելի արագ է, քան MATLAB հաջորդական իրականացումը: Գնահատվել է նաև ներկայացված ալգորիթմի իրականացման և հաջորդական իրականացման միջև ճշտությունը, որի համար սխալը որոշվել է որպես $\varepsilon < 0,001$: Հետևաբար, պահպանելով ճշտությունը, բավականաչափ բարելավվել է ալգորիթմի արագությունը:



Նկ. 2. Գրաֆիկական պրոցեսորների վրա ՄԲՄ ալգորիթմի արտադրողականությունը՝ համեմատած MATLAB և CFMDS ալգորիթմների հետ

Եզրակացություն. Չնայած համարժեք հետադարձ ալգորիթմները բարելավում են ԲՀՊՈ համակարգերը, սակայն դրանք ունեն վերակառուցման ժամանակի հետ կապված թերություն: Ուստի նպատակահարմար է այդ ալգորիթմների մասնակի կամ լրիվ իրականացումը գրաֆիկական պրոցեսորների վրա: Ներկայացված է արագ ինտերակտիվ ինտերֆեյս՝ հիմնված գրաֆիկական պրոցեսորներով իրականացված Կ-միջոցային կլաստերինգի և ՄԲՄ ալգորիթմի վրա: Ինտերֆեյսի գնահատումն իրականացվել է Մայա հիերոգլիֆների բազմության վրա, որը դրսևորել է 20 անգամ ավելի արագ արդյունքներ մինչ այդ գոյություն ունեցող ինտերֆեյսների հետ համեմատած՝ պահպանելով $\varepsilon < 0,001$ ճշտություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Chen Y., Zhou X.S., Huang T.S.** One-class svm for learning in image retrieval // Image Processing. – 2001. - Vol. 1. - P. 34-37.
2. **Kumar K.K., Bhutada S., Balaram V.** An adaptive approach to relevance feedback in cbir using mining techniques // Proceedings of International Conference on Electronics. – 2012. - Vol. 80. – P. 80-85.
3. **Yang T., Liu J., Mcmillan L., Wang W.** A fast approximation to multidimensional scaling // CIMCV. – 2006. – P. 41-49.
4. **Rocchio J.J.** Relevance feedback in information retrieval. - Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ, 1971. – 18 p.
5. **Aksoy S., Haralick R., Cheikh F., Gabbouj M.** A weighted distance approach to relevance feedback // IAPR International Conference on Pattern Recognition. – 2000. – P. 812-815.
6. **Doloc-Mihu A., Raghavan V.V., Karnatapu S., Chu H.C.H.** Interface for visualization of image database in adaptive image retrieval systems (airs) // Proceedings of SPIE. – 2007. – Vol. 5669. – P. 28-40.
7. **Ingram S., Munzner T., Olano M.** Glimmer: Multilevel mds on the gpu // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2009. - Vol 15. – P. 249-261.
8. **Park S., Shin S.Y., Hwang K.B.** Cfmds: Cuda-based fast multidimensional scaling for genome-scale data // BMC Bioinformatics. – 2012. – Vol. 13. – P. 17-23.
9. **Li Y., Zhao K., Chu X., Liu J.** Speeding up k-means algorithm by gpus // CIT. – 2010. – P. 115-122.
10. **Roman-Rangel E., Marchand-Maillet S.** Stopwords detection in bag-of-visual-words: The case of retrieving maya hieroglyphs // ICIAP. – 2013. –Vol. 8158. – P. 159-168.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.11.2014:

В.Ш. МЕЛИКЯН, А.А. ОСИПЯН, С. МАРЧАНД-МАЙЛЛЕТ, А. МОРТОН, Н.М. НЕРСЕСЯН

**БЫСТРОЕ ИНТЕРАКТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ПУТЕМ
ВЫБОРОЧНОГО МНОГОМЕРНОГО ШКАЛИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКОМ
ПРОЦЕССОРЕ**

Алгоритмы обратной связи улучшают поисковые системы на основе содержания изображений путем эффективного использования соответствующих/несоответствующих изображений, маркированных пользователями. Основным неудобством этих алгоритмов является время обновления для больших наборов данных. Графические процессоры для вычислений общего назначения предоставляют возможность выполнения параллельных вычислений на мощной платформе. Предлагается быстрый интерактивный интерфейс, который включает в себя две дополнительные визуализации, основанные на быстрой k-means кластеризации и быстром выборочном многомерном шкалировании на многоядерных графических процессорах. Производительность и эффективность разработанной системы изучаются на коллекции блоков изображений *Майя*. Экспериментальные результаты показывают улучшение поисковой производительности на интерактивных скоростях.

Ключевые слова: алгоритмы обратной связи, поисковые системы на основе содержания изображений, интерактивный интерфейс, графические процессоры.

**V.SH. MELIKYAN, H.A. OSIPYAN, S. MARCHAND-MAILLET, A. MORTON,
N.M. NESRSEYAN**

**FAST INTERACTIVE INFORMATION RETRIEVAL BY SAMPLE-BASED
MULTIDIMENSIONAL SCALING ON GPU ARCHITECTURES**

The relevance feedback algorithms improve the content-based image retrieval (CBIR) systems by effectively using the relevant/non-relevant images labeled by users. The main constraint of these algorithms is the update time for large datasets. Opening the graphics processing units (GPUs) to general purpose computation provides an opportunity for performing parallel computation on a powerful platform. A fast interactive interface is proposed which includes two additional views based on fast k-means clustering and fast sample-based multidimensional scaling (SB-MDS) on a multi-core GPU architecture. We study the performance and efficiency of the system on a collection of *Maya* syllabic glyph images. The experimental results show the improvement of the retrieval performance at interactive speeds.

Keywords: relevance feedback algorithms, content-based image retrieval systems, interactive interface, graphic processing units.

Ю.Г. ГРИГОРЬЯН, А.В. ПЕТРОСЯН

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЛОЖНОСТИ
АРИФМЕТИЧЕСКИХ МНОГОГРАННИКОВ**

Одной из трудно решаемых задач автоматизации проектирования вычислительных систем даже в локальном масштабе является задача размещения модулей. Разработан автоматизированный метод оценки качества размещения модулей на основе статистических свойств арифметических многогранников.

Ключевые слова: арифметический многогранник, граф, структура, эквивалентность, информация, числа Фибоначчи.

Формально задача размещения модулей состоит в нахождении оптимального варианта расположения модулей на плате типовых элементов замены (ТЭЗ) в соответствии с некоторой мерой, установленной для межсоединений, например с "минимально взвешенной длиной проводника" [1]. При практической реализации этой задачи, как правило, невозможно реализовать требования к монтажу со стороны схемотехники. Однако минимизация суммарной взвешенной длины проводника является критерием, удовлетворяющим большинство требований. Наряду с машинными методами размещения встречаются задачи, которые трудно поддаются машинной реализации, и возникает необходимость их решения "вручную" или полуавтоматически, при этом суммарная взвешенная длина проводника во многом зависит от опыта, искусства, способностей конструктора, т.е. факторов, трудно поддающихся формализации. В этих условиях важным является наличие соответствующего "ориентира"- такой наиболее объективной суммарной длины проводника, к которой должен стремиться конструктор. Этот же показатель важен и при машинной реализации данной задачи. На его основе можно оценить качество размещения. Указанным "ориентиром" может служить наиболее вероятная "длина схемы (арифметический многогранник)", которая может быть найдена на основе автоматизации методов статистического моделирования [2].

Подходы к задаче размещения, основанные на применении автоматизации метода статистических испытаний, предлагались в работе [1]. При этом предполагалось, что вероятность случайного подбора хорошего размещения достаточно высока. Однако проведенные в [1] эксперименты не подтвердились на практике. Полученный отрицательный результат, на наш взгляд, может быть связан, по крайней мере, с двумя обстоятельствами: а) размещение проводилось в неформализованной среде; б) случайное размещение модулей по установочным

местам платы необязательно осуществлять на основе равномерного распределения плотности вероятности.

Отмеченные проблемы решаются следующим образом.

Определение 1. Арифметическим графом (АГ) называется пара $G(N, M)$, где N - множество вершин графа; (n_i, n_j) - его ребро, если $n_i + n_j \in M$; множество M - порождающее множество, а число $n_i + n_j = m_r$ – вес ребра (n_i, n_j) . Известно, что понятия АГ и графа в классическом смысле эквивалентны. Для отличия от обычных графов АГ обозначается $G(N/M)$.

Определение 2. Арифметическим многогранником называется структура многогранника, представленная в виде АГ.

Геометрические свойства АГ [3], их реализуемость в евклидовых пространствах [4] и наличие универсальных кодирующих множеств (например, множество чисел Фибоначчи), над которыми любое представление графа является АГ [2], создали определенную формализованную среду, удобную для статистического моделирования задачи определения наиболее вероятной "длины графа".

В связи с изложенным задача определения наиболее вероятной "длины графа" формально может быть описана следующим образом. Пусть $G(F_p | M_q)$ – арифметический граф с p вершинами и q ребрами, представленный над множеством чисел Фибоначчи:

$$F_p = \{1, 2, 3, 5, \dots, U_p\}, \quad (1)$$

$$M_q = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_q\}, \quad (2)$$

$$M_q \subset \{3, 4, 6, \dots, u_{p-1} + u_p\} \quad (3)$$

и соответствующий заданному графу смежности модулей. В силу свойств чисел Фибоначчи, любое кодирование вершин заданного графа этими числами обеспечивает его представление в виде АГ. Каждой случайной выборке $\{u_{i_1}, u_{i_2}, \dots, u_{i_p}\}$, состоящей из p различных чисел Фибоначчи, кодирующих вершины заданного графа G , ставится в соответствие число

$$\ell_j(G) = \sum_{i=1}^q \sqrt{m_i}, \quad (4)$$

которое согласно метрике, данной в [3,4], выражает сумму длин ребер АГ, соответствующую j -му испытанию. Указанным способом может быть сформирован статистический ряд

$$\ell_1(G), \ell_2(G), \dots, \ell_j(G), \dots \quad (5)$$

“для графа” G . Блок-схема автоматизации расчета приведена на рис. 1.

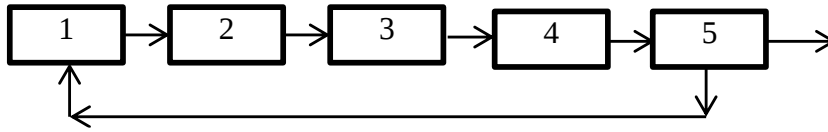


Рис. 1. Блок-схема автоматизации расчета количества информации:

1- датчик псевдослучайных перестановок ($n_{i_1}, n_{i_2}, \dots, n_{i_p}$); 2- кодирование вершин ($i_1, i_2, \dots, i_p$) графа G числами Фибоначчи $F_p\{1, 2, 3, 5, \dots, n_p\}$; 3- формирование представления АГ $G(F_p | M_q)$; 4- вычисление $\ell_j(G)$ по формуле (4); 5- проверка условия достаточности испытания статистических параметров

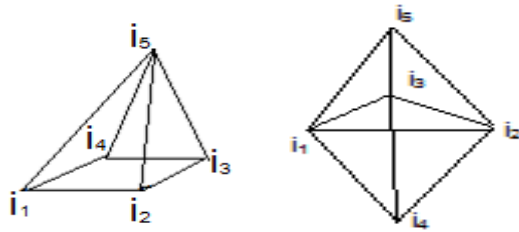


Рис. 2. Арифметические многогранники

Для автоматизации расчета количества информации в графах G_1, G_2 (рис. 2) используются классическая формула Шеннона и методика, предложенная в [5,6]:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i . \quad (6)$$

В табл.1 приведены показатели количества информации H_j и общая длина ℓ_j графа G_1 (рис. 2) для каждого j - го испытания. Автоматизация расчётов представляется с помощью программного обеспечения С# (рис. 3). Аналогичные расчеты выполнены для графа G_2 с результатами, приведёнными в табл. 2.

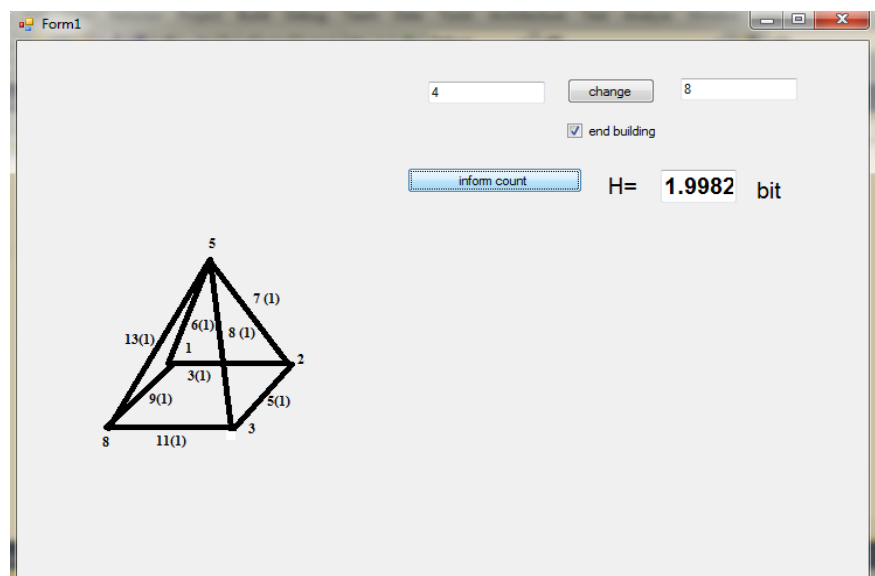
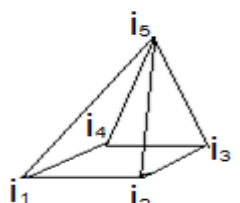


Рис. 3. Окно программного обеспечения графического отображения структур и результатов

На рисунке в скобках указана частота соответствующего ребра (n_i, n_j) с весом $m_r = n_i + n_j$.

Таблица 1

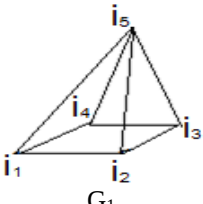
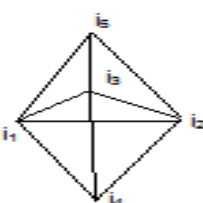
Метрические показатели и количество информации многогранника

					Количество информации, H (bit)	Общая длина ребер, L	Площадь поверхности, S
i_1	i_2	i_3	i_4	i_5			
1	2	3	5	8	1,81475	20,0541(min)	14,0248(max)
2	5	3	1	8	1,90817	20,6596	14,0137
8	3	2	1	5	1,99820	21,5021	12,9296
5	2	8	1	3	1,92947	21,6596	11,531
8	3	2	1	5	1,9383	21,881	12,9296
1	8	3	2	5	2,00597	21,5021	12,9296
2	3	5	8	1	2,04693	21,5268	10,2458(min)
8	5	2	3	1	2,22212	23,442(max)	10,318

В табл. 2 приведены основные статистические параметры, полученные с помощью программного обеспечения С# для графов G_1 , G_2 .

Таблица 2

Статистические расчетные данные кодированного АГ

Граф	Число испытаний	Пределы изменения общей длины графа, $\ell_j(G)$	Пределы изменения количества информации, $H_j(G)$	Коэффициент корреляции
 G_1	50	20,05 ... 23,44	1,801 ... 2,222	0,91
 G_2	50	23,3 ... 24,7	1,81 ... 2,12	0,89

Заключение. Предложен простой метод оценки дискретных структур. Метод легко реализуем средствами современных информационных технологий для автоматизированной оценки оптимального варианта расположения модулей на плате ТЭЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория и методы автоматизации проектирования вычислительных систем / Под ред. М. Брейера. – М.: Мир, 1977.- 282 с.
2. Григорьян Ю.Г. Классификация и статистические свойства арифметических графов // Кибернетика.- 1979.- № 6.- С. 9-12.
3. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах.- М.: Мир, 1969.- 396 с.
4. Григорьян Ю.Г. Пространство дискретных геометрий // Кибернетика и системный анализ. -2006.- № 5.- С. 22-32.
5. Григорьян Ю.Г. Геометрия арифметических графов // Кибернетика и системный анализ.- 1982. - № 5.- С. 1-4.

6. Григорьян Ю.Г., Петросян А.В. Информационная оценка химических структур методами арифметических графов // Европейская академия.- 2011.- № 1.- С. 166-176.

Европейская региональная академия. Материал поступил в редакцию 07.11.2014.

ՅՈՒ.Գ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա.Վ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ԹՎԱԲԱՆԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱՆԻՍՏԵՐԻ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ԲԱՐԴՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ**

Հաշվողական ավտոմատացման համակարգերի նախագծման մեջ աշխատատարներից է մոդուլների տեղակայման խնդիրը: Մշակվել է մոդուլների տեղակայման որակի գնահատման մեթոդի ավտոմատացված համակարգ՝ թվաբանական բազմանիստերի վիճակագրական հատկությունների հիման վրա:

Առանցքային բառեր. թվաբանական բազմանիստ, գրաֆ, կառուցվածք, համարժեքություն, տեղեկատվություն, Ֆիբոնաչիի թվեր:

Y.G. GRIGORYAN, A.V. PETROSYAN

**AUTOMATING THE CALCULATION OF INFORMATION COMPLEXITY
OF ARITHMETIC POLYHEDRONS**

One of the difficult tasks to be solved for automated design of computer systems, even in a local scale, is the problem of the module displacement. An automated method for assessing the quality of the displacement on the basis of statistical properties of arithmetic polyhedrons is developed.

Keywords: arithmetic polyhedrons, graph structure, equivalence, information, Fibonacci numbers.

Դ.Ա. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՕՂԱՆԱՎԱԿԱՅԱՆԻ ԿԱՐԳԱՎԱՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՎ
ԲԵՌՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Կատարվել է օդանավակայանի կենտրոնական կարգավարական ծառայությունում վիճակագրական հետազոտություն, գնահատվել է կարգավարների բեռնվածության աստիճանը:

Առանցքային բառեր. օդանավակայան, կարգավարի ծառայություն, կոռելյացիա, վիճակագրություն, վիճակագրական վերլուծություն:

Օդանավակայանը բարդ համակարգ է, որի ենթահամակարգերը նախապատրաստում և ապահովում են օդանավերի թռիչքի, վայրէջքի հետ կապված համալիր աշխատանքները: Օդանավակայանի հիմնական ենթահամակարգերն են՝ տեխնիկական, փոխադրումների կարգավորման, ավիացիայի անվտանգության և վերգետնյա ղեկավարական ապահովման և այլ ծառայությունները:

Ծառայությունների խնդիրներն առնչվում են գործող նորմերի և տեխնիկական փաստաթղթերի պահանջներին, որոնցից առավել ուշագրավ են թռիչքների անվտանգության ծառայությունը, ստորաբաժանումների կողմից հսկման իրականացումը, օդանավակայանի վիճակի, թռիչքի անվտանգության համար կարևոր նշանակություն ունեցող տեղեկության ժամանակի տրամադրումը, օդանավի անձնակազմին տեղեկության տրամադրումը թռիչքի ամբողջ երթուղու, թռիչքի, վայրէջքի և պահուստային օդանավակայանների, օդանավագնացության մասին տեղեկության հավաքագրումը, մշակումը, պահպանումը և իրազեկումը, օդանավի անձնակազմի որակյալ խորհրդատվության ապահովումը և այլն:

Օդանավակայանի տարբեր ծառայությունների փոխգործունեության և աշխատանքների կոորդինացումն իրականացվում է օդանավերի թռիչքի, վայրէջքի և նախապատրաստման վերաբերյալ տեղեկության փոխանակմամբ: Տեղեկության փոխանակումը կատարվում է օդանավակայանի կենտրոնական կարգավարական ծառայությանը կողմից, որտեղ ամրագրվում և հսկվում են երթուղիների սպասարկման հիմնական գործողությունները:

Կենտրոնական կարգավարական ծառայության արդյունավետությունը կախված է սարքավորումների տեխնիկական և տեղեկատվական բնութագրերից, կարգավարի հոգեբանաֆիզիկական հնարավորություններից և այլ գործոններից:

Կարգավարն ընդունում և վերլուծում է ստացված տեղեկությունը, որի մեծ ինտենսիվությունը և ծավալները պատճառ են դառնում կարգավարի հնարավորություն-

ների անհամապատասխանությանը տվյալ տեղեկության մշակման համար և կարող են հանգեցնել գերբեռնվածության, աշխատանքի արդյունավետության նվազեցման և սխալ ընդունված որոշումների:

Օպերատիվ կառավարման գործընթացում տեղեկության ծավալների ընդհանուր աճի հետ կապված՝ առաջնային դեր է ստանում կարգավորման հանգույցների համատարած ընդլայնումը, իսկ տեղեկության վերլուծության գործընթացը դառնում է առաջնային: Դա հանգեցնում է կարգավարի կենտրոնական ծառայության ավտոմատացման անհրաժեշտությանը, ինչը բարենպաստ պայմաններ կստեղծի տեղեկության օպերատիվ մշակման և ստեղծված իրավիճակներում օպտիմալ որոշումների ընդունման համար:

Օդանավակայանի կենտրոնական կարգավարական ծառայության աշխատանքները կարգավորելու համար անհրաժեշտ է գնահատել համակարգին տրվող տեղեկության բնութագրերը, ինչպիսիք են դրա ծավալները, ներմուծման օրինաչափությունը, հաղորդագրությունների ընդունման և փոխանցման հաճախականությունը, տևողությունը և այլն:

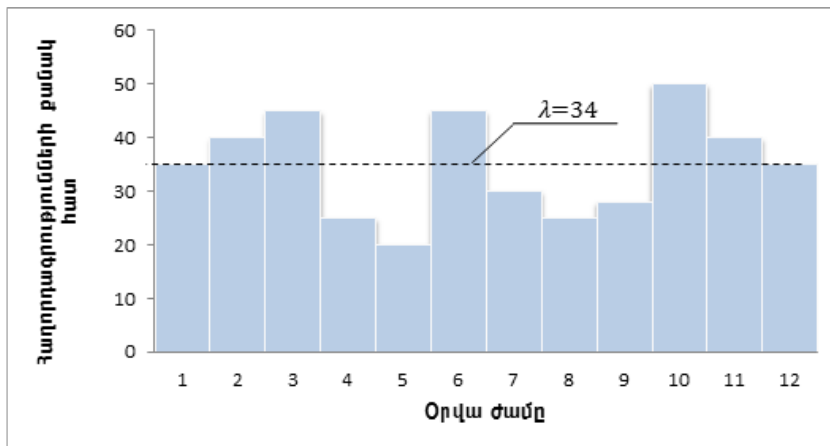
Կենտրոնական կարգավարական ծառայության կարգավարը դիտվում է որպես սպասարկող սարք, իսկ ներմուծվող տեղեկությունը՝ պահանջարկ, կարգավարի աշխատանքը՝ պահանջարկի հոսքի սպասարկում: Այդ տեսանկյունից կարգավարական ծառայության գործընթացի մաթեմատիկական նկարագրման համար կիրառելի են հերթերի տեսության մեթոդները:

Կարգավարի աշխատանքի պարամետրերի որոշման համար կատարվել են «Զվարթնոց» օդանավակայանի կենտրոնական կարգավարական ծառայությունում վիճակագրական հետազոտություններ:

Նախնական հետազոտման ընթացքում բացահայտվել են հետազոտությունների ճշտության վրա ազդող գործոնները, և մշակվել են միջոցներ դրանց ազդեցության նվազեցման ուղղությամբ: Կարգավարից ստացվող տեղեկության հոսքի բնութագրերը մոդելավորելու նպատակով կատարվել են յուրաքանչյուր կարգավարի աշխատանքի 25...30 դիտումներ՝ բաղկացած 35...37 հաղորդագրություններից:

Հաղորդագրությունների քրոնոմետրաժը և դրանց մշակման տևողության արդյունքները մաթեմատիկական վիճակագրության մեթոդներով հիմնավորելիս բացահայտվել է, որ հոսքերը ստացիոնար են, հաղորդագրությունների փաստացի բաշխումն ըստ օրվա ժամերի բավարար ճշտությամբ հարթեցվում է ուղիղով (նկ.):

Կենտրոնական կարգավարական ծառայության առանձնահատկություններից ելնելով՝ տեղեկության մշակման գործընթացը մոդելավորելիս ընդունված են հետևյալ պայմանները. համակարգը միագիծ է (յուրաքանչյուր կարգավարի աշխատանքն ուսումնասիրվում է տարանջատված), սպասմամբ օժտված [1], իսկ ստացիոնարությունն ապացուցվում է Չեբիշևի թվի միջոցով՝ օգտվելով կոռելյացիոն հոսքերի հավասարումներից:



Նկ. Հաղորդագրությունների բաշխումը

Հաշվվել են գրոյական $f_0(x)$ և $f_1(x)$ առաջին կարգի հավասարումները, և որոշվել են s_0 և s_1 հիմնական սխալները: Հաշվարկները ցույց են տվել, որ առաջին կարգի հավասարման անցնելիս s_0 հիմնական սխալը մեծ է $s_0 -$ ից ($s_1 > s_0$), այսինքն՝ կարելի է բավարարվել գրոյական կարգի հավասարումով:

Դիսպերսիոն վերլուծությունը հաստատեց, որ առաջին կարգի հավասարման անդամի ազդեցությունը նշանակալի չէ, քանի որ տվյալ դեպքում դիսպերսիոն հարաբերությունը էապես փոքր է աղյուսակայինից: Հաղորդագրությունների միջև ժամանակահատվածի փոխադարձ անկախությունը որոշվել է շարքերի թվի չափանիշի միջոցով: Կազմվել է վարիացիոն շարքը, որոշվել շարքի անդամների ընդհանուր թիվը, միջին արժեքը և շարքի թիվը $P = 0.95$ դեպքում: Ժամանակահատվածի փորձնական բաշխման համապատասխանությունը էքսպոնենցիալին ապացուցվել է՝ օգտագործելով χ^2 չափանիշը:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^e \frac{(n_i - N\tilde{P}_i)^2}{N\tilde{P}_i},$$

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \end{cases}$$

Մշակման արդյունքում ստացված χ^2 չի գերազանցել աղյուսակայինը 5% նշանակալիության մակարդակի դեպքում, հետևաբար՝ առաջարկված վարկածը չի հերքվել:

Ինքնաթիռների ժամանման հոսքերը միջարկվում են պուասոնյան հոսքով ժամանման ժամանակի էքսպոնենցիալ բաշխմամբ [2]: Հետևաբար՝ կարգավարները ստանում են հաղորդագրություններ՝ էքսպոնենցիալ օրենքի համաձայն: Այսպիսով, յուրաքանչյուր կարգավարի կողմից տեղեկության մշակման գործընթացը նկարագրվում

է միագիծ սպասմամբ զանգվածային սպասարկման համակարգով, որի քանակական բնութագրերն են՝

$$r = Ia, V = \rho \frac{\rho\sigma^2 + 2\alpha^2 - \rho\alpha^2}{2(1-\rho)\alpha^2}, U = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\alpha^2}\right), \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{\rho}{2(1-\rho)} \left(\alpha + \frac{\sigma^2}{\alpha}\right), \gamma = \frac{\rho}{2(1-\rho)} \left(\alpha + \frac{\sigma^2}{\alpha}\right), \gamma = \frac{\rho}{2(1-\rho)} \left(\alpha + \frac{\sigma^2}{\alpha}\right), t' = \gamma + t,$$

որտեղ r –ը կարգավարի բեռնվածության գործակից է, I –ն՝ միավոր ժամանակում հաղորդագրությունների ինտենսիվությունը, a –ն՝ հաղորդագրությունների ընդունման, մշակման և փոխանցման միջին տևողությունը, V –ն՝ կարգավարի կողմից մշակվող և հերթում եղած հաղորդագրությունների միջին քանակը, σ –ն՝ հաղորդագրության ընդունման, մշակման և փոխանցման տևողության միջին քառակուսային շեղումը, U –ն՝ հերթում եղած հաղորդագրությունների միջին թիվը, γ –ն՝ հաղորդագրության հերթում գտնվելու միջին ժամանակը, t' –ը՝ հաղորդագրության համակարգում գտնվելու միջին ժամանակը:

Մասնավոր դեպքում, երբ հաղորդագրության մշակման տևողությունն ունի էքսպոնենցիալ բաշխում $K = \frac{\sigma}{\alpha} = 1$ վարիացիայի գործակցով, (1) բանաձևերը պարզեցվում են՝

$$V = \frac{\rho}{1-\rho}, U = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \rho V, \rho = \frac{\lambda\alpha}{s}, r = \frac{\alpha}{1-\rho}. \quad (2)$$

Նշենք, որ կարգավարի նորմալ աշխատանքը հնարավոր է $r < 1$ պայմանի դեպքում: Եթե $r > 1$, ապա հաղորդագրությունների հերթն անընդհատ կաճի:

Այսպիսով, կարգավարին տրվող հաղորդագրությունների հոսքը պարզագույնն է (պուասոնյան): Նշենք նաև, որ հաղորդագրության մշակման տևողությունն ունի էական ցրում (վարիացիայի գործակիցը մոտ է մեկին), հետևաբար՝ կարգավարի աշխատանքը գնահատելու համար կարելի է օգտվել (2) բանաձևերից:

Վիճակագրական տվյալների մշակումը ներկայացված է աղյուսակում.

Աղյուսակ

Բնութագրեր	Չափման միավոր	Քանակ
հաղորդագրությունների ուժգնությունը, I	<i>հատ/րոպե</i>	2 ... 2,5
հաղորդագրության ընդունման, մշակման, փոխանցման միջին տևողությունը, a	<i>րոպե</i>	0,2 ... 0,3
կարգավարի բեռնվածության գործակիցը, r	-	0,4 ... 0,75
մշակվող և հերթում սպասող հաղորդագրությունների միջին թիվը, V	<i>հատ</i>	0,67 ... 3,0
հերթում եղած հաղորդագրությունների միջին թիվը, U	<i>հատ</i>	2,2 ... 2,7
հաղորդագրության մշակման միջին ժամանակը, t	<i>րոպե</i>	0,05... 0,13
հերթում սպասելու միջին ժամանակը, γ	<i>րոպե</i>	0,12 ... 0,33

Կատարված հաշվարկները ցույց տվեցին կարգավարների բեռնվածության բարձր աստիճանը: Առանձին կարգավարների դեպքում հերթում սպասելու միջին ժամանակը երեք անգամ գերազանցում է հաղորդագրության մշակման ժամանակը: Այդ բեռնվածությունը կարելի է նվազեցնել ավտոմատացված կառավարման համակարգի ներդրմամբ [3]: Այդպիսի համակարգի ներդրման դեպքում բանավոր հաղորդագրությունների թիվը մեկ չվերթի ընթացքում ժամում 12-ից նվազել է մինչև 3, տեղեկույթի անընդհատ փոխանցման և ստացման ժամանակը՝ 24 րոպեից մինչև 6 րոպե, բանավոր հաղորդագրությունների ընդհանուր թիվը՝ 600...1000-ից մինչև 150...250:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Андронов А.М.** Теория массового обслуживания и научная организация труда в гражданской авиации. – М.: Редиздат МГА, 1969. -118 с.
2. **Шторм Р.** Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. –М.: Мир, 1970. - 368 с.
3. **Margaryan Davit, Markosyan Mher** ATIS/D “Cacadu-synthesis” air transport automated control system // CSIT Conference.- Yerevan, 2011.- P. 328 – 331.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.11.2014:

Д.А. МАРГАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРА АЭРОПОРТА И АНАЛИЗ НАГРУЗКИ

Проведены статистические исследования центральной диспетчерской службы аэропорта, оценена степень нагрузки диспетчера.

Ключевые слова: аэропорт, служба диспетчера, корреляция, статистика, статистический анализ.

D.A. MARGARYAN

STUDYING THE AIR TRAFFIC CONTROLLER’S WORK AND ANALYZING HIS LOAD

Statistical investigations of the airport central air traffic controller’s activity are carried out, and the air traffic controller’s work load is estimated.

Keywords: airport, air traffic control, correlation, statistics, statistical analysis.

УДК 532.542

ГИДРАВЛИКА И
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Э.П. АЩИЯНЦ, В.О. ТОКМАДЖЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОПОРОЖНЕНИИ
НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ВОДОВОДА

Получена аналитическая зависимость, определяющая изменение скорости течения жидкости при опорожнении водовода с учетом всех основных факторов, влияющих на ее величину. Рекомендуется методика определения продолжительности опорожнения водовода.

Ключевые слова: нагнетательный водовод, участки различного уклона, гидравлические сопротивления, скорость.

При эксплуатации нагнетательных водоводов систем водоснабжения возникает необходимость определения продолжительности их опорожнения. Анализ существующих исследований, посвященных этому вопросу, показывает, что в них недостаточно выявлена динамика процесса опорожнения водовода в случае учета влияния гидравлических сопротивлений [1,2], а рекомендуемые зависимости не обеспечивают необходимую точность расчета [3].

Целью настоящей работы является получение более точной аналитической зависимости, определяющей изменение скорости течения жидкости в нагнетательном водоводе при его опорожнении, и разработка методики определения продолжительности опорожнения водовода.

Рассматривается схема нагнетательного водовода (рис. 1), имеющего участки различного уклона. Предполагается, что до начала опорожнения водовода все его участки заполнены водой.

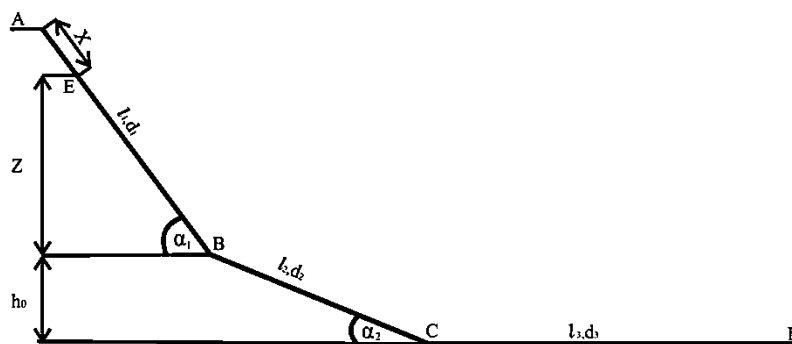


Рис. 1. Расчетная схема нагнетательного водовода

Для решения задачи используются уравнение Бернулли [1] и уравнение неразрывности вида $A_1V_1 = A_2V_2 = A_3V_3$, где A_1, A_2 и A_3 - площади поперечных сечений участков водовода АВ, ВС и CD (рис. 1), имеющих соответственно диаметры d, d_2, d_3 и длины l_1, l_2, l_3 ; V_1, V_2 и V_3 - скорости течения жидкости на участках АВ, ВС и CD.

Выражая V_1 и V_2 через скорость течения V_3 на участке водовода CD, для сечений Е и D (рис. 1) уравнение Бернулли представляется в виде

$$(l_1 - x) \sin \alpha_1 + h_0 = \frac{V_3^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{A_3}{A_1} \right)^2 + \xi_2 \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 + \xi_3 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \cdot \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} + \lambda_1 \frac{(l_1 - x)}{d_1} \left(\frac{A_3}{A_1} \right)^2 \right] + \frac{(L_1 - x)}{g} \frac{dV_3}{dt}, \quad (1)$$

где x - координата перемещения свободной поверхности жидкости в опорожняющемся участке АВ ($0 < x \leq l_1$); α_1 - угол наклона участка АВ к горизонту; ξ_1 и ξ_2 - значения коэффициентов местных гидравлических сопротивлений на участках ВС и CD; λ_1, λ_2 и λ_3 - значения коэффициентов гидравлических сопротивлений по длине водовода на участках АВ, ВС и CD; g - ускорение силы тяжести; t - текущее время; L_1 - расчетная длина водовода, которая согласно рекомендациям [1] равна

$$L_1 = \left[l_3 + l_1 \left(\frac{A_3}{A_1} \right) + l_2 \left(\frac{A_3}{A_2} \right) \right]. \quad (2)$$

Наличие в (1) слагаемого $\frac{\lambda_1}{d_1} \left(\frac{A_3}{A_1} \right)^2 (l_1 - x)$ не позволяет аналитически интегрировать указанное уравнение. Поэтому с целью получения аналитической зависимости для скорости течения жидкости, удобной для анализа и расчета, в уравнении (1) выражение в квадратных скобках принимается постоянным и обозначается через параметр K .

Заменяя переменную величину постоянной, допускается определенная погрешность. Однако, как будет показано ниже, влияние этой погрешности будет в дальнейшем сведено к минимуму.

После замены в уравнении (1) производной dV_3/dt на $d(V_3^2)/2dx$ [3] уравнение (1) принимает вид

$$\frac{dy}{dx} + y \frac{K}{(L_1 - x)} = \frac{2g[h_0 + (l_1 - x)\sin a_1]}{(L_1 - x)}, \quad (3)$$

где $y = V_3^2$.

Интегрируя (3) при начальных условиях ($x=0, y=0$), получается зависимость для скорости $V_3(x)$:

$$V_3(x) = \left\{ \left\{ 2g \sin a_1 \times \left[-\frac{(L_1 - x)}{(1-K)} + \frac{L_1}{(1-K)} \left(\frac{L_1 - x}{L_1}\right)^K + \frac{(L_1 - l_1)}{K} \left[\left(\frac{L_1 - x}{L_1}\right)^K - 1 \right] \right] \right\} + \frac{2gh_0}{K} \left[1 - \left(\frac{L_1 - x}{L_1}\right)^K \right] \right\}^{1/2}, \quad (4)$$

где $K \neq 1$, поскольку в этом случае согласно уравнению (1) $V_1 = 0$, что не соответствует физике явления, так как $V_1 = V_3 \frac{A_3}{A_1}$.

При неучете влияния гидравлических сопротивлений ($K=0, d_1=d_2=d_3$) зависимость (4) принимает вид

$$V_3(x) = \sqrt{2gh_0 \ln \frac{L}{L-x} + 2g \sin \alpha_1 \left[x + (l_2 + l_3) \ln \frac{(L-x)}{L} \right]}, \quad (5)$$

где $L = l_1 + l_2 + l_3$.

Из формулы (5) следует, что чем больше длина участка BD, тем меньше скорость опорожнения водовода, а с увеличением значения координаты x скорость опорожнения все время возрастает, достигая максимальной величины при $x = l_1$.

В случае, если опорожняется простой наклонный трубопровод ($h_0 = 0$ и $l_2 = l_3 = 0$ (рис. 1)), из (5) следует

$$V(x) = \sqrt{2g \sin \alpha_1 \cdot x}. \quad (6)$$

Имея в виду, что $V(x) = dx/dt$, из (6) получается зависимость для времени t вида

$$t = \sqrt{\frac{2x}{g \sin \alpha}}. \quad (7)$$

При $x = l_1$ из (7) определяется время опорожнения трубопровода $T = \sqrt{2l_1 / g \sin \alpha_1}$.

В случае, если в простом наклонном трубопроводе АВ учитывать только распределенные по длине трубопровода гидравлические сопротивления, скорость течения жидкости, как следует из уравнения (1), будет иметь вид

$$V(x) = \sqrt{2g \sin \alpha_1 \frac{(1 - e^{-ax})}{a}}, \quad (8)$$

где $a = \lambda_1 / d_1$.

Если в вышеуказанном наклонном трубопроводе распределенные по длине гидравлические сопротивления условно заменить на сосредоточенные в конце трубопровода и представить потери напора в виде $KV^2/2g$, то при опорожнении этого трубопровода зависимость для скорости будет иметь вид

$$V(x) = \sqrt{2g \sin \alpha_1 \frac{x}{(l + K)}}. \quad (9)$$

Приравнявая (8) и (9), можно определить такое значение параметра K , при котором при заданном фиксированном значении координаты x скорость течения жидкости, определенная по формуле (9), будет равна скорости, определяемой по формуле (8):

$$K(x) = \frac{ax}{(1 - e^{-ax})} - l, \quad (10)$$

где $0 < x \leq l_1$.

Равенство (10) используется при расчетах по полученной зависимости (4), где значение параметра K определяется по формуле

$$K = K_0 + K(x), \quad (11)$$

а

$$K_0 = [1 - (\frac{A_3}{A_1})^2 + \zeta_2 (\frac{A_3}{A_2})^2 + \zeta_3 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \cdot (\frac{A_3}{A_2})^2 + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3}].$$

Задавая различные значения x , по формуле (10) определяется соответствующее значение $K(x)$, а по формуле (11) - расчетное значение параметра K , которое подставляется в зависимость (4). По заданным значениям x строится график зависимости $V_3 = f(x)$, который используется для определения продолжительности опорожнения первого участка АВ водовода длиной l_1 . Для этого этот участок делится на несколько элементарных участков l^i , в пределах которых изменение скорости можно принять происходящим по линейной зависимости. После определения средней скорости в пределах каждого выделенного участка, исходя из равенства $t_i = l^i / V_i^{cp}$, вычисляется время опорожнения этого участка, а полное время опорожнения участка длиной l_1 будет равно $T_{on} = \frac{\sum l^i / V_i^{cp}}{A_3 / A_1}$.

Для установления степени корректности разработанной методики расчета проведено сопоставление расчетных значений T_{on}^p с соответствующими экспериментальными данными.

С этой целью в гидравлической лаборатории Национального университета архитектуры и строительства Армении смонтирована экспериментальная установка, состоящая из наклонного и горизонтального участков трубопровода. Наклонный участок представляет собой стальной трубопровод квадратного поперечного сечения со стороной $b = 0,019$ м и длиной $l_1 = 6,14$ м. Горизонтальный участок трубопровода изготовлен из полиэтилена диаметром $d_2 = 0,019$ м и длиной $l_2 = 8,92$ м.

На месте соединения этих трубопроводов установлен кран, а на расстоянии 0,5 м от него на стальном трубопроводе - стеклянный пьезометр.

Синус угла наклона первого участка трубопровода к горизонту равен 0,117. Коэффициент местных гидравлических сопротивлений ξ_2 и значения λ_1 и λ_2 по длине участков l_1 и l_2 определялись экспериментальным путем при стационарном режиме движения жидкости на этих участках $\xi_2 = 4$, $\lambda_1 = 0,04$, $\xi_2 = 4$, $\lambda_1 = 0,04$, $\lambda_2 = 0,025$, $A_1 = 2,89$ см², $A_2 = 2,83$ см².

Подсоединяя конец горизонтального полиэтиленового трубопровода к напорному резервуару, участки l_2 и l_1 водовода полностью заполнялись водой. Затем закрывался кран, установленный в месте изменения уклона водовода, и отсоединялся конец полиэтиленового трубопровода от напорного резервуара. При последующем открытии крана происходило опорожнение наклонного участка водовода. Время опорожнения этого участка фиксировалось с помощью стеклянного пьезометра.

В соответствии со схемой экспериментальной установки в полученной зависимости (4) принимается $h_0 = 0$ и $l_2 = 0$, и расчетная зависимость для скорости опорожнения жидкости принимает вид

$$V_2(x) = \sqrt{2g \sin \alpha_1 \left\{ -\frac{(L_1 - x)}{(1 - K)} + \frac{L_1}{(1 - K)} \left(\frac{L_1 - x}{L} \right)^K + \frac{(L_1 - l_1)}{K} \left[\frac{(L_1 - x)^K}{L_1} - 1 \right] \right\}}, \quad (12)$$

где $L_1 = l_2 + l_1 \frac{A_2}{A_1}$.

Используя расчетные параметры экспериментальной установки ($l_1 = 6,14$ м), $l_2 = 8,92$ м, $\sin \alpha_1 = 0,117$, $L_1 = 14,933$ м, $a = 0,226$ 1/см, с помощью зависимости (12) построены графики $V_2 = f(x)$, представленные на рис. 2. Из графиков видно, что при $K = 0$ (кривая 1) скорость опорожнения жидкости с возрастанием координаты x все время увеличивается.

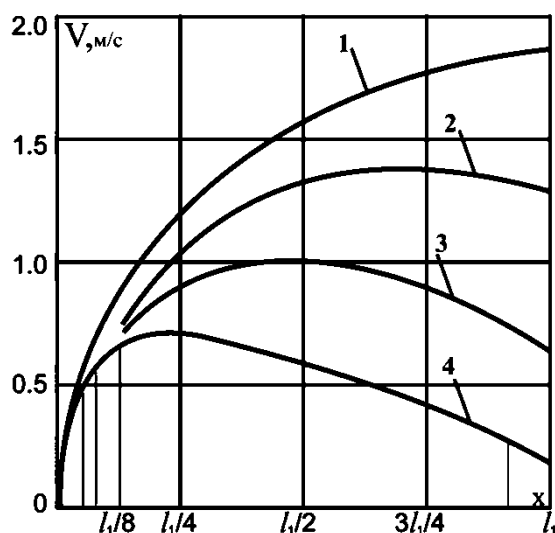


Рис. 2. Графики зависимости $V_2=f(x)$ при различных значениях параметра K : кривая 1 (параметр $K=0$), кривая 2 ($K_0=2$); кривая 3 (параметр $K_0=7$), кривая 4 ($K=K_0+K(x)$, $K_0=15,78$)

При постоянном значении параметра $K = 2$ (кривая 2) максимальная скорость опорожнения возникает при $x = 0,75 l_1$, а затем она уменьшается. При $K = 7$ (кривая 3) максимальная скорость возникает при $x = l_1 / 2$. Кривая 4 построена при переменных значениях параметра $K = K_0 + K(x)$, в котором $K_0 = 15,78$,

а значения $K(x)$ определены по формуле (10). Из графика видно, что в начале процесса опорожнения первого участка водовода длиной $l_1 = 6,14 \text{ м}$ скорость течения воды быстро возрастает до максимальной величины $V_{\max} = 0,73 \text{ м/с}$, а затем постепенно уменьшается до минимального значения $V_{\min} = 0,18 \text{ м/с}$ при полном опорожнении наклонного участка водовода, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Используя вышеуказанную методику расчета, с помощью построенного графика (кривая 4, рис. 2) определяется продолжительность опорожнения наклонного участка водовода от его начала до места установки пьезометра ($x = 5,64 \text{ м}$).

С этой целью участок l_1 делится на восемь элементарных участков (рис. 2), на каждом из которых определяется средняя скорость течения воды. Например, на седьмом участке, который заканчивается местом установки пьезометра, $l_1 = 1,035 \text{ м}$ и $V_7^{\text{cp}} = 0,34 \text{ м/с}$, и, следовательно, время опорожнения этого участка будет $t_7 = 3,04 \text{ с}$.

Суммируя промежутки времени на выделенных участках, определяется полное время опорожнения наклонного трубопровода длиной $5,64 \text{ м}$, которое составило $T_{\text{оп}}^p = 11,91 \text{ с}$. Согласно эксперименту, оно составляло $T_{\text{оп}}^{\text{эк}} = 12 \text{ с}$.

Визуальные наблюдения и измерения показали, что после открытия крана уровень свободной поверхности воды в пьезометре резко понизился. Через промежуток времени $t \approx 2,2 \text{ с}$ скорость понижения уровня свободной поверхности воды в пьезометре уменьшилась, а к концу опорожнения наклонного участка трубопровода она была в несколько раз меньше, чем в начальный период процесса опорожнения.

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили корректность разработанной методики расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 464 с.
2. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в нагнетательных водоводах. – Ереван: Изд-во Линуш, 2010. – 210 с.
3. Рафаэлян Р.М., Ащиянц Э.П., Мелконян А.С. Расчет параметров неустановившегося движения жидкости при заполнении и опорожнении водовода // Известия АН Армении. Сер. ТН. - 1992. - Т.45, N 2. - С.50-55.

НУАСА. Материал поступил в редакцию 08.09.2014.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ, Վ.Հ.ԹՈՔՄԱՋՅԱՆ

**ՄՂՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ԴԱՏԱԴԿՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ ՈՉ ՍՏԱՑԻՈՆԱԼ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԻՂԴԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Ստացված է անալիտիկ կախվածություն, որով որոշվում է խողովակաշարի դատարկման ընթացքում ջրի արագության փոփոխումը, հաշվի առնելով բոլոր հիմնական գործոնները, որոնք ներգործում են հեղուկի արագության մեծության վրա, և առաջարկվում է խողովակաշարի դատարկման ժամանակամիջոցի որոշման մեթոդիկա:

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

E.P. ASHCHYANTS, V.H. TOKMAJYAN

**DETERMINING THE HYDRAULIC PARAMETERS OF THE NONSTATIONARY
PROCESS AT DISCHARGING THE FORCE PIPELINE**

The analytic dependence defining the change in the velocity of the liquid flow at emptying the pipeline considering all the main factors influencing its value is obtained. A method for determining the duration of emptying the pipeline is recommended.

Keywords: force pipeline, sections of different gradient, hydraulic resistances, velocity.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱՐԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՎԱՍԻՒՅԱՆ Ս.Գ., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Վ.Գ., ՄԱՐԳԱՅԱՆ Ա.Ռ., ԲՈՅԱԶՅԱՆ Ս.Գ.	
Դիտարկելով ՄԱՍԻՒԿՆԵՐՈՎ ՄԱՐԿԱՎՈՂ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ԼՅՈՒԹԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՅ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՋԼՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ	3
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ս.Վ., ԱՌՍԱՍՅԱՆ Ժ.Ս., ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Ա.Հ., ԱՐԲԱԼՅԱՆ ԱԼԼԱ Ս.	
ԾԾՄԲԱԿԱՆ ԹԹՎԻ ՕԳՏԱՀԱՆՈՒՄԸ ԲԱՆԵՑՐԱԾ ԿԱՊԱՐԱԹԹՎԱՅԻՆ ԱԿՈՒՄՈՒԼՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑՆԵՐԻՑ	11
ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Ա., ԱՂԱՍՅԱՆ Տ.Ս.	
ՔՐՈՄԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ.....	20
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Վ.Գ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Հ.Ա.	
ՆԱԽԱԳԾԱՅԻՆ ՎԹԱՐԻ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ ՀԱԷԿ 2-ՐԴ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿԻ ԱՆՎՏԱՆԳՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՊՈՄՊԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ	27
ՍՈՒՔՈՅԱՆ Լ.Հ., ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ Վ.Վ., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Տ.Վ.	
ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԻԿ-ՕՔՍԻԴ-ԿԻՍԼՆԱՂՈՐԴԻԶ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ ԸՍՏ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ՍՈՐԴՈՒԼԱՅՎԱԾ ԼՈՒՄԱՅԻՆ ԱՋԴԱՆՇԱՆԻ ՌԵԺԻՄՈՒՄ	36
ՄԱՂԱԹԵԼՅԱՆ Ա.Կ.	
ՄԼՑՈՐԴԱՅԻՆ ԴԱՄԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ $m=2^k$ ՍՈՐԴՈՒԼՈՎ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿՄԱՆ ՄԱՐՔԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ.....	44
ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ Ս.Վ., ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Վ.Հ., ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Ա.Ա., ՍՈՄԵՍՈՎ Ս.Ա., ՏՈՆՈՅԱՆ Վ.Խ. , ՄԱՐԿԱՆ Ա.Ե., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ռ.Ս., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Է.Ա., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Կ.Ա.	
ՄԵՏՐՈՅԻՆ ԱԼԼԻՔՆԵՐԻ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՇԱՐԺՈՒՆԱԿ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՅԻՈՆ ԿԱՅԱՆԻ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ.....	51
ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս.Հ., ԱՂԱՍՅԱՆ Ս.Ա.	
ԿՈՄՊԼԵՔՍ ՄԱՐԿՈՑՆԵՐՈՎ ԳԾԱՅԻՆ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԿՈՌԵԿՏ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԴԵԿՈՄՊՈԶԻՏԻՈՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ.....	61
ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Վ.Հ., ԳԱՄՊԱՐՅԱՆ Օ.Ն.	
ՑԻԿԿՈՒԼՅԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԴԱՄԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ	73
ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ՕՍԻՊՅԱՆ Հ.Ա., Ս. ՄԱՐԶԱՆԴ-ՄԱՒԼԵՏ, Ա. ՍՈՐԹՈՆ, ՆԵՐՍԵՍՅԱՆ Ն.Ս.	
ԱՐԱԳ ԻՆՏԵՐԱԿՏԻՎ ՏԵԼԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՈՐՈՆՈՒՄ՝ ԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՍՈՐՆԵՐԻ ՎՐԱ ԻՐԱԿԱՆԱՅՎԱԾ ՄԱՍՆԱԿԻ ԲԱԶՄԱԶՍ ՄԱՍՇՏԱԲԱՎՈՐՄԱՄԲ	82
ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ ՅՈՒ.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Վ.	
ԹՎԱԲԱՆԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱՆԻՍՏԵՐԻ ԻՆՖՈՐՄԱՅԻՈՆ ԲԱՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅԻՆ	89
ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ Դ.Ա.	
ՕԴԱՆԱՎԱԿԱՅԱՆԻ ԿԱՐԳԱՎԱՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՎ ԲԵՌՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ.....	95
ԱՇԽՈՒՆՅԱՆ Է.Պ., ԹՈՔՄԱՅՅԱՆ Վ.Հ.	
ՄՂՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ ՈՉ ՍՏԱՅԻՈՆԱՐ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԻՂԻԱՎՃԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ.....	100

СОДЕРЖАНИЕ

АГБАЛЯН С.Г., ВАСИЛЯН Г.А., ВАРДАНЯН В.Г., САРГСЯН А.Р., БОЯДЖЯН С.Г.	
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ, И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ	3
МАРТИРОСЯН М.В., АРСТАМЯН Ж.М., АРАКЕЛЯН А.О., АГБАЛЯН АЛЛА С.	
УТИЛИЗАЦИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.....	11
АЙВАЗЯН А.А., АГАМЯН Т.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ.....	20
ПЕТРОСЯН В.Г., ОГАНЕСЯН О.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГБЛОКА №2 АРМЯНСКОЙ АЭС ПРИ ПРОЕКТНОЙ АВАРИИ	27
СУКОЯН Л.А., БУНИАТЯН В.В., ВАДУНЦ Т.В.	
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРОЭЛЕКТРИК-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК СТРУКТУР ПРИ РЕЖИМЕ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ СВЕТОВОГО ЛУЧА.....	36
САГАТЕЛЯН А.К.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ УМНОЖЕНИЯ ПО МОДУЛЮ $m=2^k$ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ.....	44
МАРКОСЯН М.В., АВЕТИСЯН В.Г., МАНУКЯН А.А., МОСЕСОВ М.А., ТОНОЯН В.Х.	
САРЬЯН А.Е., ПЕТРОСЯН Р.М., АРУТЮНЯН Э.А., КАЗАРЯН К.А.	
АНТЕННАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН	51
СИМОНЯН С.О., АДАМЯН М.А.	
ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОРРЕКТНЫХ СИСТЕМ КОНЕЧНЫХ УРАВНЕНИЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ МАТРИЦАМИ	61
МАНУКЯН В.Г., ГАСПАРЯН О.Н.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯНТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	73
МЕЛИКЯН В.Ш., ОСИПЯН А.А., С. МАРЧАНД-МАЙЛЛЕТ, А. МОРТОН, НЕРСЕСЯН Н.М.	
БЫСТРОЕ ИНТЕРАКТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ПУТЕМ ВЫБОРОЧНОГО МНОГОМЕРНОГО ШКАЛИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ	82
ГРИГОРЬЯН Ю.Г., ПЕТРОСЯН А.В.	
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЛОЖНОСТИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ МНОГОГРАННИКОВ.....	89
МАРГАРЯН Д.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРА АЭРОПОРТА И АНАЛИЗ НАГРУЗКИ.....	95
АЩИАНЦ Э.П., ТОКМАДЖЯН В.О.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОПОРОЖНЕНИИ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ВОДОВОДА	100

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., VASILYAN G.A., VARDANYAN V.G., SARGSYAN A.R., BOYAJYAN S.G.	
COMPOSITE MATERIALS HARDENED BY DISPERSE PARTICLES AND THE TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF THEIR GENERATION	3
MARTIROSYAN M.V., ARSTAMYAN Z.M., ARAKELIAN A.H., AGHBALYAN ALLA S.	
UTILIZING THE SULPHURIC ACID FROM THE WASTE LEAD-ACID STORAGE BATTERIES	11
AYVAZYAN A.A., AGHAMYAN T.S.	
INVESTIGATING THE PROCESS OF ALUMINIUM- THERMAL REDUCTION OF CHROMIUM CONCENTRATES	20
PETROSYAN V.G., HOVHANNISYAN H.A.	
INVESTIGATING THE OPERATION OF THE SAFETY SYSTEMS' PUMPS OF THE ARMENIAN NPP SECOND UNIT AT DESIGN BASIS ACCIDENT	27
SUKOYAN L.H., BUNIATYAN V.V., VADUNC T.V.	
THE FERROELECTRIC–OXIDE–SEMICONDUCTOR STRUCTURE CHARACTERISTICS AT THE FREQUENCY MODULATION LIGHT SIGNAL MODE	36
SAGHATELYAN A.K.	
DESIGNING MULTIPLIERS BY THE MODULE $m=2^k$ IN THE SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES	44
MARKOSYAN M.V., AVETISYAN V.H., MANUKYAN A.A., MOSESOV M.A., TONOYAN V. Kh., SARYAN A.E., PETROSYAN R.M., HARUTUNYAN E.A., GHAZARYAN K.A.	
THE ANTENNA SYSTEM OF METER WAVEBAND MOBILE RADAR.....	51
SIMONYAN S.H., ADAMYAN M.A.	
DECOMPOSITION METHODS FOR SOLVING LINEAR ONE-PARAMETRIC FINITE EQUATION SETS WITH COMPLEX MATRICES	61
MANUKYAN V.H., GASPARYAN O.N.	
DESIGN OF CIRCULANT CONTROL SYSTEMS BY CLASSICAL METHODS	73
MELIKYAN V.SH., OSIPYAN H.A., S. MARCHAND-MAILLET, A. MORTON, NESRSEYAN N.M.	
FAST INTERACTIVE INFORMATION RETRIEVAL BY SAMPLE-BASED MULTIDIMENSIONAL SCALING ON GPU ARCHITECTURES	82
GRIGORYAN Y.G., PETROSYAN A.V.	
AUTOMATING THE CALCULATION OF INFORMATION COMPLEXITY OF ARITHMETIC POLYHEDRONS	89
MARGARYAN D.A.	
STUDYING THE AIR TRAFFIC CONTROLLER'S WORK AND ANALYZING HIS LOAD	95
ASHCHYANTS E.P., TOKMAJYAN V.H.	
DETERMINING THE HYDRAULIC PARAMETERS OF THE NONSTATIONARY PROCESS AT DISCHARGING THE FORCE PIPELINE	100