

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. ԱԹՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎՅԱՆ,
Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

ՀԱՍՄԻԿ ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

© Издательство ГИУА

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

ՀՏԴ 621. 81: 621.89

ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ա.Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Ն.Գ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ

ԱՍԲԵՍՏԱԶԵՐԾ ԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՇՓԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ՍՏԵՂԾՈՒՄՆ ՈՒ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ

Ներկայացված են պոլիմերային նիւթով կոմպոզիտային շփանյութերի ամրանային լցանյութերի հատկությունների համեմատական վերլուծության արդյունքները: Առաջարկված է մարդու առողջության համար վտանգավոր ասբեստաթելքի փոխարեն կիրառել հայկական հանքաքարերի ցստացված բազալտաթելքերը: Քննարկված են գոյություն ունեցող նորաստացված կոմպոզիտային շփանյութերի շփագիտական համեմատական հետազոտությունների արդյունքները: Հիմնավորված են նյութերի կիրառությունը ավտոմոբիլային արգելակներում:

Առանցքային բառեր. կոմպոզիտային ասբեստազերծ շփանյութ, բազալտաթելք, շփանցողական, մաշման ուժգնություն, ամրանային լցանյութեր, արգելակման արդյունավետություն:

Տարեկան միլիոնավոր տոննաներով արտադրվող արգելակային շփանյութերն օգտագործվում են ավտոմոբիլների, երկաթուղային տրանսպորտի, վերամբարձ փոխադրիչ մեքենաների, դարբնոցա-մամլային և այլ նշանակությամբ սարքավորումների արգելակային հանգույցներում: Երթնեկության ուժգնացումը, շարժական մեքենամասերի իներցիոն զանգվածների և արագությունների մեծացումը, բեռնափոխադրումների ծավալի աճը և շրջակա միջավայրի բնապահպանական անվտանգության ապահովումը պահանջ են առաջադրում անընդհատ վերանայել արգելակային հանգույցներին միջազգային և պետական ստանդարտներով ներկայացվող տեխնիկական բնութագրերը: Արդյունքում՝ շփական նյութերին նոր և ավելի խիստ պահանջներ են ներկայացվում: Ուստի օգտագործվող շփական նյութերը ոչ միշտ են ապահովում շահագործման հարաճուն պահանջները [1,2]:

Վերջին տարիներին շրջակա միջավայրի աղտոտման ընդհանուր ծավալում շեշտակի աճել է ավտոմոբիլային և երկաթուղային տրանսպորտի տեսակարար կշիռը՝ կազմելով ընդհանուր աղտոտման գրեթե 50 տոկոսը: Մեծ քաղաքների կենտրոնական փողոցներում, տրանսպորտային մայրուղիների խաչմերուկներում, երկաթուղային կայարանների մերձակա տարածքներում գրանցված են վնասակար արտանետումների թույլատրելի նորմերը 10 և ավելի անգամ գերազանցող քանակություններ: Ապացուցված է [1,3], որ ասբեստի միկրոթելքերը շնչառության հետ անցնում են թոքերը և առաջացնում թոքային հյուսվածքների գրգռում: Հաճախ դահանգեցնում է թոքաբորբի և քաղցկեղային վիճակի: Համաձայն ՄԱԿ-ին կից գործող Եվրոպական տնտեսական խորհրդի որոշումների՝ 1988 թ. հունվարի 1-ից կտրականապես արգել-

ված է ասբեստաթելքի կիրառումն արգելակային շփական նյութերի բաղադրակազմերում:

Ժամանակակից նյութագիտության արդիական հիմնախնդիրներից մեկը պոլիմերային հիմքով և հանքաքարերից ստացված թելքերի օգտագործմամբ ասբեստազերծ կոմպոզիտային շփական նյութերի ստեղծումն է: Տնտեսական նշանակություն ունեցող այս հարցը պետական կարևոր նշանակություն ունի նաև Հայաստանի Հանրապետության համար, քանի որ կենսական պահանջարձեղական հումքի օգտագործմամբ արտադրությունների կազմակերպումը նարտադրանքի արտահանումը:

Աշխատանքի նպատակը շփման ջերմաստիճանի լայն միջակայքում շահագործման պայմաններում շփական մաշակայուն հատկություններով բաղադրանյութերի ստեղծումն է՝ որպես ամրանային լցանյութեր օգտագործելով հայկական հանքաքարերից ստացված բազալտաթելքերը:

Ասբեստազերծ շփանյութեր մշակող հայտնի ֆիրմաները՝ Ֆերադոնը (Մեծ Բրիտանիա) Ռյուդալը (Շվեյցարիա), Տեկստարը (Գերմանիա), Վալեոն (Ֆրանսիա), Նիխիմենը (Ճապոնիա), Ֆրենդո Աբեկը (Իտալիա), Ֆրիտեքսը (ՌԴ), որպես ասբեստի փոխարինիչ օգտագործում են բամբակե, ապակե, բնածխի, ֆենոլային, պողպատե, կերամիկական, վոլտստանիտային և սինթետիկ այլ թելքեր (աղ.1) [1,2]: Այս թելքերով շփանյութերի հիմնական թերությունը դրանց համեմատաբար բարձր ինքնարժեքն է:

Աղյուսակ 1

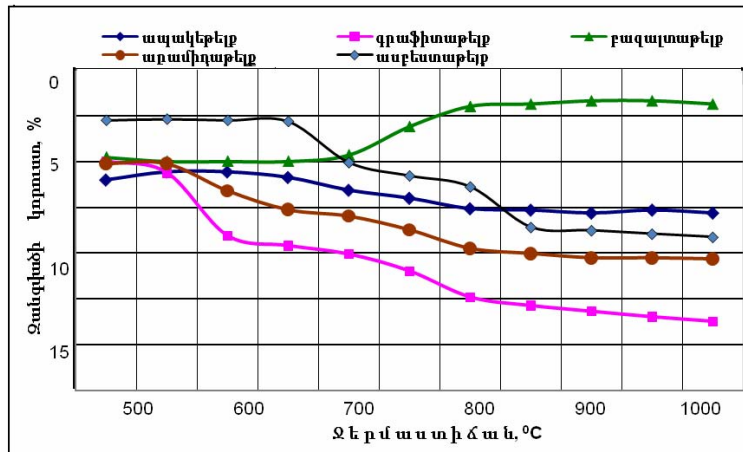
Ասբեստաթելքին փոխարինող տարբեր տեսակի թելքերի գնահատականը

Թելքերի հատկությունները	Տեսակները								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Անվտանգություն	-	+	+			+		+	
Ջերմակայունություն	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Ջերմահաղորդականության գործակից	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Գինը	1	2	2-3	5-50	5	1	3-5	1	10
Պատրաստման հնարավորությունը	+	x	x	-	-	x	x	-	x
Շփման գործակից	+	+	+	-	+	+	-	-	+
Մաշակայունություն	+	0	+	+	+	+	+	-	+
Ամրություն	+	+	+	+	-	-	-	-	+

Ծանոթություն. 1-ասբեստ, 2- պողպատե թելքեր, 3- ապակեթելքեր, 4- բնածխային թելքեր, 5- կավահողային և սիլիկոնային թելքեր, 6- հանքանյութային բուրդ, 7- տիտանաթթվային կալիումից թելքեր, 8- օրգանական թելքեր, 9- պոլիմերային թելքեր, “+” լավ, “0” շատ վատ, “x” ոչ այնքան վատ, “-” վատ:

Ասբեստազերծ շփանյութերում հայկական հանքաքարերից ստացված բազալտաթելքի կիրառման հնարավորությունները հետազոտելու և նոր նյութեր ստեղծելու նպատակով ՕՃ-102 դերիվատոգրաֆի միջոցով կատարվեց թելքերի ջերմաֆիզիկական հատկությունների համեմատական ուսումնասիրություն ջերմագրավիչա-

փական եղանակով: Օգտագործվեցին հայկական հանքանյութերից ստացված 10...15 ս/կմ տրամագծով և 100...350 մ/կմ երկարությամբ բազալտաթելքեր հետևյալ քիմիական բաղադրությամբ (արտահայտված %-ով)՝ SiO_2 -50,84; TiO_2 -1,76; Al_2O_3 -19,11; K_2O -1,1; Fe_2O_3 -4,04; P_2O_5 -0,23; FeO -6,1; Na_2O -3,5; MnO -0,14; CaO -7,59; MgO -6,18: Ուսումնասիրությունների արդյունքները բերված են նկ.1-ում:



Նկ.1. Տարբեր տիպի թելքերի ջերմագրավիչափականվերլուծության կորերը 10°C/րոպե տաքացման արագության պայմաններում

Հատկությունների համադրումից հետևում է, որ բազալտաթելքերի ուժգին տրոհումը սկսվում է մոտ 750 °C -ում և ավարտվում 900 °C, իսկ մնացած թելքերի համար դրանք կազմում են համապատասխանաբար 620 °C և 800 °C:

Այստեղից էլ հետևում է բազալտաթելքային շփանյութի ջերմակայունության առավելությունը, ինչը դրսևորվում է հատկապես աշխատանքային ծանր պայմաններում: Այսինքն, ասբեստաթելքի փոխարեն բազալտաթելք օգտագործելու դեպքում շփման ժամանակ շփանյութերի մակերևութային շերտերում տեղի ունեցող ամրանային տարրի տրոհման գործընթացը տեղաշարժվում է դեպի բարձրաջերմաստիճանային գոտի, և որպես դրա արդյունք՝ մեծանում է շփման գործակիցը, բարձրացնելով արգելակի շահագործման անվտանգությունը:

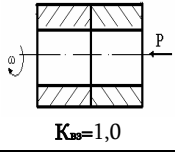
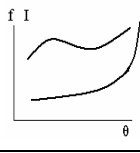
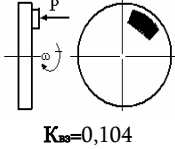
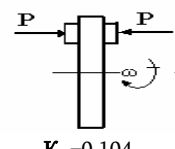
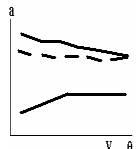
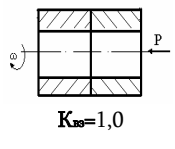
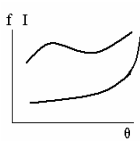
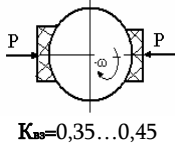
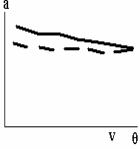
Այս վարկածի հաստատմանն ապաստանելով սկզբում փորձագիտական հետազոտման ենթարկվեց ռետինային, պոլիմերային և համակցված կապակցող նյութերի հիմքի վրա մշակված շփանյութերի լայն տեսականի, և բացահայտվեցին շփամաշվածքային բնութագրերի փոփոխման օրինաչափությունները բարձր ջերմաստիճաններում: Փորձերի համար ընտրվեցին Opel, Ford, Audi, BMW, Mercedes, Volvo և մարդատարայլավտոմեքենաների արգելակներում օգտագործվող Текстар Т-476 (Գերմանիա), ДББ-33700 (Ուկրաինա), КБР-3615 (Հարավային Կորեա), ТИИР-250 (ՌԴ) և

PL21209M-Peugeot(Իրան) կոմպոզիտային շփանյութերը, որոնք անցել են միջազգային ստանդարտներին համապատասխան փորձարկումներ [4]:

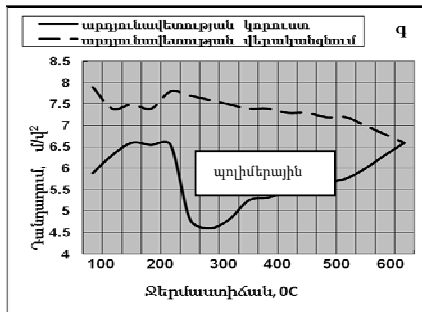
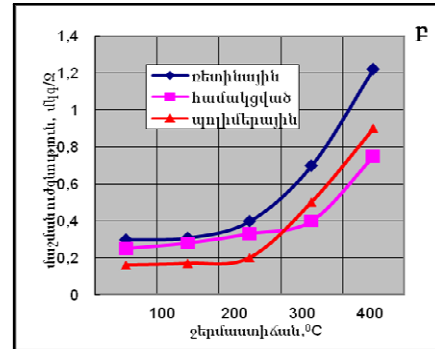
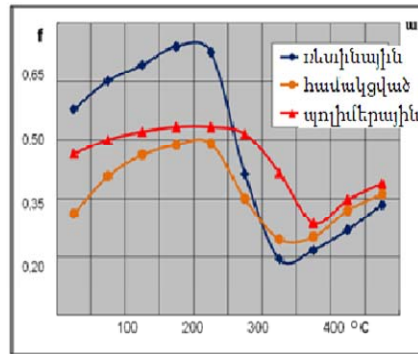
Փորձարարական լաբորատոր և ստենդային պայմանները, սարքավորումներն ու մոդելավորված ռեժիմների արժեքները (աղ. 2) մշակված են համաձայն [5,6]: Լաբորատոր և ստենդային փորձարկումների արդյունքները բերված են նկ.2-ում:

Աղյուսակ 2

Փորձագիտական հետազոտությունների պայմաններն ու ռեժիմները

Փորձարկումների պայմաններ (սարքավորում)	Շփակոնտակտի սխեմա	Բեռնավորում F_n , կՆ	Սահքի արագ. V , մ/վրկ	Տեսակարար ճնշում P_a , ՄՊա	Ելքային բնութագրեր
Ավտոմոբիլների արգելակներ					
Մոդելային, շփականջերմակայունության գնահատում (И-47-К-54)	 $K_{03}=1,0$	2,8	7,28	2,5	
Մոդելային, բարձր ջերմաստիճանային շփում (И-32М)	 $K_{03}=0,104$	0,842	16,7	2,0	
Բնական, իներցիոն ստենդային (СТИН-4)	 $K_{03}=0,104$	1,62	31,9	8,0	
Վերամբարձ փոխադրիչ մեքենաների և երկաթուղային տրանսպորտի արգելակներ					
Մոդելային, շփական ջերմակայունության գնահատում (И-47-К-54, FM-9)	 $K_{03}=1,0$	2,8	7,28	2,5	
Բնական, իներցիոն ստենդային (ТС-1)	 $K_{03}=0,35...0,45$	2,4...10	1,64...26	0,094...4	

Ծանոթություն. K_{03} —փոխադրված վրածածկման գործակից, F —շփման գործակից, I —մաշման ուժգնություն, θ —մակերևութային ջերմաստիճան, V —ավտոմեքենայի արագություն, a — դանդաղում:



Նկ.2.Ռետինային, պոլիմերային և համակցված կապակցող նյութերի հիմքով շփանյութերի լաբորատոր (ա, բ) և ստենդային (գ) փորձարկումների արդյունքները

Փորձերի արդյունքները թույլ են տալիս կախված շփման ջերմաստիճանից, ընդհանրացնել հետևյալ օրինաչափությունները՝

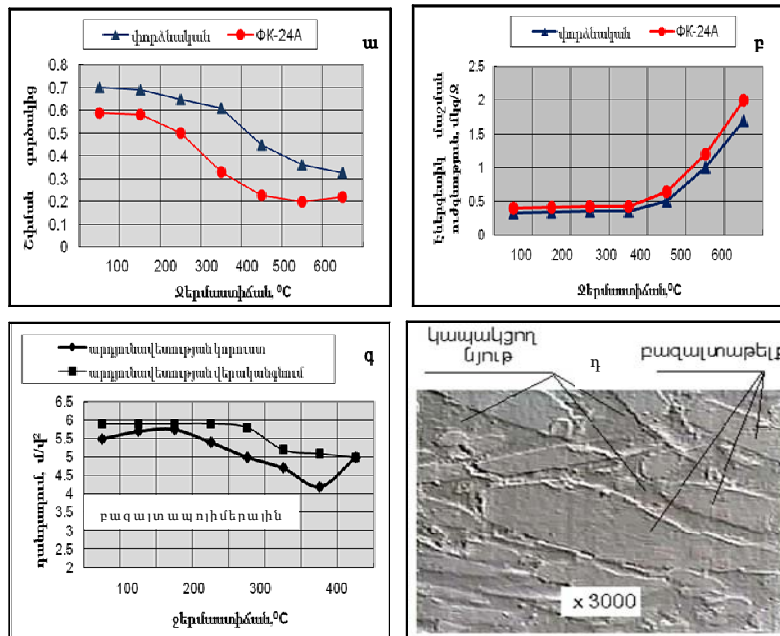
1. Շփանյութերի շփման գործակցի կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է 3 հիմնական տիրույթներով (նկ. 2 ա)՝ շփման գործակցի բարձրացում (250...280 °C), դրա իջեցում (330...400 °C) և կրկնակի բարձրացում (400 °C –ից բարձր):

2. Մաշման ուժգնությունը մինչև 250...280 °C ջերմաստիճանները բնութագրվում է գծային կախումով (շփման գործակցի փոփոխության առաջին տիրույթ), իսկ ավելի բարձր ջերմաստիճանային պայմաններում մաշման ուժգնությունը կտրուկ աճում է ոչ գծային կախումով (նկ. 2 բ):

3. Ջերմաստիճանից կախված՝ նկատվում է արգելական արդյունավետության փոփոխման նույնպես երեք տիրույթ (նկ. 2 գ)՝ արգելական արդյունավետության նախնական բարձրացում մինչև 200...230 °C տիրույթը, այնուհետև արդյունավետության իջեցում մինչև 320 °C տիրույթը և դրա կրկնակի բարձրացում 320 °C բարձր ջերմաստիճաններում:

Շփման գործակցի նվազման տիրույթը պայմանավորված է ամրանավորող լցանյութերի տրոհման գործընթացով, ինչը բազալտաթելի օգտագործման դեպքում կտեղաշարժվի դեպի ավելի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթ: Այս փոփոխությունը գնահատելու համար բազալտաթելը օգտագործվեց ՌԴ-ում սերիական արտադրվող պոլիմերային հիմքով ՓԿ-24A մակնիշի շփանյութի բաղադրակազմում: Ասբեստա-

թելքը նույն տոկոսային բաղադրությամբ փոխարինվեց բազալտաթելքով՝ բաղադրակազմում հաստատուն թողնելով մնացած լցուկների տիպերը և քանակությունները: Շփանյութերը պատրաստվեցին միևնույն հումքից մեկ ընթացակարգով չոր խառնման մեթոդով փակ ռետինե խառնիչում: Դրանք հետագայում փորձարկվեցին նույն պայմաններում И-32М և СТИН-4 սարքավորումների վրա՝ համաձայն աղ.2-ում մշակված ծրագրի: Արդյունքները բերված են նկ.3-ում:



Նկ.3. Լաբորատոր (ա,բ), ստենդային (գ) համեմատական փորձարկումների արդյունքները և փորձնական շփանյութի մակերևույթի էլեկտրոնային մանրադիտակային պատկերը (դ)

Գրաֆիկներից հետևում է, որ ասբեստազերծ փորձնական բաղադրակազմի և սերիական նյութի շփման գործակիցների կախումները ջերմաստիճանից որակապես քիչ են տարբերվում միմյանցից (նկ. 3 ա), սակայն փորձնական բաղադրակազմի կորերը բնութագրվում են շփման գործակցի ավելի բարձր արժեքներով: Ընդ որում, փորձնական բաղադրակազմի շփման գործակցի նվազագույն արժեքի գոտին գտնվում է ավելի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթում, ինչը հաստատում է բազալտաթելքի տրոհման գործընթացի բարձր ջերմաստիճանային շեղման փաստը: Սերիական նյութի ուժգին մաշումը սկսվում է ավելի ցածր ջերմաստիճաններում, քան փորձնական նյութինը (նկ.3 բ): Էլեկտրոնային մանրադիտակային ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ փորձնական շփանյութի մակերևույթին բազալտաթելքը գտնվում է չտրոհված վիճակում (նկ.3 գ) և նպաստում է շփման գործակցի բարձրացմանը:

Կատարված փորձագիտական հետազոտությունների հիման վրա, ինչպես նաև օգտվելով լցանյութերի և կապակցող պոլիմերների ընտրության գործնական փորձից, մշակվեցին ռաբաստենիտ² ընդհանուր անվամբ պոլիմերային հիմքով ասբեստազերծ շփանյութեր՝ մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակա-կոճղային արգելակներում և կցորդիչներում կիրառելու նպատակով (աղ. 3):

Աղյուսակ 3

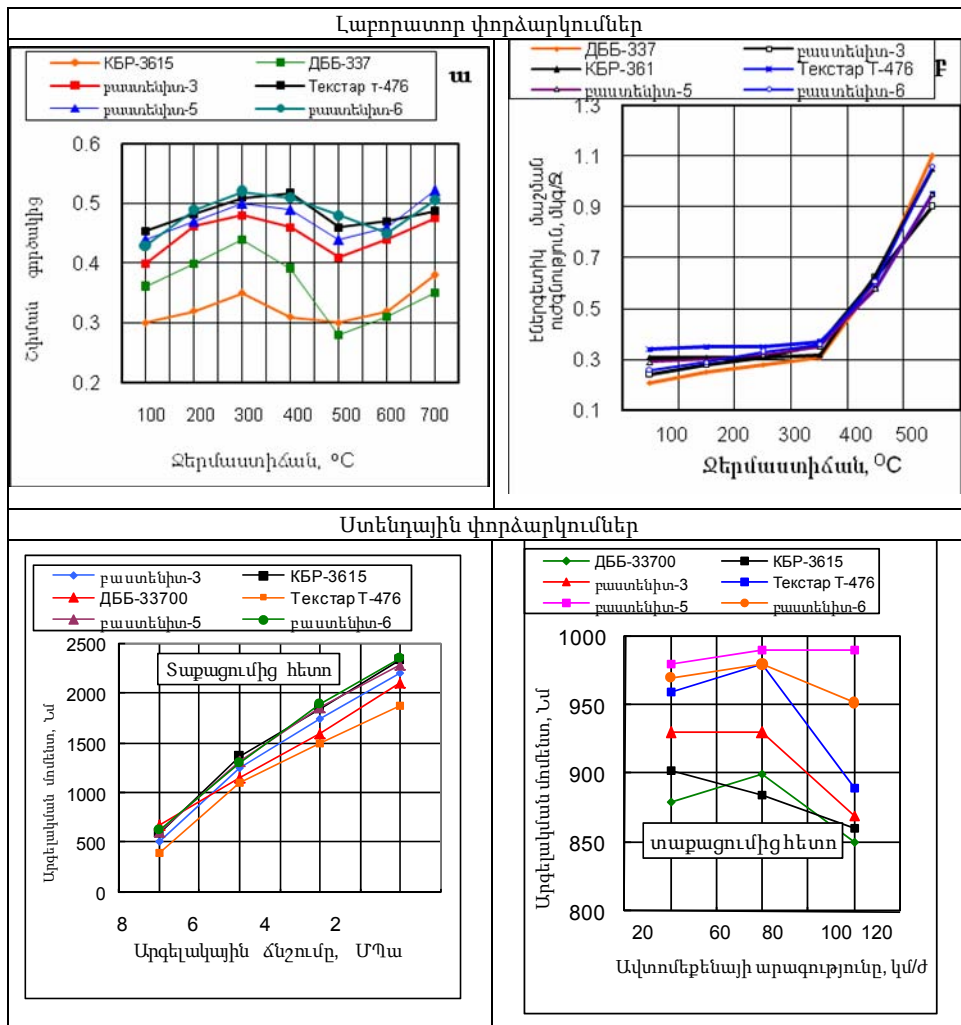
Ասբեստազերծ բաստենիտային նյութերի հատկությունները և կիրառման բնագավառները

Հատկությունները	Բաստենիտային նյութեր						
	Բ-1 ԽՍՀՄ գյուտի վկայակ. N 966105 1982 թ.	Բ-2 ԽՍՀՄ գյուտի վկայակ. N 1142488 1985 թ.	Բ-3 ԽՍՀՄ գյուտի վկայակ. N1224321 1986 թ.	Բ-4 ԽՍՀՄ գյուտի վկայակ. N1094331 1984 թ.	Բ-5 ՌԴ պատենտ N2260018 2005 թ.	Բ-6 ՀՀ գյուտի վկայակ. N753 1999 թ.	Բ-7 ՀՀ գյուտի վկայակ. N2394 2010 թ.
Շփման գործակից	0,28 0,36	0,48 0,6	0,5 0,6	0,48 0,56	0,37 0,45	0,38 0,57	0,36 0,56
Մաշման ուժգնություն, $\times 10^{-5} \text{ Գ/Ջ}$	0,92...1,08	1,85...2,15	1,85...2,1	1,8...2,2	1,85...2,3	1,8...2,2	1,8...2,1
Մակերևութային թույլատրելի ջերմաստիճան, °C	600	600	700	700	750	750	780
Ծավալային թույլատրելի ջերմաստիճան, °C	250	350	400	400	450	450	470
Տեսակարար թույլատրելի ճնշում, ՄՊա	4	6	8	12	12	12	13
Շփման թույլատրելի արագություն, մ/վ	22	28	32	36	36	36	36
Կիրառման բնագավառ	Վերամ- բարձ փո- խադրիչ մեքենա- ներ	Ավտոմո- բիլներ, Դարբնոցա- մամլային սարքեր	Ավտոմոբիլներ, վերամբարձ փոխադրիչ մեքենաներ, դարբնոցա- մամլային սարքեր		Ավտոմոբիլներ, տրակտորներ, երկաթուղային տրանսպորտ		

Ստեղծված նոր շփանյութերը հնարավորություն են տալիս կայունացնել շփման-գույգի շփամաշվածքային բնութագրերը 400...600 °C մակերևութային ջերմաստիճաններում (ԽՍՀՄ գյուտի վկայական N° 966105, ՀՀ գյուտի վկայական N° 753), վերացնել շփագույգի տարրերի մակերևութային արատները և ջերմային ճաքերը (ԽՍՀՄ գյուտի վկայական N° 1094331), աշխատանքային խոնավ պայմաններում համապատասխանաբար 1,6 և 1,8 անգամ փոքրացնել մետաղական հակամարմնի և շփանյութի մաշումը (ԽՍՀՄ գյուտի վկայական N° 1142488), բարձրացնել շփման գործակիցը 1,5

անգամ 400...600 °C մակերևութային ջերմաստիճաններում (ԽՍՀՄ գյուտի վկայական №1224321), պաշտպանել մետաղական հակամարմինը կոռոզիոն և ջրածնային մաշումից (ՌԴ գյուտի պատենտ №2260018), կայունացնել շփման գործակցի արժեքները բարձր ջերմաստիճաններում (ՀՀ գյուտի վկայական N2394):

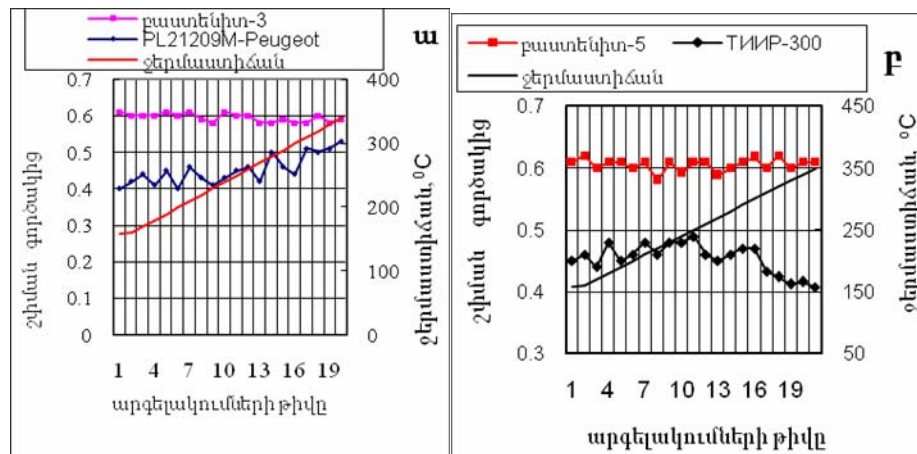
Բաստենիտային և լայն տարածում գտած Текстар T-476, ДББ-337 և КБР-3615 փականարգելակային հայտնիությունների համեմատական փորձարկումների արդյունքները բերված են նկ.4-ում:



Նկ.4. Բաստենիտային Текстар T-476, ДББ-33700 ու КБР-3615 կոմպոզիտային հայտնիությունների համեմատական փորձարկումների արդյունքները

Առաջարկվող շփանյութերը շփագիտական հատկություններով ջերմաստիճանային ամբողջ տիրույթում գերազանցում են ընտրված շփանյութերին, դրսևորում են արգելակային ավելի բարձր ու կայուն արդյունավետություն և իրենց շփագիտական բնութագրերով բավարարում են Եվրոպական տնտեսական խորհրդի թիվ 13 ստանդարտի պահանջները [3]:

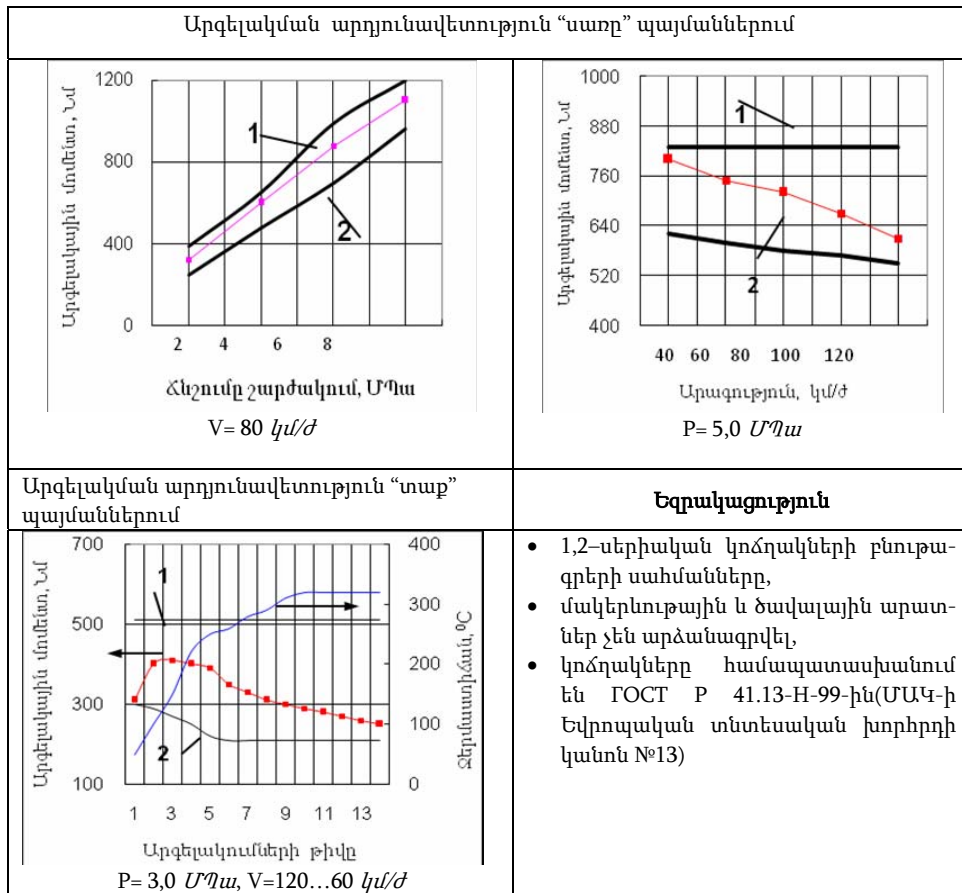
Մշակված ասբեստազերծ շփանյութերը լաբորատոր И-32М սարքավորման միջոցով համեմատական փորձարկման ենթարկվեցին նաև Իրանի Իսլամական Հանրապետությունում արտադրվող մարդատար ավտոմեքենաների արգելակներում օգտագործվող PL21209M-Peugeot, ինչպես նաև ՌԴ-ում լայն տարածում գտած ТИИР-300 շփանյութերի հետ (նկ.5):



Նկ. 5. Տարբեր շփանյութերի համեմատական փորձարկումների արդյունքները

Առաջարկվող Բաստենիտ-3 շփանյութը, օրինակ, արգելակումների թվից կախված, ունի համեմատաբար բարձր հաստատուն շփման գործակից, քան PL21209M-Peugeot նյութը (նկ. 5 ա): Շփման մակերևույթի ջերմաստիճանի բարձրացման պայմաններում առաջարկվող նյութի շփման գործակիցը տատանվում է 0,58...0,61 սահմաններում, այն դեպքում, երբ PL21209M-Peugeot նյութը նմանատիպ պայմաններում ցուցաբերում է 0,40...0,53 արժեքների շփման գործակից: Փորձարկման ընթացքում առաջարկվող շփանյութի միջին վիճակագրական մաշման արժեքը կազմել է 0,28 մգ, ինչը, ի դեպ, բավարարում է Իրանի Իսլամական Հանրապետության ST 586 ստանդարտի պահանջները: Նմանատիպ փոփոխություններ են նկատվում նաև Բաստենիտ-5 և ТИИР-300 նյութերի համեմատական փորձարկումների դեպքում (նկ.5բ):

Շփանյութերն անցել են նաև հավաստագրման հատուկ փորձարկումների համապատասխան ցիկլը ՌԴ ՆԱՄԻ-ՖՈՆԴ կենտրոնում (ք. Մոսկվա) և բավարարել են ГОСТ ИСО 41.13-Н-99 ստանդարտի պահանջները (նկ.6):



Նկ.6. Հաստատագրման փորձարկումների արդյունքները

Այսպիսով, սաբեստազերծկոմպոզիտային շփանյութերի բաղադրակազմերում հալկական հանքանյութերի ցտացված բազալ տաթեյքերը հաջողությամբ փոխարինում են մարդու առողջության համար վտանգավոր սաբեստաթեյքին: Ավտոմոբիլային արգելակների շփանյութերի բաղադրակազմերում դրանց կիրառումն ապահովում են անոթոշակի դրական տեխնիկական արդյունավետություն. Կայունացնում է շփագույգի շփագիտական բնութագրեր 100...600 °C ջերմաստի ճանային պայմաններում և նպաստում շփման գործակցի արժեքների աճին բարձր ջերմաստի ճանային պայմաններում: Հանքանյութերից ցտացված բազալ տաթեյքերի, ապակեթեյքերի ու լցուկների օգտագործման հնարավորությունը հիմք է տալիս հաստատագրելու, որ էկոլոգիապես անվտանգ շփանյութերի արտադրության կազմակերպումը ՀՀ-ում շահավետ է ինչպես տնտեսական, այնպես էլ բնապահպանական տեսանկյուններից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Европейские производители фрикционных материалов.- <http://www.akpr.ru>
2. Список заменителей асбеста и их влияние на организм http://www.chrysotile.ru/node_2788/node_2811
3. Анализ взаимосвязи между условиями труда и состоянием здоровья рабочих, занятых на добыче и обогащении хризотилового асбеста.-М.: НИИ медицины труда РАМН РФ, 2000. <http://www.inchem.org>
4. ГОСТ Р ИСО 41.13-Н-99 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1999.-32 с.
5. Фрикционные композиты на основе полимеров/ А.К. Погосян, П.В. Сысоев, Н.Г. Меликсетян и др. – Минск: Информтрибо, 1992. - 218 с.
6. Պոլոսյան Ա. Վ. Հիպոթետիկ հիմնարկներ.-Երևան:Լույս, 1994.-296 էջ:

ՀԱՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.04.2012:

Ա.Կ. ПОГОСЯН, Н.Г. МЕЛИКСЕТАН

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗАСБЕСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты сравнительного анализа свойств армирующих наполнителей полимерных композиционных фрикционных материалов. Взамен вредного для здоровья человека асбестового волокна рекомендованы базальтовые волокна, полученные из минералов армянского месторождения. Рассмотрены результаты сравнительных исследований трибологических характеристик существующих и новых безасбестовых фрикционных материалов. Обосновано применение новых материалов в автомобильных тормозах.

Ключевые слова: композиционный безасбестовый фрикционный материал, базальтовое волокно, коэффициент трения, интенсивность изнашивания, армирующие наполнители, эффективность торможения.

A.K. POGOSIAN, N.G. MELIKSETYAN

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ASBESTOS-FREE COMPOSITE FRICTION MATERIAL

The results of comparative analysis with reinforcing fiber of polymeric composite friction materials. Instead of harmful to human health asbestos basalt fibers produced from the minerals of the Armenian deposit are recommended are given. The results of comparative studies the tribological characteristics of existing and new nonasbestos friction materials. Are considered. The application of new materials in automotive brakes is proved.

Keywords: nonasbestos friction material composition, basalt fiber, friction coefficient, wear rate, reinforcing fillers, braking performance.

Ս.Գ. ԱՐԲԱԼՅԱՆ, Ա.Հ. ՀՈՎՍԵԹՅԱՆ, Ս.Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՍՑԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԵՐԻՑ ՀԻԴՐՈՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ
ԿԱՊԱՐԻ ՄՈԼԻԲԴԱՏԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Մոլիբդենիտային խտանյութերի վերամշակմամբ ստացված ամոնիումի մոլիբդատի նկապարի ագետատի լուծույթներից հիդրոմետալուրգիական եղանակով մշակվել է բարձր մաքրությամբ և ստեխիոմետրական բաղադրությամբ կապարի մոլիբդատի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա: Կատարվել է կապարի մոլիբդատի ստացման թերմոդինամիկական վերլուծություն: Հիմնավորվել են գործընթացի լավարկված տեխնոլոգիական ռեժիմները:

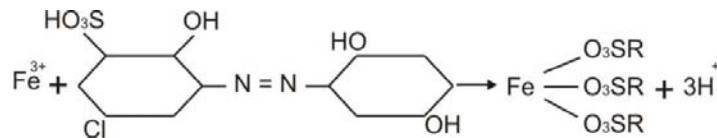
Առանցքային բառեր. հիդրոմետալուրգիա, մոլիբդենիտային խտանյութ, կապարի մոլիբդատ, մոնոքլուրեդ, ստեխիոմետրական բաղադրություն:

Կապարի մոլիբդատի մոնոքլուրեդները մեծ կիրառություն են գտել ակուստիկա-օպտիկական մոդուլատորներում և դեֆլեկտորներում, իոնային հաղորդիչներում, միջուկային սարքերում, որպես ցածր ջերմաստիճանային սցինտիլյատոր և այլն [1]:

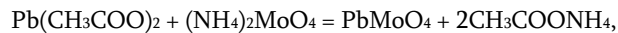
Կապարի մոլիբդատի մոնոքլուրեդի աճեցման մեթոդները բազմաթիվ են, սակայն առավել կիրառելի են Չոխրալսկու և Բրիջմանի մեթոդները, որոնք իրականացվում են բարձր ջերմաստիճանային (1100...1200°C) պայմաններում: Հաճախ կապարի մոլիբդատի մոնոքլուրեդներն ունենում են դեղին գունավորում, որը հիմնականում պայմանավորված է տարբեր ներխառնուկների (Co, Cr, Mn, Ni, Fe) առկայությամբ [2-4]: Նշված ներխառնուկները կարող են ներդրվել կապարի մոլիբդատի բյուրեղային ցանցում ելանյութերից: Բյուրեղի դեղին գունավորումը կապված է նաև կոմպոնենտների ստեխիոմետրական բաղադրության խախտման հետ, որն առաջանում է բաղադրիչ օքսիդների գոլորշիացման հետևանքով:

Աշխատանքի նպատակն է տեղական մոլիբդենիտային խտանյութերից մշակել բարձր մաքրությամբ ստեխիոմետրական բաղադրությամբ կապարի մոլիբդատի ստացման տեխնոլոգիա:

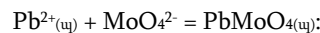
Նշված նպատակին հասնելու համար որպես ելանյութ օգտագործվել է կապարի ագետատը, որի սկզբնական մաքրումը խառնուրդ տարրերից իրականացվել է 30%-ոց ջրածնի գերօքսիդով, ինչին հաջորդել են լյուսոգալիոնի ազդեցությամբ ակտիվացված ածխի վրա անցանկալի խառնուրդների կոմպլեքսների սորբցիան և որպես արդյունք՝ բարձր մաքրությամբ ամոնիումի մոլիբդատը, որը ստացվել է մոլիբդենիտային խտանյութի վերամշակմամբ: Ամոնիումի մոլիբդատի լուծույթը խառնուրդներից ավելի խոր մաքրելու համար օգտագործվել է լյուսոգալիոնի սպիրտային լուծույթ: Խառնուրդները լյուսոգալիոնի հետ առաջացնում են ամուր կոմպլեքսներ հետևյալ ռեակցիայով.



Մաքրումից հետո ամոնիումի մոլիբդատում և կապարի ագետատում անցանկալի խառնուրդների՝ Fe, Co, Ni, Mn, Cr պարունակությունը, համաձայն ատոմային աբսորբման սպեկտրաչափի (PE Aanalyst 800) վերլուծության արդյունքների, չի գերազանցել 0,0001%-ը: Կատարվել է կապարի մոլիբդատի ստացման թերմոդինամիկական հաշվարկ, համաձայն որի կապարի մոլիբդատի ստացումը լուծույթներից՝ քիմիական նստեցման ճանապարհով, ուղեկցվում է հետևյալ ռեակցիայով.



իոնային տեսքով այն կլինի՝



Էնթալպիայի (ΔH_{298}^0) և էնտրոպիայի (S_{298}^0) արժեքները վերցված են [5] գրականությունից և բերված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

Ելանյութերի էնթալպիայի և էնտրոպիայի արժեքները

Նյութը	$-\Delta H_{298}$, կՋ/մոլ	S_{298} , Ջ/մոլ	$T_{\text{հալ}}$, K
PbMoO ₄	1112,4	166,2	1213
Pb ²⁺	0	64,9	600,6
MoO ₄ ²⁻	997	38	-

$$\Delta H = -\Delta H_{298}^{\circ}(\text{Pb}^{2+}) - \Delta H_{298}^{\circ}(\text{MoO}_4^{2-}) + \Delta H_{298}^{\circ}(\text{PbMoO}_4),$$

$$\Delta H = 997 - 1112,4 = -115,4 \text{ կՋ/մոլ},$$

$$\Delta S^{\circ} = -S_{298}^{\circ}(\text{Pb}^{2+}) - S_{298}^{\circ}(\text{MoO}_4^{2-}) + S_{298}^{\circ}(\text{PbMoO}_4),$$

$$\Delta S^{\circ} = -64,9 - 38 + 166,2 = 63,3 \text{ Ջ/մոլ},$$

$$\Delta G = \Delta H_{298}^{\circ} - T\Delta S_{298}^{\circ},$$

$$\Delta G_T = -115,4 - 0,0633T \text{ կՋ/մոլ}:$$

Այսպիսով, թերմոդինամիկական հաշվարկները ցույց են տալիս, որ կապարի մոլիբդատի ստացման այս մեթոդի դեպքում փոխազդեցությունն ընթանում է ΔG_T -ի բավականին մեծ բացասական արժեքով, որը և հաստատում է կապարի մոլիբդատի ստացման հնարավորությունը: Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ կապարի մոլիբդատի առաջացման հավանականությունը մեծանում է:

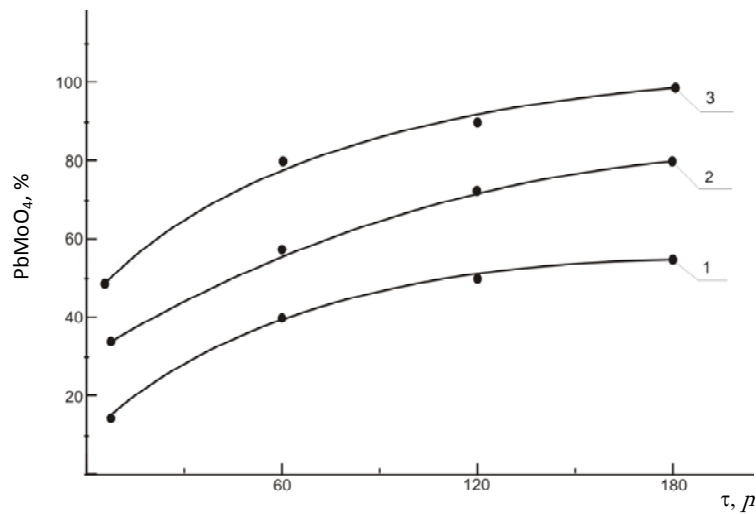
Կապարի մոլիբդատը նպատակահարմար է ստանալ տաք լուծույթներից՝ նստեցմամբ: Նստեցման լավարկված ռեժիմի ընտրության համար փոխազդեցությունն իրականացվել է տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում և $pH=5$ արժեքի դեպքում: pH -ի արժեքի ընտրությունը կատարվել է՝ ելնելով այն հանգամանքից, որ pH -ի ավելի ցածր արժեքների դեպքում ամոնիումի մոլիբդատն ունակ է առաջացնելու պոլիմիացություններ, իսկ կապարի ագետատի pH -ի արժեքը չի կարելի բարձրացնել, քանի որ նստում է կապարի հիդրօքսիդը:

Ստեխիոմետրական բաղադրությամբ կապարի մոլիբդատի նստեցման համար օգտագործվել են նախօրոք մաքրված ամոնիումի մոլիբդատի և կապարի ագետատի լուծույթներ: Կապարի մոլիբդատի սինթեզը կատարվել է $40...85^{\circ}C$ ջերմաստիճանային պայմաններում. տաքացված կապարի ագետատի լուծույթին դանդաղ ավելացվել է նույն ջերմաստիճանի ամոնիումի մոլիբդատի լուծույթը: Ստացված լուծույթը ջերմաստիճանային պայմաններում անընդհատ խառնումով պահվել է $10...180$ ժ տևողությամբ, որպեսզի ստացվի բյուրեղային նստվածք: Նկ. 1-ում բերված են ամոնիումի մոլիբդատի և կապարի ագետատի լուծույթներից տարբեր ջերմաստիճաններում կապարի մոլիբդատի ստացման կինետիկական կորերը:

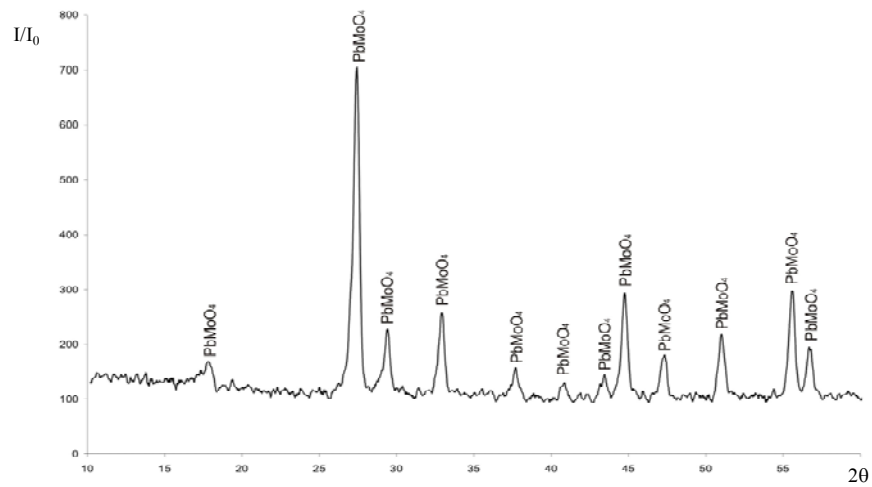
Փորձնական արդյունքներից հետևում է, որ ամոնիումի մոլիբդատի և կապարի ագետատի լուծույթներից կապարի մոլիբդատի փոխազդման լավարկված ջերմաստիճան կարելի է համարել $85\pm 5^{\circ}C$ ջերմաստիճանը, իսկ պահման տևողությունը՝ 180 ժ: Այս պայմաններում փոխազդեցության մեջ է մտել կապարի մոլիբդատի 97% -ը:

Հետազոտվել է նաև ստեխիոմետրիայից կապարի ագետատի ավելցուկի ազդեցությունը կապարի մոլիբդատի ստացման կինետիկական կորերի վրա: Ստեխիոմետրիայից կապարի ագետատի 1% ավելցուկի դեպքում պահանջվող արգասիքի ելքը կազմում է 99% : Փորձերի արդյունքում պարզվել է, որ կապարի ագետատի և ամոնիումի մոլիբդատի լուծույթների կոնցենտրացիայի փոփոխությունը չի ազդում կապարի մոլիբդատի ստեխիոմետրական բաղադրության վրա:

Նկ.2-ում բերված է ամոնիումի մոլիբդատից և կապարի ագետատից քիմիական նստեցման ճանապարհով ստացված ստեխիոմետրական բաղադրությամբ կապարի մոլիբդատի ռենտգենագիրը, իսկ աղ. 2-ում՝ ռենտգենագրի դիֆրակցիոն մաքսիմումների համադրումը:



Նկ.1. Ստեխիոմետրական բաղադրությամբ ամոնիումի մոլիբդատի և կապարի ագետատի լուծույթներից կապարի մոլիբդատի ստացման կինետիկական կորերը՝ տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում՝ 1-40°C, 2-60°C, 3-85°C



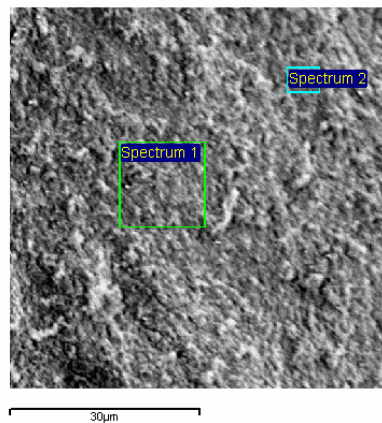
Նկ.2. Ամոնիումի մոլիբդատի և կապարի ագետատի լուծույթներից քիմիական նստեցման մեթոդով ստացված ստեխիոմետրական բաղադրությամբ կապարի մոլիբդատի ռենտգենագիրը

Աղյուսակ 2

Կապարի մոլիբդատի ռենտգենազրի դիֆրակցիոն մաքսիմումների համադրումը

$\theta, ^\circ$	Փորձական նմուշ		PbMoO ₄	
	d	I/I ₀	d	I/I ₀
17,740	4,9997	8	4,96	12
27,347	3,2614	100	3,244	100
29,332	3,0450	19	3,028	20
32,848	2,7267	24,5	2,718	25
37,612	2,3915	8,7	2,383	8
40,515	2,2266	4,3	2,212	6
40,734	2,2151	5,3	2,082	8
44,682	2,0281	31,5	2,021	30
47,215	1,9251	13,6	1,920	14
50,938	1,7928	20,2	1,787	18
55,507	1,6556	31,5	1,653	25
56,636	1,6252	12,8	1,622	12

Նկ. 3-ում բերված է ստացված արգասիքի միկրոկառուցվածքը՝ նկարահանված (SEM) VEGA TS 5130MM էլեկտրոնային մանրադիտակով, իսկ աղ. 3-ում՝ տարբեր տեղամասերում կապարի մոլիբդատի բաղադրիչ տարրերի կոնցենտրացիան:



Նկ.3. Ստեխիոմետրական բաղադրությամբ ամոնիումի մոլիբդատի և կապարի ագեոտատի լուծույթներից հիդրոմետալուրգիական եղանակով ստացված արգասիքի միկրոկառուցվածքը

Աղյուսակ 3

Նկ.3-ում բերված միկրոկլառուցվածքների նշված տեղամասերում(Spectrum 1, Spectrum 2)
նմուշի բաղադրությունը

Spectrum 1			Spectrum 2		
Էլեմենտը	Կշռ.%	Ատ.%	Էլեմենտը	Կշռ.%	Ատ.%
O	17,43	66,66	O	17,86	67,32
Mo	26,13	16,67	Mo	26,00	16,34
Pb	56,44	16,67	Pb	56,14	16,34
Գումարը	100		Գումարը	100	

Աղ. 3-ի և նկ. 2-ի ռենտգենագրի վերլուծությունից հետևում է, որ ստացվել է ստեխիոմետրական բաղադրությամբ միաֆազ կապարի մոլիբդատ, իսկ նրանում վնասակար խառնուրդների պարունակությունը, որը բերված է աղ. 4-ում, համապատասխանում է TY 6-09-20-98-76 տվյալներին:

Համալիր հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է մոլիբդենիտային խտանյութերից հիդրոմետալուրգիական եղանակով գերմաքուր կապարի մոլիբդատի ստացման տեխնոլոգիական սխեմա, որը բերված է նկ. 4-ում:

Աղյուսակ 4

Կապարի մոլիբդատում վնասակար խառնուրդների պարունակությունը

Հիմնական բաղադրիչը	Խառնուրդների պարունակությունը, %				
PbMoO ₄	Fe	Co	Ni	Mn	Cr
≥ 99 %	1·10 ⁻⁴	3 ·10 ⁻⁴	3 ·10 ⁻⁵	<1·10 ⁻⁴	3 ·10 ⁻⁵

Այսպիսով, քիմիական և ռենտգենաֆազային վերլուծության արդյունքների հիման վրա որոշվել են ստեխիոմետրական բաղադրությամբ կապարի մոլիբդատի ստացման լավարկված ռեժիմները: pH=5, ջերմաստիճանը՝ $85 \pm 5^\circ\text{C}$, փոխազդման տևողությունը՝ 180 ր: Հաստատվել է, որ ստեխիոմետրիայից կապարի ացետատի 1% ավելցուկի դեպքում պահանջվող արգասիքի ելքը կազմում է 99 %:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆՑԱՆԿ

1. **Coquin G. A., Pinnow D. A., Wamer A. W.** Physical properties of lead molybdate relevant to acousto-optic device applications // Journal of Applied Physics.- 1971.- Vol. 42, issue 6.- P. 2162-2168.
2. **Tyagi M., Singh S. G., Singh A. K., Gadkari S. C.** Understanding colorations in PbMoO_4 crystals through stoichiometric variations and annealing studies // Physica Status Solidi (a).- 2010.- Vol. 207, issue 8.- P.1802-1806.
3. Structural defects in PbMoO_4 single crystals doped with Co^{2+} ions /**D. Piwowska, S. M. Kaczmarek, P. Potera et al** // Optical Materials.- 2009.- Vol. 31, issue 12.- P. 1798-1801.
4. Influence of chromium content on the coloration of PbMoO_4 crystals / **J. P. Parant, G. Villela, D. Gourier et al** // Journal of Crystal Growth.- 1981.- Vol. 52, part 2.- P. 576-579.
5. **Phillips S. L., Phillips C. A., Skeen J.** Hydrolysis, formation and ionization constants at 25°C , and at high temperature – high ionic strength.- Berkeley, California.- LBL- 14996.- 1985.

ՀղձՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.04.2012:

С.Г. АГБАЛЯН, А.О. ОВСЕПЯН, С.А. АРУТЮНЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОЛИБДАТА СВИНЦА ИЗ МОЛИБДЕНИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Разработана современная технология получения молибдата свинца высокой чистоты и стехиометрического состава из уксуснокислого раствора свинца и молибдата аммония, полученного в результате переработки молибденитовых концентратов гидрометаллургическим методом. Исследована термодинамика реакции получения молибдата свинца. Установлены оптимальные технологические режимы процесса.

Ключевые слова: гидрометаллургия, концентрат молибдена, молибдат свинца, монокристалл, стехиометрический состав.

S.G. AGHBALYAN, A.H. HOVSEPYAN, S.A. HARUTYUNYAN

TECHNOLOGY OF OBTAINING LEAD MOLYBDATE FROM MOLYBDENUM CONCENTRATES BY HYDROMETALLURGICAL METHOD

A modern technology of obtaining high purity and stoichiometric composition of lead molybdate by hydrometallurgical method from acetic lead solutions and ammonium molybdate obtained from treatment molybdenum concentrates has been developed. The thermodynamics reaction of obtaining lead molybdate has been investigated. Optimal technological regimes of the process have been determined.

Keywords: hydrometallurgy, molybdenum concentrate, lead molybdate, single crystal, stoichiometric composition.

Լ.Ե. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Լ.Ս. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ՄԻՋՏԱԶԱՅԻՆ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՓՈԽԱԿԵՐՊՈՒՄՆԵՐԸ ՍՈՒԼՖԻԴԻ
ՊՂԱՋԱՅԻՆ ՏՄԱՆՑՈՒԹՅՈՒՆԼՖԱՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸ ՆԹԱՑՈՒՄ

Պարզաբանված են արդյունաբերական պղնձային խտանյութի սուլֆատացնող բովման գործընթացում տեղի ունեցող միջֆազային փոխազդեցությունները և փոխակերպումները: Հաստատագրված են գերազանցապես սուլֆատային արգասիքի ստացման օպտիմալ տեխնոլոգիական պարամետրերը:

Առանցքային բառեր. սուլֆիդային խտանյութ, պիրիտ, խալկոպիրիտ, բովում, սուլֆատներ, ֆերիտային միացություններ, օքսիդներ, սուլֆատացված բովվածք:

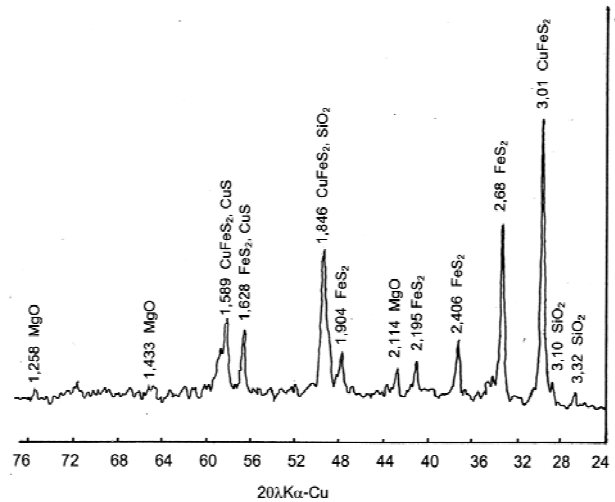
Աշխատանքի նպատակը սուլֆիդապղնձային խտանյութի սուլֆատացնող բովման գործընթացի տեխնոլոգիական օրինաչափությունների ուսումնասիրումն է:

Հետազոտվող պղնձային խտանյութը (%: 27,8 Cu, 0,7 Zn, 0,45 Pb, 30,2 Fe, 35,2 S) ենթարկվել է ռենտգենաֆազային վերլուծության՝ ДРОН-2,0 դիֆրակտագրով, K_{α} -Cu ճառագայթամբ: Ֆազերի վերծանումն իրականացվել է՝ նմանարկելով ստանդարտ նյութերի տվյալների դիֆրակտագիրը [1]: Նկ.1-ում բերված ռենտգենագրից հստակ երևում է, որ խտանյութի հիմնական սուլֆիդային բաղադրիչը խալկոպիրիտն է (CuFeS_2)՝ իրեն բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումներով (0,301 նմ; 0,1846 նմ; 0,1589 նմ): Երկրորդը, ըստ քանակի, պիրիտն է (FeS_2), որը մշտապես ուղեկցում է խալկոպիրիտին: Օքսիդային բաղադրիչներից երևակված են SiO_2 -ը և MgO -ն, մնացած միներալները, այդ թվում՝ ոսկին ու արծաթը, ռենտգենագրի վրա չեն երևակված՝ իրենց փոքր քանակների պատճառով:

Խտանյութի տաքացման գործընթացը, նրանից գերազանցապես սուլֆատային բովվածքի ստացման տեխնոլոգիական պարամետրերի (ջերմաստիճան, տևողություն) հաստատագրման համար, ենթարկվել է ջերմաձանրաչափական և դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության, որի արդյունքները բերված են նկ.2-ում: Հետազոտության նպատակն է պարզել, թե ինչպիսի ֆազային փոխազդեցությունների արդյունքում են սուլֆիդները վերածվում սուլֆատների, երբ պղնձային խտանյութը տաքացվում է օդում: Իսկ սուլֆատային բաղադրությամբ բովվածքը, ինչպես հայտնի է, ամենահարմար ելանյութն է տարրալուծման եղանակի կիրառմամբ՝ նրանում առկա արժեքավոր մետաղների համալիր կորզման համար, քանի որ սուլֆատները, ի տարբերություն սուլֆիդների, հիմնականում լուծվում են ջրում (օրինակ՝ CuSO_4 -ը, ZnSO_4 -ը, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ -ը և այլն):

Ելային խտանյութի միներալային կազմը զանգվածային բաժիններով հետևյալն է (%)՝ 76,33 CuFeS_2 , 1,8 Cu_2S , 1,01 ZnS , 14,4 FeS_2 , 0,5 PbS , 5,5 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$):

Խտանյութում առկա են նաև ոսկի և արծաթ ($2,6 \text{ g/տ Au}$, 46 g/տ Ag): Երկաթի բավականին մեծ պարունակությունը կարևորվում է կորզման նպատակահարմարության տեսանկյունից:



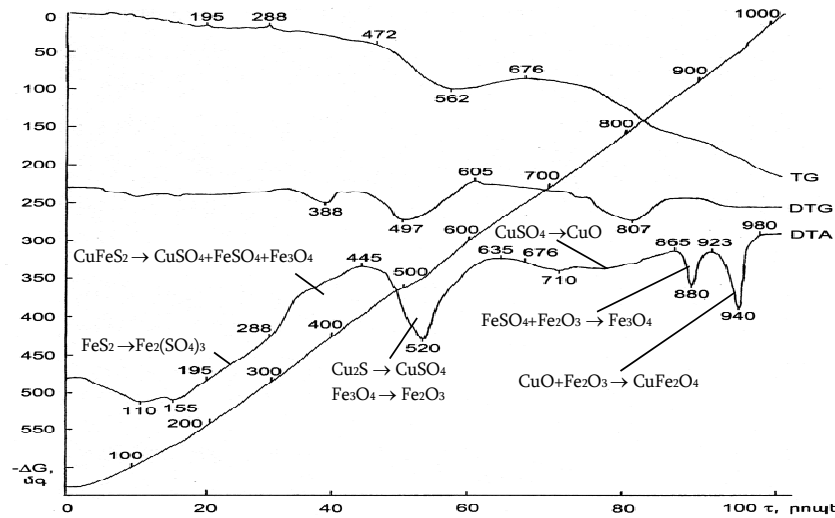
Նկ.1. Հետազոտվող պղնձային խտանյութի ռենտգենագիրը

Ջերմածանրաչափական հետազոտությունն իրականացվել է Q-1500 D մակնիշի սարքով (Հունգարիա): Նմուշում տեղի ունեցող գործընթացի կինետիկան ուսումնասիրվել է $20 \dots 1000^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում՝ 10°C/րոպե տաքացման արագությամբ: Որպես համեմատական էտալոն ծառայել է 1250°C -ում թրծված ալյումինի օքսիդը: Բովված նմուշները նույնպես ենթարկվել են ռենտգենաֆազային վերլուծության: Ջերմածանրաչափական և դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության տվյալները համեմատվել են որոշակի ջերմաստիճաններում բովված արգասիքների ֆազային բաղադրությունների հետ (աղ.1):

Նկ.2-ում և աղ.1-ում բերված տվյալների վերլուծությունը թույլ է տալիս հաստատել, որ խտանյութի բովումն ընթանում է երկու փուլով:

Առաջին փուլում (ընդհուպ մինչև 676°C) ընթանում են սուլֆիդների օքսիդացման ռեակցիաները, որոնք բնութագրվում են ջերմանջատիչ էֆեկտներով: Համեմատաբար ցածր ջերմաստիճաններում ($195 \dots 288^\circ\text{C}$) պիրիտն օքսիդանում է՝ գոյացնելով իր եռավալենտ սուլֆատը, որը, ինչպես հայտնի է, օժտված է բարձր օքսիդացնող ունակությամբ: Դրա շնորհիվ է, որ այդ նույն ջերմաստիճանային տիրույթում առավել կայուն խալկոպիրիտը օդամղված թթվածնի առկայությամբ քայքայվում է՝ գոյացնելով պղնձի և երկաթի երկվալենտ սուլֆատներ: Միաժամանակ, կարող է ընթանալ նաև խալկոպիրիտի աստիճանական փոխակերպումը Cu_2S և Fe_3O_4 սուլֆիդա-

օքսիդային խառնուրդի [2]: 480°C -ում ստացված բովվածքում մագնեթիտի առկայությունը հաստատագրված է մագնիսական վերլուծության մեթոդով [3]:



Նկ. 2. Սուլֆիդապրոծային խտանյութի բովվածքի ջերմաքիմիա. T - ջերմաստիճանը; TG - նմուշի զանգվածի փոփոխության կորը; DTG - զանգվածի փոփոխության դիֆերենցիալը; DTA - դիֆերենցիալ ջերմային վերլուծության կորը

Աղյուսակ 1

Որոշակի ջերմաստիճաններում մեկ ժամ տևողությամբ խալկոպիրիտային խտանյութի բովվածքից ստացված նմուշների ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալները

Նմուշի համարը	Բզրթերմային տաքացման ջերմաստիճանը, $^{\circ}\text{C}$	Հիմնական ֆազերը՝ ստացված բովվածքում (ըստ ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալների)
1	180	CuFeS_2 , FeS_2 , SiO_2 (քվարց)
2	280	CuFeS_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, SiO_2 (քվարց)
3	480	CuSO_4 , Cu_2S , FeSO_4 , Fe_3O_4 , SiO_2 (քվարց)
4	680	CuSO_4 , FeSO_4 , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , SiO_2 (քվարց)
5	980	CuO , CuFe_2O_4 , Fe_3O_4 , SiO_2 (քվարց)

Երկրորդ փուլը (բարձր 676°C -ից) ընթանում է սուլֆատների քայքայման և ֆերիտագոյացման ռեակցիաներով, որոնք ջերմակլանիչ բնույթի են:

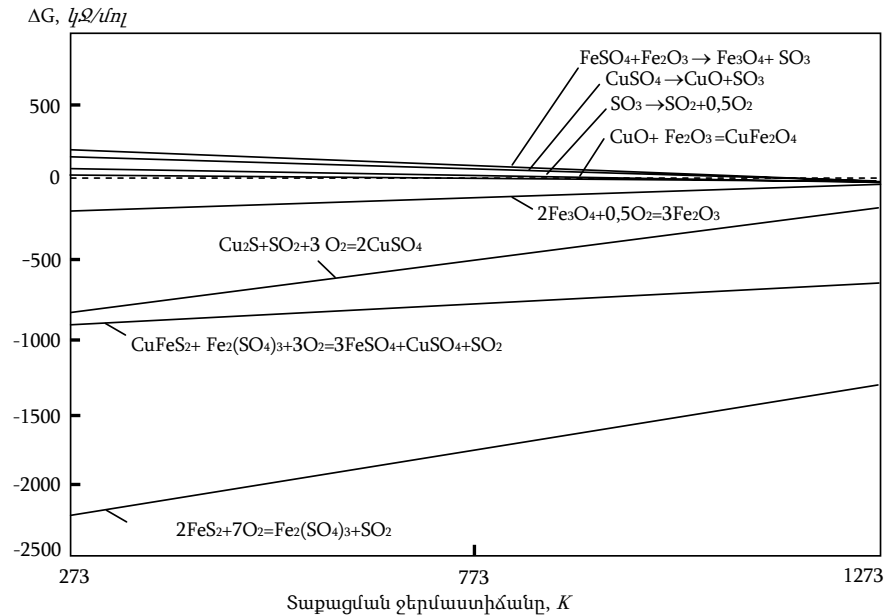
Աղ.2-ում բերված թերմոդինամիկական բնութագրերով գործընթացի ռեակցիաների համար կառուցված Գիբսի ազատ էներգիաների փոփոխության ջերմաստիճանային կախվածության գրաֆիկներից (նկ.3) հստակորեն հետևում է դրանց բոլորի ընթանալու թերմոդինամիկական հավանականությունը $273 \dots 1273 \text{ K}$ ջերմաստիճանային տիրույթում, ինչը հաստատագրվում է համապատասխան նմուշների ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալներով: Առավել մեծ հավանականությամբ է

օժտված պիրիտի օքսիդացման ռեակցիան, որի պինդ արգասիքը երկաթի եռավալենտ սուլֆատն է:

Աղյուսակ 2

Պղնձային խտանյութի ոչ հզոթերմային տաքացման ընթացքում տեղի ունեցող առավել հավանական ռեակցիաների թերմոդինամիկական բնութագրերը (հաշվարկումն ըստ [4-7]-ի)

Ջերմաստի- ճանային տիրույթը, °C	Հավանական ռեակցիաները	ΔG_T^0 -ի հավասար- բումները (կՋ/մոլ), $\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0$
<u>1-ին փուլ</u>		
195-288	$2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2$ (1)	$-2554,5 + 0,97 \cdot T$
195-520	$\text{CuFeS}_2 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{O}_2 = 3\text{FeSO}_4 + \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2$ (2) $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{Cu}_5\text{FeS}_4 + \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ [6]	$-1083,43 + 0,343 \cdot T$
520-676	$\text{Cu}_2\text{S} + \text{SO}_2 + 3\text{O}_2 = 2\text{CuSO}_4$ (3) $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 0,5\text{O}_2 = 3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (4)	$-1162,48 + 0,75 \cdot T$ $-232,6 + 0,13 \cdot T$
<u>2-րդ փուլ</u>		
676-865	$\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{CuO} + \text{SO}_3$ (5)	$218,68 - 0,19 \cdot T$
865-923	$\text{FeSO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{SO}_3$ (6) $\text{SO}_3 \rightarrow \text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2$ (7)	$231,68 - 0,21 \cdot T$ $99,95 - 0,09 \cdot T$
923-980	$\text{CuO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{CuFe}_2\text{O}_4$ (8)	$20,23 - 0,011 \cdot T$



Նկ. 3. Պղնձային խտանյութի թրմական գործընթացի ռեակցիաների՝ Գիբսի էներգիայի փոփոխության ջերմաստիճանային կախվածության գրաֆիկները

Այս արգասիքի շնորհիվ խալկոպիրիտի՝ որպես առավել կայուն սուլֆիդի օքսիդացման ռեակցիան՝ պղնձի և երկաթի երկվալենտ սուլֆատների գոյացմամբ, սկսվում է բավականին ցածր ջերմաստիճաններում՝ 195°C -ից: Մինչդեռ առանց $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ -ի խալկոպիրիտի աստիճանական օքսիդացումը հնարավոր կլիներ միայն շատ ավելի բարձր ջերմաստիճաններում [2]: Փորձերի հետագա ընթացքը ցույց է տալիս, որ ցածր ջերմաստիճանային փուլում գոյացած համեմատաբար անկայուն սուլֆատները ավելի բարձր ջերմաստիճաններում փոխակերպվում են պղնձի և երկաթի համապատասխան օքսիդների, որոնք պինդ ֆազային փոխազդեցությամբ գոյացնում են թույլ ձմբական թթվի լուծույթներում ամեննին չքայքայվող ֆերիտային միացություն:

Սակայն, ելնելով խնդրի նախապայմանից, խտանյութի բովման ջերմաստիճանը չպետք է բարձր լինի 676°C -ից, որպեսզի չքայքայվեն գոյացած հեշտ լուծվող սուլֆատները և չառաջանան դժվարլուծելի ֆերիտային միացություններ:

Որպես պղնձային խտանյութի սուլֆատացնող բովման օպտիմալ ջերմաստիճան ընտրվել է 650°C -ը: Բովման գործընթացի տևողությունը կախված է կիրառվող վառարանի տեսակից: Տվյալ դեպքում հարմար է ընտրել ելանյութի հետ միասին խոնավություն մատուցող <<եռացող շերտով>> վառարան [8], որում հնարավոր է մոտ 30 րոպեի ընթացքում ստանալ ամբողջովին սուլֆատացված բովվածք:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. ASTM Card File, ASTM.- Philadelphia, 1969.
2. **Пашинкин А.С., Спивак М.М., Малкова А.С.** Применение диаграмм парциальных давлений в металлургии.- М.: Металлургия, 1984.- 160 с.
3. **Апаев Б.А.** Фазовый магнитный анализ сплавов.- М.: Металлургия, 1976.- 280 с.
4. **Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л.** Справочник термодинамических веществ.- М.: Атомиздат, 1971.- 238 с.
5. **Кубашевски О., Олкокс С.Б.** Металлургическая термохимия.- М.: Металлургия, 1982.- 390 с.
6. **Рабинович В.А., Хавин З.Я.** Краткий химический справочник. -Л.: Химия, 1991.- 432 с.
7. **Третьяков Ю.Д.** Твердофазные реакции.-М.: Химия, 1978.- 360 с.
8. **Gosman G.I.** Pyrometallurgy of Gold// In: Extractive Metallurgy of Gold in South Africa/ Edited by G.G. Stanley.- V.1.- Johannesburg, 1978.-614 p.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 19.03.2012:

Л.Е. САРГСЯН, А.М. ОГАНЕСЯН, Л.С. АВETИСЯН

**МЕЖФАЗНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ
СУЛЬФАТАЦИИ СУЛЬФИДНО-МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА**

Выявлены межфазные взаимодействия и превращения, происходящие в сульфатирующем обжиге промышленного сульфидно-медного концентрата. Установлены оптимальные технологические параметры для получения преимущественного сульфатного продукта.

Ключевые слова: сульфидный концентрат, пирит, халькопирит, обжиг, сульфаты, ферритные соединения, оксиды, сульфатный огарок.

L.YE. SARGSYAN, A.M. HOVHANNISYAN, L.S. AVETISYAN

**THE PHASE INTERACTIONS AND CONVERSIONS THE SULPHATIZING
PROCESS OF SULPHIDE COPPER CONCENTRATE**

The phase interactions and conversions which take place in sulphatizing roasting process of commercial sulphide copper concentrate are revealed. The optimum technological parameters for obtaining the predominant sulphate product are established.

Keywords: sulphide concentrate, pyrite, chalcopyrite, roasting, sulphates, ferric compounds, oxides, sulphate roast calcine.

ՀՏԴ 621.182.233

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Ո.Ջ.ՄԱՐԴՈՒԹՅԱՆ, Ա.Ս.ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

ԲԵՌՆՎԱԾՔԻ ԱՆԿՄԱՆ ԱՆՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՔԻ
ԳՐԱՖԻԿԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ԱՇԽԱՏՈՂ ՏԱՐԱՏԻՊ
ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԿԱԶՄՈՎ ԿՈՆԴԵՆՍԱՑԻՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՑԱՆԻ ՀԱՄԱՐ

Տրված էներգետիկական կազմով էլեկտրակայանի համար դիտարկվել են բեռնվածքի անկման անցման եղանակները, և իրականացվել է այդ էլեկտրական բեռնվածքի լավարկային բաշխում տվյալ էլեկտրակայանի ագրեգատների միջև՝ կախված բեռնվածքի անկման տևողությունից:

Առանցքային բառեր. կոնդենսացիոն էլեկտրակայան, էլեկտրական բեռնվածք, էներգաբլոկ, վառելիքի ծախս:

Կոնդենսացիոն էլեկտրակայանների (ԿԷԿ) էներգաբլոկները, որպես կանոն, աշխատում են էլեկտրական բեռնվածքների տարբեր ռեժիմային պայմաններում, որոնցից յուրաքանչյուրին համապատասխանում են աշխատող տեղակայանքների պարամետրերի որոշակի արժեքներ: Այդ պարամետրերից նույնիսկ մեկի փոփոխությունը նշանակում է ԿԷԿ-ի էներգաբլոկի աշխատանքային ռեժիմի փոփոխություն:

Եթե ԿԷԿ-ն աշխատում է էլեկտրական բեռնվածքի գրաֆիկի կարգավորման ռեժիմում, ապա առաջանում է էներգաբլոկների բեռնվածքների պարբերաբար փոփոխման անհրաժեշտություն: Էլեկտրական բեռնվածքի գրաֆիկի զագաթային մասի ծածկման համար հիմնական սարքավորումները բեռնավորվում են մինչև հնարավոր առավելագույն հզորությունների նշանակությունները, կամ էլ կիրառվում են գերբեռնվածքի կարճատև ռեժիմներ:

Ժամանակակից ԿԷԿ-երում բավականին խնդրահարույց են ցածր բեռնվածքներով աշխատանքային ռեժիմների ժամանակահատվածները, որոնց անցնելու եղանակները կարելի է խմբավորել հետևյալ կերպ՝

- էներգաբլոկների բեռնաթափում՝ դրանց կարգավորման միջակայքի սահմաններում կամ մինչև թույլատրելի տեխնիկական նվազագույնի արժեքը,
- էներգաբլոկի (կամ էներգաբլոկների) կանգառում՝ էլեկտրական բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածն անցնելուց հետո դրանց հետագա գործարկմամբ,
- միջանկյալ կապերով ԿԷԿ-երում (ոչ բլոկային) տուրբոագրեգատների հզորությունների նվազեցում մինչև թույլատրելի տեխնիկական նվազագույնի մակարդակը՝ շոգեկաթսաների մի մասի միաժամանակյա բեռնաթափմամբ կամ շահագործման դադարեցմամբ,

- սարքավորումների բեռնաթափում մինչև պարապ ընթացքի ռեժիմի կամ էլ սեփական կարիքների բեռնվածքների մակարդակը,

- տուրբոազրեգատի անցումը մոտորային ռեժիմով (ՄՌ) աշխատանքի՝ էներգաբյուրեղի շոգեկաթսայի կանգնեցմամբ և «տաք» կոնսերվացման վիճակի պահպանմամբ:

Թվարկված աշխատանքային ռեժիմներից յուրաքանչյուրն ունի շահագործման որոշակի առավելություններ և թերություններ, և այս կամ այն տարբերակի ընտրումը վերջնարդյունքում որոշվում է սարքավորումների հուսալի և շահավետ աշխատանքային պայմաններից ելնելով:

Մասնավորապես առաջին տարբերակը ջերմային էլեկտրակայաններում (ՋԷԿ) առավել լայն տարածում է գտել մյուսների համեմատ՝ իր մի շարք շահագործողական առավելությունների շնորհիվ՝

- էներգահամակարգում «տաք» պտտվող պաշարի առկայություն,
- բարձր մանևրային հատկություններ (բարձր արագություններով՝ մինչև 3...4 ՄՎտ/րոպե առանձին ազրեգատների դեպքում՝ բեռնաթափման ու բեռնավորման հնարավորություններ),

- ՋԷԿ- ի հիմնական և օժանդակ սարքավորումների աշխատանքի հուսալիության առավել բարձր ցուցանիշներ՝ բեռնվածքի նվազեցման այլ եղանակների համեմատ,

- գործողությունների ավտոմատացման բարձր մակարդակի ապահովվածություն:

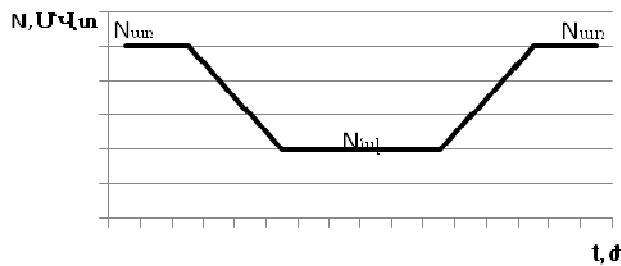
Սարքավորումների կարգավորման միջակայքի մակարդակը հիմնականում որոշվում է շոգեկաթսաների աշխատանքային պայմաններով, քանի որ շոգետուրբինի աշխատանքի տեսանկյունից բեռնվածքների դիտարկվող միջակայքերում սահմանափակումներ չկան:

Հեղուկ և գազային վառելիքով աշխատող էներգաբյուրեղների շոգեկաթսաներում այրման կայունությունը բավականաչափ բարձր է, և բեռնվածքի նվազեցման հիմնական սահմանափակող գործոն է հանդիսանում շոգեկաթսայի տաքացման մակերևույթների հիդրավլիկական ռեժիմը:

Անհրաժեշտ է նշել, որ մասնակի բեռնվածքների ռեժիմներում առկա է սարքավորումների շահավետության նվազում, որը մի կողմից՝ պայմանավորված է սարքավորումների մասնակի բեռնվածքներով աշխատանքային ռեժիմներում շահավետության ցուցանիշների նվազմամբ, մյուս կողմից՝ անցողիկ ռեժիմներում (բեռնաթափում-բեռնավորում) վառելիքի լրացուցիչ ծախսումներով: Վառելիքի լրացուցիչ ծախսերը կապված են պրոցեսների ոչ ստացիոնարության հետ և որոշվում են հիմնականում հետևյալ բնութագրիչներով՝

- բեռնաթափման պրոցեսում հեռացող ծխագազերի հետ ջերմային կորուստների փոփոխությամբ՝ օդի ավելցուկի և հեռացող ծխագազերի ջերմաստիճանի բարձրացման հետևանքով,

- որմնապատման տաք էլեմենտներից դեպի շրջակա միջավայր ջերմության կորուստների չափի աճով,
 - կոնստրուկցիաներում կուտակված (ակումուլյացված) ջերմության անջատման կամ կլանման չափաքանակներով,
 - անցումային պրոցեսի (բեռնաթափում կամ բեռնավորում) արագության փոփոխությամբ և բեռնվածքի միջակայքով:
- Նկ.1- ում բերված է առանձին ագրեգատի էլեկտրական բեռնվածքի փոփոխության պարզեցված գրաֆիկը՝ կարգավորման ռեժիմով աշխատելու դեպքում:



Նկ.1. Էլեկտրական բեռնվածքի փոփոխության գրաֆիկը

Ընդհանուր առմամբ գրաֆիկի վրա կարելի է առանձնացնել 3 տեղամաս.

- 1- բեռնաթափման ժամանակահատված (անցողիկ պրոցես),
- 2- կայուն բեռնվածքով աշխատանքային ժամանակահատված (բեռնվածքի անկում),
- 3- բեռնավորման ժամանակահատված (անցողիկ պրոցես):

Վառելիքի ծախսի գնահատման ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվարկել բոլոր բաղադրիչները յուրաքանչյուր գոտու (ժամանակահատվածի) համար: Ընդորում, վառելիքի ծախսը՝ ըստ գոտիների, կհաշվարկվի հետևյալ կերպ.

– բեռնաթափում (ստացիոնար բաղադրիչ)՝

$$B_{\rho\theta} = b_{\theta\rho} \cdot N_{\theta\rho} \cdot \tau_{\rho\theta}, \quad (1)$$

որտեղ

$$N_{\theta\rho} = \frac{N_{\text{առ}} + N_{\text{ալ}}}{2}, \quad (2)$$

– բեռնվածքի անկում՝

$$B_{\text{ալ}} = b_{\text{ալ}} \cdot N_{\text{ալ}} \cdot \tau_{\text{ալ}}, \quad (3)$$

– բեռնավորում (ստացիոնար բաղադրիչ)՝

$$B_{\rho\alpha} = b_{\theta\rho} \cdot N_{\theta\rho} \cdot \tau_{\rho\alpha} : \quad (4)$$

Բեռնաթափման և բեռնավորման փուլերն անցողիկ ժամանակահատվածներ են և բացի ստացիոնար բաղադրիչից, պարունակում են նաև անցողիկ պրոցեսների դինամիկայի հետ կապված ոչ ստացիոնար բաղադրիչներ: Մասնավորապես վառելիքի ծախսումները կախված են բեռնվածքի փոփոխության արագությունից և ամպլիտուդից, վառելիքի տեսակից, ինչպես նաև անցողիկ փուլի ավարտից հետո պրոցեսի կարգավորման և կայունացման համակարգի արդյունավետությունից:

Հետևապես, անցողիկ պրոցեսում վառելիքի լրացուցիչ ծախսերը կկազմեն՝

$$\Delta B_{\text{անց.}} = f \left\{ \begin{array}{l} \Delta N, \frac{\Delta N}{\tau}, \text{ վառելիքի տեսակ, կարգավորման եղանակ,} \\ \text{շոգեբաշխման համակարգ, } \frac{P_0}{P_0^{\text{անվ}}}, \frac{t_0}{t_0^{\text{անվ}}}, \alpha_{\text{ող}} \text{ և այլն} \end{array} \right\}: \quad (5)$$

Ամբողջ ժամանակահատվածի համար վառելիքի գումարային ծախսը կլինի՝

$$B_{\text{փող}} = B_{\text{բթ}} + \Delta B_{\text{անց}}^{\text{բթ}} + \Delta B_{\text{կայ.}}^{\text{բթ}} + B_{\text{անկ}} + B_{\text{բռ}} + \Delta B_{\text{անց}}^{\text{բռ}} + \Delta B_{\text{կայ.}}^{\text{բռ}} + B_{\text{ան}}, \quad (6)$$

որտեղ $\Delta B_{\text{անց}}^{\text{բթ}}$, $\Delta B_{\text{անց}}^{\text{բռ}}$, $\Delta B_{\text{կայ.}}^{\text{բթ}}$, $\Delta B_{\text{կայ.}}^{\text{բռ}}$ - ն համապատասխանաբար անցողիկ և կայունացած ռեժիմներում վառելիքի լրացուցիչ ծախսի բաղադրիչներն են:

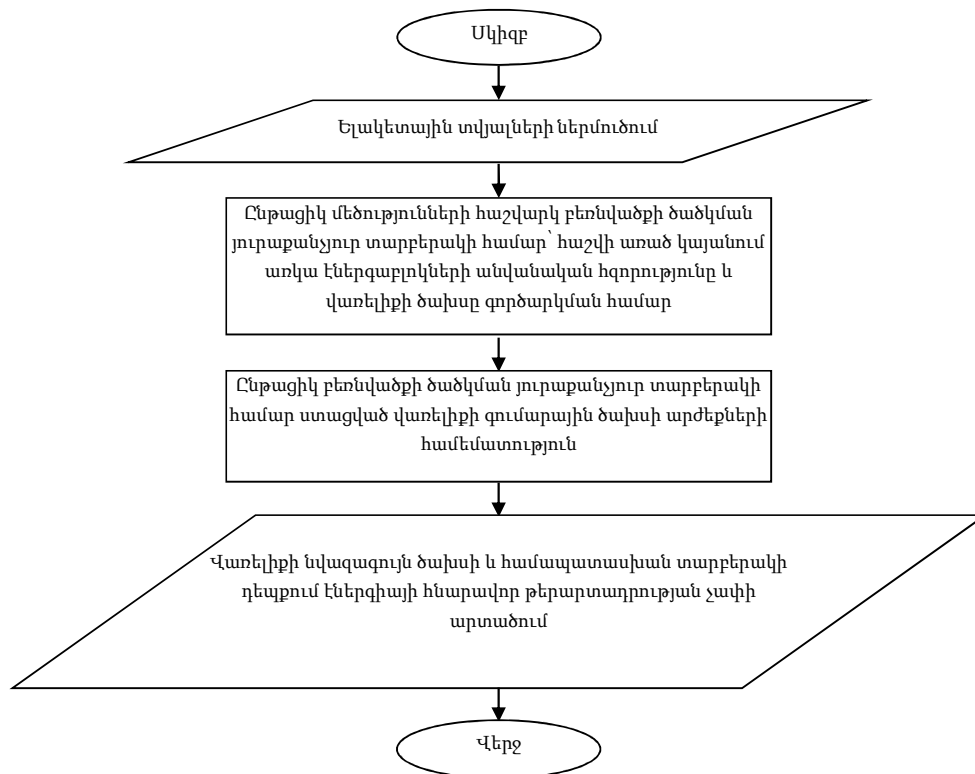
Քննարկվող տարբերակի հիմնական թերությունը մասնակի բեռնվածքներով երկարատև շահագործման պայմաններում (5 ժամ ավելի) շահավետության էական նվազումն է:

Նշենք, որ ագրեգատի, ուստի և ամբողջ կայանի վառելիքի ծախսի մեծության վրա ազդում է նաև ցածր պոտենցիալային մասի աշխատանքային ռեժիմը: Մասնավորապես ուշադրության է արժանի մակերևութային կոնդենսատորի ներքին մակերևութների ադսորբտման դեպքում դրա շահավետության ցուցանիշների ազդեցությունը կայանում վառելիքի ծախսի մեծության վրա:

Ստորև էլեկտրական բեռնվածքների տրված արժեքների համար ընտրվել են էլեկտրակայանում ագրեգատների պաշարավորման եղանակները, և հաշվարկվել վառելիքի գումարային ծախսի համապատասխան արժեքները՝ կախված բեռնվածքների անկման տևողությունից:

Հաշվարկներն իրականացվել են 200 և 300 ՄՎտ հզորությամբ կոնդենսացիոն էներգաբլոկներով կահավորված 1200 ՄՎտ ընդհանուր հզորությամբ էլեկտրակայանի համար էլեկտրական բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածի (5...60) ժամ-ժակայքում տուրբոտեղակայանքների ցածր պոտենցիալային մասի բնականոն աշխատանքի դեպքում: Հաշվարկները կատարելիս բեռնավորման և բեռնաթափման ռեժիմներում վառելիքի լրացուցիչ ծախսը՝ կապված պրոցեսների ոչ ստացիոնարության հետ, հաշվի չի առնվել:

Հաշվարկների իրականացման համար MATLAB ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ մշակվել է համակարգչային ծրագիր, որի բոկ-սխեման բերված է նկ.2-ում: Նշված մեթոդի հիման վրա MS Excel միջավայրում ևս մշակվել է համապատասխան ալգորիթմ հաշվարկների դյուրինացման համար:



Նկ. 2. Էլեկտրակայանում ագրեգատների պաշարավորման եղանակների ընտրման հաշվարկային ալգորիթմի բոկ-սխեման

Վառելիքի ծախսի մեծությունների հաշվարկման համար օգտագործվել են հետևյալ ծախսային բնութագրերը՝

ա) K-200-130 տուրբինի դեպքում՝

$$B = 4,83 + 0,2958 \cdot N, \text{ տ/ժ պ.վ.}, \quad (7)$$

բ) K-300-240 տուրբինի դեպքում՝

$$B = 6,54 + 0,29 \cdot N, \text{ տ/ժ պ.վ.}, \quad (8)$$

որտեղ N- ը էներգաբյուրեղի հզորությունն է ՄՎտ – ով:

Գործարկման-կանգառային ռեժիմներում վառելիքի $B_{\square_{ործ}}$ ծախսը՝ արտահայտված m պ.վ., կանգառման տարբեր տևողությունների համար կարելի է գնահատել համաձայն [1, 2]-ում բերված տվյալների.

	5...10ժ	15...20ժ	50...60ժ
K-200-130	40,6	43,0	50,1
K-300-240	88	125	148

Երկարատև կանգառումից հետո, ջերմաստիճանային վիճակի պայմաններից ելնելով, էներգաբլոկի բեռնավորման արագությունը կարող է սահմանափակվել: Նման դեպքերում օգտագործում են, այսպես կոչված, «առաջանցիկ գործարկումը», այսինքն՝ շոգեկաթսայի վառումը (розжиг) և բեռնվածքի հավաքումը սկսում են դեռ բեռնվածքի գրաֆիկի անկումային ժամանակահատվածում:

Մոտորային ռեժիմում էներգաբլոկների աշխատանքի ապահովման համար վառելիքային ծախսումները կարելի է որոշել ըստ հետևյալ արտահայտությունների՝
ա) K-200-130 տուրբինի դեպքում՝

$$B_{\text{մո}} = 2,35 \cdot \tau_{\text{անկ}} + 19,5, \text{ տ պ.վ.}, \quad (9)$$

բ) K-300-240 տուրբինի դեպքում՝

$$B_{\text{մո}} = 3,6 \cdot \tau_{\text{անկ}} + 30,5, \text{ տ պ.վ.}, \quad (10)$$

որտեղ $\tau_{\text{անկ}}$ - ը նվազագույն էլեկտրական բեռնվածքի տևողությունն է:

Բերված արտահայտությունները ճիշտ են միայն բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածի համար և հաշվի չեն առնում բեռնաթափման և բեռնավորման ռեժիմները [3]:

3 հատ 200 ՄՎտ և 2 հատ 300 ՄՎտ անվանական հզորությամբ էներգաբլոկներով կահավորված 1200 ՄՎտ ընդհանուր հզորությամբ կայանի համար ընտրվել են հետևյալ պայմանները.

$$N_{\text{ան}} = 1200 \text{ ՄՎտ}, N_{\text{սկ}} = 900 \text{ ՄՎտ}, N_{\text{անկ}} = \begin{cases} 200 \\ 300 \end{cases} \text{ ՄՎտ},$$

$$N_{\text{նվ.բլ}} = \begin{cases} 0,5 \cdot N_{\text{անկ}} \\ 0,4 \cdot N_{\text{անկ}} \end{cases} = \begin{cases} 100 \\ 120 \end{cases} \text{ ՄՎտ}, n_{\text{բլ}} = 5, \tau_{\text{բթ}} = 115 \text{ ր}, \tau_{\text{անկ}} = (5...60) \text{ ժ}:$$

Նշված նվազագույն բեռնվածքին անցման համար դիտարկվող ԿԷԿ-ում հնարավոր են հետևյալ ռեժիմները.

ա) բոլոր էներգաբլոկների հավասարաչափ բեռնավորում,

բ) 2 հատ 300 ՄՎտ անվանական հզորությամբ տուրբինների անվանական ռեժիմով աշխատանք և 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ բոլոր տուրբինների հա-

վասարաչափ բեռնավորմամբ բեռնվածքի պակասի ծածկում,

զ) 2 հատ 300 ՄՎտ և մեկ 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ տուրբինների անվանական ռեժիմով աշխատանք, 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինի 50% բեռնվածությամբ աշխատանք և 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինի մոտորային ռեժիմի անցում կամ կանգառում,

դ) 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ բոլոր տուրբինների անվանական ռեժիմով աշխատանք և 300 ՄՎտ անվանական հզորությամբ բոլոր տուրբինների հավասարաչափ բեռնավորմամբ բեռնվածքի պակասի ծածկում,

ե) 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ բոլոր տուրբինների և 300 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինի անվանական ռեժիմով աշխատանք և մյուսի մոտորային ռեժիմի անցում կամ կանգառում:

$N_{\text{սկ}} = 900$ ՄՎտ դեպքում $\tau_{\text{անկ}} = 5$ ժ համար ԿԷԿ- ում տեղակայված բոլոր էներգաբլոկների հավասարաչափ բեռնավորման տարբերակի դիտարկումից ստացված արդյունքներն են.

$N_{\text{միջ}}$,	$B_{\text{բթ200}}$,	$B_{\text{բթ300}}$,	$N_{\text{անկ}}$,	$\sum B_{\text{անկ}}$,	$B_{\text{բն200}}$,	$B_{\text{բն300}}$,	$B_{\text{փոփ1}}$,
ՄՎտ	տ պ.վ.	տ պ.վ.	ՄՎտ	տ պ.վ.	տ պ.վ.	տ պ.վ.	տ պ.վ.
210	128,317	129,26	180	584,07	128,317	129,26	2745,452

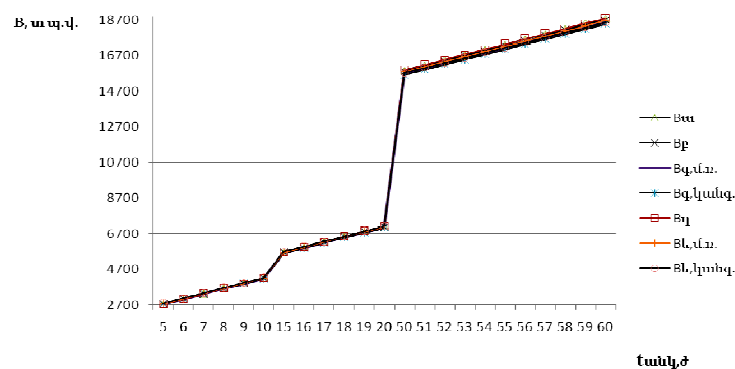
Այստեղ $N_{\text{միջ}}$ - ք բեռնաթափման (բեռնավորման) փուլում յուրաքանչյուր էներգաբլոկի միջին հզորությունն է, $B_{\text{բթ200}}$ - ք և $B_{\text{բթ300}}$ - ք՝ վառելիքի ծախսը բեռնաթափման փուլում համապատասխանաբար K-200-130 և K-300-240 տուրբինների համար, $N_{\text{անկ}}$ - ք՝ բեռնվածքի անկման ժամանակ յուրաքանչյուր էներգաբլոկի հզորությունը, $\sum B_{\text{անկ}}$ - ք՝ բեռնվածքի $\tau_{\text{անկ}}$ ժամանակահատվածում վառելիքի ծախսը կայանում, $B_{\text{բն200}}$ - ք և $B_{\text{բն300}}$ - ք՝ վառելիքի ծախսը բեռնավորման ժամանակահատվածում համապատասխանաբար K-200-130 և K-300-240 էներգաբլոկների համար, $B_{\text{փոփ1}}$ - ք՝ ԿԷԿ- ում վառելիքի գումարային ծախսը բեռնվածքի անկման ժամանակահատվածում:

Հաշվարկների ամբողջական արդյունքները բերված են ստորև թվային և գրաֆիկական տեսքով (աղ., նկ. 3): Կատարված են նաև համապատասխան եզրակացություններ:

Աղյուսակ

Վառելիքի գումարային ծախսերը K-200-130 և K-300-240 էներգաբլոկներով կահավորված 1200 ՄՎտ հզորությամբ էլեկտրակայանում 900 ՄՎտ բեռնվածքի ծածկման դեպքում ա) - ե) տարբերակների համար

$\tau_{անկ}, \partial$	$\Sigma B, \text{տ ա.վ.}$						
	ա)	բ)	գ)		դ)	ե)	
			մոտո- րային ռեժիմ	կանգառում		մոտորային ռեժիմ	կանգառում
5	2745,452	2734,49	2741,59	2750,94	2746,525	2762,325	2801,825
6	3037,154	3024,8	3029,42	3036,42	3038,575	3051,435	3087,335
7	3328,856	3315,11	3317,25	3321,9	3330,625	3340,545	3372,845
8	3620,558	3605,42	3605,08	3607,38	3622,675	3629,655	3658,355
9	3912,26	3895,73	3892,91	3892,86	3914,725	3918,765	3943,865
10	4203,962	4186,04	4180,74	4178,34	4206,775	4207,875	4229,375
15	5662,472	5637,59	5619,89	5608,14	5667,025	5653,425	5693,925
16	5954,174	5927,9	5907,72	5893,62	5959,075	5942,535	5979,435
17	6245,876	6218,21	6195,55	6179,1	6251,125	6231,645	6264,945
18	6537,578	6508,52	6483,38	6464,58	6543,175	6520,755	6550,455
19	6829,28	6798,83	6771,21	6750,06	6835,225	6809,865	6835,965
20	7120,982	7089,14	7059,04	7035,54	7127,275	7098,975	7121,475
50	15872,04	15798,44	15693,94	15607,04	15888,78	15772,28	15709,775
51	16163,74	16088,75	15981,77	15892,52	16180,83	16061,39	15995,285
52	16455,45	16379,06	16269,6	16178	16472,88	16350,5	16280,795
53	16747,15	16669,37	16557,43	16463,48	16764,93	16639,61	16566,305
54	17038,85	16959,68	16845,26	16748,96	17056,98	16928,72	16851,815
55	17330,55	17249,99	17133,09	17034,44	17349,03	17217,83	17137,325
56	17622,25	17540,3	17420,92	17319,92	17641,08	17506,94	17422,835
57	17913,96	17830,61	17708,75	17605,4	17933,13	17796,05	17708,345
58	18205,66	18120,92	17996,58	17890,88	18225,18	18085,16	17993,855
59	18497,36	18411,23	18284,41	18176,36	18517,23	18374,27	18279,365
60	18789,06	18701,54	18572,24	18461,84	18809,28	18663,38	18564,875



Նկ.3. K-200-130 և K-300-240 էներգաբլոկներով էլեկտրակայանում վառելիքի գումարային ծախսերը մինչև 900 ՄՎտ բեռնվածքի անկման տարբեր տևողությունների համար

Մինչև 900 ՄՎտ բեռնվածքի անկման պարագայում վերջինի (5...7) ժ տևողության դեպքում նպատակահարմար է այն ծածկել 2 հատ 300 ՄՎտ անվանական հզորությամբ տուրբինների անվանական ռեժիմով աշխատանքին 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ բոլոր տուրբինների հավասարաչափ բեռնավորման հաշվին, 8ժ տևողության դեպքում 2 հատ 300 ՄՎտ և մեկ 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ տուրբիններն անվանական ռեժիմով աշխատեցնելով, 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինը 50% բեռնվածությամբ աշխատեցնելով և 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինը մոտորային ռեժիմի տեղափոխելով, մնացած բոլոր դեպքերում նախընտրելի է ծածկել տրված բեռնվածքը՝ 300 ՄՎտ հզորությամբ 2 և 200 ՄՎտ հզորությամբ մեկ տուրբինն աշխատեցնելով անվանական բեռնվածությամբ, 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինը՝ 50% արտադրողականությամբ, 200 ՄՎտ անվանական հզորությամբ մեկ տուրբինը կանգնեցնելով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Մարուխյան Ո.Ջ., Բուռնաչյան Հ.Ա. Ջերմային էլեկտրակայանների աշխատանքային ռեժիմներ և շահագործում: Ուսումնական ձեռնարկ.- Երևան, 1994.- 146 էջ:
2. Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ / Под общей ред. Ю.Ф. Косяка- М.: Энергоиздат, 1982.- 272 с.
3. Галашов Н.Н. Технологические процессы выработки электрической энергии на ТЭС и АЭС.- Томск, 2010.

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմագրություն 10.04.2012:

В.З. МАРУХЯН, А.С. АРАКЕЛЯН

СПОСОБЫ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОВАЛА НАГРУЗКИ ДЛЯ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ РАЗЛИЧНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТАВА, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Рассмотрены способы прохождения провала нагрузки для электрической станции данного энергетического состава. Произведено оптимальное распределение нагрузки между агрегатами станции с учетом длительности провала нагрузки.

Ключевые слова: конденсационная электростанция, электрическая нагрузка, энергоблок, расход топлива.

V.Z. MARUKHYAN, A.S. ARAKELYAN

THE LEAST LOAD PASSAGE MODES FOR TPP REGULATING ELECTRIC LOADS

The least load passage modes for TPP that regulates electric loads are considered and optimal load distribution is performed.

Keywords: thermal power plant, electric load, power unit, fuel expense.

В.Г. ПЕТРОСЯН, К.И. ПЮСКЮЛЯН, М.Г. ВАРДАНЯН

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНЕ
РАЗМЕЩЕНИЯ АРМЯНСКОЙ АЭС**

Выполнена оптимизация радиационного мониторинга окружающей среды в районе размещения атомной станции при возможно малых затратах. Выбраны наиболее информативные точки наблюдения за радиационной обстановкой. Определены границы зоны наблюдения, за пределами которых мониторинг не дает новой информации о радиационных параметрах окружающей среды.

Ключевые слова: дозиметр, зона наблюдения, радиационный мониторинг, оптимизация, радиационный выброс, сигнальный порог.

Введение. Оптимизация радиационного мониторинга окружающей среды в районе размещения атомных станций – достаточно сложный процесс, целью которого является получение достоверной, своевременной и объективной картины радиационной обстановки в зоне наблюдения при возможно малых затратах. Процесс оптимизации подразумевает:

- выбор наиболее информативных, с точки зрения мониторинга радиационной обстановки, точек наблюдения (их распределение в зоне наблюдения);
- выбор объектов окружающей среды, аккумулирующих воздействие станции и наиболее чувствительных к этому воздействию, наблюдение за которыми даст точную картину радиационной обстановки;
- определение границ зоны наблюдения, за пределами которых радиационный мониторинг не даст новой информации о радиационных параметрах окружающей среды.

Постановка проблемы. В настоящее время на атомных станциях в состав системы радиационного мониторинга окружающей среды входит автоматическая система мониторинга мощности дозы гамма-излучения на местности. Задачей такой системы является получение оперативной информации для принятия защитных мер в случае возможных неконтролируемых выбросов. Система представляет собой сеть стационарных дозиметров для измерения мощности дозы гамма-излучения, расположенных вокруг АЭС. Информация от этих дозиметров по радиосвязи передается на компьютер. Таким образом, достигается возможность получения информации о мощности дозы излучения на местности в реальном временном режиме. На Армянской АЭС в настоящее время существует сеть таких дозиметров, состоящая из пяти установок марки ERM³ (Environmental

RadiationMonitor фирмы Eberline). Предполагается увеличение числа этих датчиков.

Вопрос оптимального распределения контрольных точек равнозначен вопросу, какое минимальное число детекторов следовало бы расположить вокруг станции, чтобы зарегистрировать превышение уровня действия независимо от метеорологических условий. Настоящая работа посвящена определению минимального количества детекторов, достоверно регистрирующих прохождение неконтролируемого радиоактивного выброса при его движении в произвольном направлении.

Методы исследования. Повышение мощности дозы от неконтролируемых выбросов с АЭС может быть точно установлено, как только доза превысит величину сигнального порога, значение которой заранее устанавливается в системе контроля:

$$A \leq D(x_m, 0), \quad (1)$$

где A - величина сигнального порога (Gp); $D(x_m, 0)$ - доза ($Зв$), обусловленная выбросами с АЭС в точке максимума (в данном случае вдоль оси X , исходящей от основания вентиляционной трубы) [1].

Если предположить самый неблагоприятный случай, т.е. если факел радиоактивного выброса пройдет точно между двумя детекторами (см. рис.), то можно рассчитать расстояние от середины облака до точки измерения, в которой возникшая субмерсионная мощность дозы D точно соответствует заданному сигнальному порогу $L_{\text{детектора}}$.

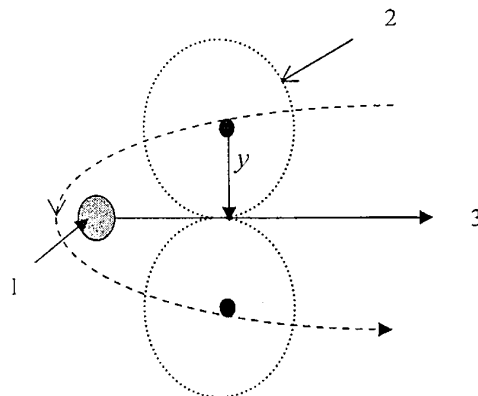


Рис. К определению радиуса области детектирования: 1 – вентиляционная труба; 2 – область детектирования; 3 – направление ветра; y – радиус области детектирования

Значение сигнального порога L должно быть установлено так, чтобы можно было точно подтвердить превышение мощности дозы над фоном. В нашем

случае для сигнального порога (L) выбрана величина мощности дозы, равная 100 $\mu\text{Р}/\text{час}$ (приблизительно в 10 раз выше естественного фона). Время экспозиции принимается равным одному часу. Расстояние упредставляет таким образом радиус так называемой области детектирования детектора.

Эту область можно определить из условия (1), причем для расчета максимальной дозовой нагрузки принимаются следующие допущения:

- несмотря на то, что поступление радионуклидов через желудочно-кишечный тракт является причиной возникновения самых высоких доз, тем не менее облучение можно предотвратить, отказавшись от употребления продуктов питания и питьевой воды из зараженной области;
- прямым гамма-излучением от выброса, явившегося причиной облучения населения, проживающего вокруг АЭС, можно пренебречь по сравнению с субмерсионной дозой и дозой от ингаляции приземного воздуха [2];
- поскольку уровень защиты должен быть установлен для введения срочных мер, то следует учитывать только непродолжительное облучение. Поэтому доза, полученная вследствие отложения в почве нуклидов, по сравнению с субмерсионной нагрузкой и дозой, вызванной ингаляцией, может не учитываться, так как ее действие проявляется лишь после длительного пребывания нуклидов в почве;
- из результатов исследований аварийных ситуаций, проведенных для серийных атомных электростанций, следует, что радиоактивные благородные газы сами по себе не представляют непосредственной опасности для проживающего вокруг АЭС населения;
- при исследовании влияния на различные органы тела вклада дозы от различных продуктов деления из общей дозы, полученной при ингаляции, стало ясно, что йод-131 ($I-131$) и щитовидная железа являются критическим нуклидом и критическим органом [3].

На основе этих допущений [1] выражение (1) можно представить в виде

$$A_s = D_{I-131}(x_m, 0), \quad (2)$$

где A_s – доза, приходящаяся на щитовидную железу, $Зв$; $D_{I-131}(x_m, 0)$ – максимальная доза, обусловленная ингаляцией $I-131$, приходящаяся на щитовидную железу, $Зв$.

Таким образом:

$$Ds[x, y, Q_s(t)] = K_s^I \quad (3)$$

где $K_s^I = 7,5 \cdot 10^{-10}$ $\frac{Зв \cdot м^3}{Бк \cdot с}$ – коэффициент при ингаляции $I-131$ для щитовидной железы детей; $q\left(t - \frac{x}{u}\right)$ – интенсивность выброса $I-131$ к моменту

времени $t - \frac{x}{u}$, Бк/с; u – скорость ветра, м/с; $S(t)$ – класс стабильности; T – продолжительность эмиссии, час;

$$F[x, y, 0, S(t)] = , \quad (4)$$

где H_0 – высота эмиссии; σ_y , σ_z – вертикальный и горизонтальный параметры дисперсии.

Уравнение (3) можно записать иначе:

$$D_{I-131}[x, y, 0, s(t)] = \int_0^T \frac{q\left(t - \frac{x}{u}\right)}{u} F[x, y, 0, S(t)] dt, \quad (5)$$

где

$$\frac{M}{Bk(c)}$$

Величина F представляет собой нормированную на единицу интенсивности выброса и скорости ветра ингаляционную нагрузку на щитовидную железу, имеющую для классов стабильности от А до F различные максимальные значения для различных высот эмиссии.

Мощность гамма-субмерсионной дозы [1] определяется по формуле

$$D^s[x, y, 0, s(t)] = (q(t - x/u)) / u \cdot F[x, y, 0, s(t)] \Gamma p/c, \quad (6)$$

где

$$r = \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2 + Z^2} -$$

- расстояние элемента объема радиоактивного факела в точке измерения $(x, y, 0)$; $\beta(\mu, r)$ - коэффициент накопления для гамма-излучения; μ - линейный коэффициент поглощения для воздуха.

Решение уравнения (6) по $q\left(t - \frac{x}{u}\right)$ и подстановка его в (5), а также замена в уравнении (5) величины $F[x, y, 0, s(t)]$ на $F[x_m, 0, 0]$ дает

$$D_{I-131}[x, y, 0, s(t)] = F(x_m, 0, 0) \int_0^T \frac{D[(x, y, 0, s(t))]}{\chi[x, y, 0, s(t)]} dt. \quad (7)$$

Полагая, что в течение выброса погодные условия не меняются, с помощью (2) получим

$$\Lambda_s \quad (8)$$

Если принять $D^s=L$, причем L означает сигнальный порог детектора, а x заменить на d (расстояние от детектора до точки выброса) и y на w (радиус области детектирования детектора), то получим

$$w_{\max} = \left\{ \varphi \left(\frac{F(x_m, 0, 0)LT}{\Lambda_s} d, s \right) \right\}_m, \quad (9)$$

где φ означает обратную функцию.

Нами была рассчитана величина w , в расчетах принимались погодные условия категории А как наиболее неблагоприятные (консервативный подход).

Максимум w приходится на расстояние 400 м, т.е. детектор будет фиксировать прохождение радиоактивного облака в области радиусом до 400 м.

Ранее было показано [4], что с учетом климатических условий района размещения Армянской АЭС и технологических параметров выбросов газозвдушной смеси расстояние от вентиляционной трубы, на котором приземная концентрация радиоактивных аэрозолей максимальна, составляет ~2200 м (параметр d). Именно на таком расстоянии от АЭС следует устанавливать дозиметры ERM³.

Заклучение. Если такие детекторы расположить по окружности радиусом 2200 м, то для гарантированной регистрации прохождения облака (с учетом того, что радиус области детектирования был определен равным 400 м) минимальное их число будет равно 16.

При этих параметрах, в случае повышенного выброса в вентиляционную трубу, можно определить направление движения выброса и радиационную обстановку в азимуте его движения, что позволит с высокой точностью прогнозировать радиационную обстановку на более удаленные расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кюммель М.** Разработка оптимальной сети измерений для проведения контроля окружающей среды на АЭС // Сборник докладов научно-технической конференции СЭВ "Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС". - Вильнюс, май 1982. - Книга 5. - С. 78-89.
2. Модель прогноза дозы внешнего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях / **Е.А. Иванов, А.В. Носовский, Т.В. Рамзина** и др. // Актуальные вопросы ретроспективной, текущей и прогнозной дозиметрии облучения в результате Чернобыльской аварии: Материалы научной конференции (27-29 окт. 1992 г.). - Киев, 1993. - С.52-58.

3. Источники и действие ионизирующей радиации: Доклад НКДАР ООН по действию атомной радиации за 1977 г. на Генеральной Ассамблее с приложением в трех томах. ООХ. -Т. 1. – Нью-Йорк, 1978.
4. **Atoyan V., Mkrtchyan N., Khacatryan G.** Estimation of Radiation Influence of the NPP on Environment on a Background of Global Radioactive Sedimentation // International Conference Unification and Optimization of Radiation Monitoring on NPP Location Regions, September 22-26, 2004. - Armenia, Yerevan, 2004.-P.42-46.

ЗАО НИИ “Арматом”, ЗАО ААЭС.Материал поступил в редакцию 10.04.2012.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Կ.Ի. ՓՅՈՒՍԿՅՈՒԼՅԱՆ, Մ.Գ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԱԷԿ-ԻՆ ՀԱՐՈՂ ՏԱՐԱԾՔԻ ՃԱՌԱԳԱՅԹԱՀԱՐՄԱՆ
ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ**

Կառուցված է ատոմային կայանի տեղակայման շրջանում շրջակա միջավայրի ռադիացիոն վերահսկման օպտիմալացման ալգորիթմը՝ հնարավորինս փոքր ծախսերով: Ընդ որում, ընտրված են ռադիացիոն իրավիճակի դիտարկման առավել ինֆորմատիվ կետերը: Որոշված է դիտարկման գոտու մեծությունը, որի սահմաններից դուրս վերահսկումը նոր տեղեկություն չի տալիս շրջակա միջավայրի ռադիացիոն պարամետրերի վերաբերյալ:

Առանցքային բառեր.դոզիմետր, դիտարկման գոտի, ռադիացիոն վերահսկում, օպտիմալացում, ռադիացիոն արտանետում, ազդանշանային շեմ:

V.G. PETROSYAN, K.I. PYUSKYULYAN, M.G. VARDANYAN

**OPTIMIZATION OF RADIATION MONITORING IN THE AREA
OF ARMENIAN NPP**

An algorithm of environment radiation optimization monitoring in the area of nuclear power plant location is developed with the least possible expenses. The most informative points of radiation conditions control are selected. The extent of the control area is specified beyond which the monitoring does not provide new information on radiation parameters of the environment.

Keywords: dosimeter, control area, radiation monitoring, optimization, radiation release, alarm threshold.

В.К. АБРАМЯН, С.Н. ЕНГИБАРЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕКАНИЯ ЗАРЯДОВ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ В НАКОПИТЕЛЬНЫХ ЕМКОСТЯХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ “ГАЗ – ТВЕРДАЯ ФАЗА”

Теоретически обоснованы условия стекания электростатических зарядов порошкообразных продуктов, обладающих конечной электропроводностью в бункерах двухфазных систем “газ – твердая фаза”. Показано, что расчетные данные потенциала порошка хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Доказано, что условия стекания зарядов большой массы порошкообразного продукта в бункерах, в конечном итоге, определяют потенциальную искроопасность “статического электричества”.

Ключевые слова: моделирование, стекание, заряд, порошкообразный продукт, статическое электричество, искроопасность.

В потенциально опасных процессах обработки, переработки и транспортировки порошкообразных продуктов важное значение имеет оценка влияния электропроводности продуктов и аэродинамики технологического процесса на степень накопления зарядов, что в конечном итоге определяет искроопасность “статического электричества”.

С этой целью осуществляется разрядка заряженной шарообразной частицы при контакте с металлической заземленной поверхностью рабочего объема аппарата (рис. 1) и заряженной массы порошкообразного продукта в бункерах дисперсной системы “газ – твердая фаза” (рис. 2). В общем случае разрядка образца частицы происходит по уравнению

$$\frac{dq}{dt} = -\beta q, \quad (1)$$

где коэффициент β характеризует электропроводность образца и условия утечки заряда.

Вводя понятие среднего поверхностного потенциала на образце U_{cp} по методу Хоу [1], получим

$$U_{cp} = \frac{q_{\text{ч}}}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_{\text{ч}}} \left(1 - \frac{r_{\text{ч}}}{2h}\right), \quad (2)$$

где h – расстояние от металлической поверхности до точки среднего потенциала.

Расчеты показывают, что если место этой точки выбирать по окружности, проходящей по середине образца, то ошибка составит не более 1 %. Сопrotивление элементарного пояса поверхности образца (рис.1) шириной ΔX равно

$$\Delta R = \frac{\Delta x p_s}{2\pi A B \sin \alpha} = \frac{p_s r}{2\pi} \cdot \frac{\Delta x}{x(2r-x)} \quad (3)$$

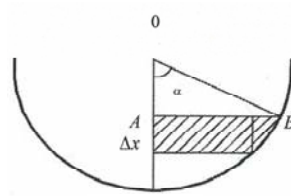


Рис. 1

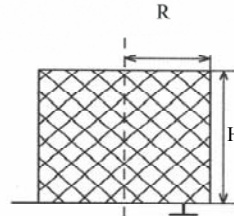


Рис. 2

Тогда сопротивление утечки R после интегрирования от x_0 до r_q ($x_0 \ll 2r_q$) будет

$$R = \frac{\rho_s}{4\pi} \ln \frac{2r_q}{x_0}, \quad (4)$$

где x_0 - глубина соприкосновения образца в металл, определяемая по теории Герца [2]. В соответствии с этой теорией имеем

$$\ln \frac{2r_v}{x_0} = \ln \frac{\pi}{k w_q^{0.8}}, \quad (5)$$

где k - постоянная для данных контактирующих тел; w_q - вертикальная составляющая скорости движения образца до вхождения в контакт.

В этих условиях время полуразрядки заряженного образца составит

$$t_{\frac{1}{2}} = 0.69 \rho_s \varepsilon_0 \varepsilon d_q \ln \frac{\pi}{k_0 w_q^{0.8}}, \quad (6)$$

а значение β в (1):

$$\beta = \frac{1}{RC} = \left(\rho_s \varepsilon_0 \varepsilon d_q \ln \left[\frac{\pi}{k_0 w_q^{0.8}} \right] \right)^{-1}. \quad (7)$$

Полученное теоретическое значение β удовлетворительно согласуется с экспериментальным значением и для хороших диэлектриков составляет $\sim 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ (см. табл.).

Таблица

Экспериментальные значения коэффициента поверхностной электропроводности $\beta = 1/RC$ и времени полуразряда $t_{1/2}$ монолитных шарообразных заряженных образцов, покоящихся на заземленной металлической поверхности

Фторопластовый шарообразный образец диаметром 4,0 мм				
$\beta (+) ; C^{-1}$	$\beta (+) ; C^{-1}$	$t_{1/2}C^{-1}$	$t_{1/2}C^{-1}$	$t_{1/2}$ по формуле (6)
Положительный заряд(+)	Отрицательный заряд(-)	(+)	(-)	
$\beta = 6,3 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 11,25 \cdot 10^{-10} Кл$	$\beta = 5,45 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 12,3 \cdot 10^{-10} Кл$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,26 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^3$
$\beta = 11,9 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 15,75 \cdot 10^{-10} Кл$	$\beta = 6,2 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 16,75 \cdot 10^{-10} Кл$	$0,58 \cdot 10^3$	$1,11 \cdot 10^3$	
$\beta = 0,39 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 19,5 \cdot 10^{-10} Кл$	$\beta = 0,835 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 13,05 \cdot 10^{-10} Кл$	$17,75 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^3$	
$\beta = 3,14 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 4,69 \cdot 10^{-9} Кл$	$\beta = 3,3 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 15,75 \cdot 10^{-10} Кл$	$0,22 \cdot 10^3$	$0,21 \cdot 10^3$	
Полистирольный шарообразный образец диаметром 6,0 мм				
$\beta = 0,4 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 18,56 \cdot 10^{-10} Кл$	$\beta = 3,3 \cdot 10^{-4}$ $q_o = 17,1 \cdot 10^{-10} Кл$			

Средний потенциал заряженной массы относительно заземленной металлической поверхности U_{cp} (рис. 2) согласно Хоу равен

$$U_{cp} = \frac{\rho_v H}{2\epsilon_0 \epsilon} (R + H - \sqrt{R^2 + H^2}) \quad (8)$$

где ρ_v - удельный объемный заряд осажденной массы продукта. Тогда емкость системы будет

$$C = \frac{q}{U_{cp}} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon R^2}{R + H - \sqrt{R^2 + H^2}}, \quad (9)$$

а сопротивление утечки:

$$R_{UT} = \frac{H\epsilon_v}{2\pi R^2}. \quad (10)$$

Время, необходимое для разрядки заряженной массы продукта до значения заряда $q_k = q_0 \cdot n_1$, где $n < 1$, будет

$$t_n = RC \ln n = \frac{\epsilon_0 \epsilon \rho_v}{\frac{R}{H} + 1 - \sqrt{\frac{R^2}{H^2} + 1}} \cdot \ln n. \quad (11)$$

Рассмотрим три характерных случая:

а) при $R = H$:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\epsilon_0 \epsilon P_V}{0,59}, \quad (12)$$

т.е. время разрядки не зависит от размеров осажденного слоя;

б) при $R \gg H$:

$$t_n = \epsilon_0 \epsilon \rho_v \ln n. \quad (13)$$

Получена известная формула релаксации зарядов заряженных тел. Такое совпадение не является случайным, так как при $R \gg H$ практически вся поверхность тела оказывается заземленной, и утечка заряда со всей поверхности по всем направлениям является равновероятной;

в) при $R \ll H$:

$$t_n = \frac{\epsilon_0 \rho_v}{1 - 1} \rightarrow \infty. \quad (14)$$

Это случай разрядки бесконечно длинной тонкой нити, конец которой заземлен.

Данная формула вполне логичное объяснение.

Полученное выражение можно использовать для определения скорости утечки зарядов в накопительных емкостях (бункерах) дисперсной системы “газ – твердая фаза” при обработке и транспортировке порошкообразных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы расчета электростатических полей / **Н.Н. Миролюбов, М.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.И. Тихомиров** и др. - М.: Высшая школа, 1963. - 415 с.
2. **Гольдсмит В., Шар.** Теория и физические свойства соударяющихся тел. - М.: Изд-во по строит. и арх., 1969. - 418 с.

Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА. Материал поступил в редакцию 12.12.2011.

Վ.Ղ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Ս.Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ

<<ԳԱԶ –

**ՊԻՆԴՖԱԶ>> ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿՈՒՏԱԿԱՐԱՆԻ ՓՈՇԵՆՄԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԼԻՑՔԵՐԻ ՀՈՍ
ԱԿՈՐՍՏԻ ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Տեսականորեն հիմնավորված են “գազ-սինդիազ” երկֆազ համակարգի կուտակարանի՝ վերջնական էլեկտրահաղորդականությամբ ժողոված փոշենման նյութերի էլեկտրաստատիկ լիցքերի հոսակորստի պայմանները: Ցույց է տրված, որ փոշենման նյութի պոտենցիալի հաշվարկային տվյալները վաղեմի համաձայնեցվում փորձական ճանապարհով որոշված արդյունքների հետ: Ապացուցված է, որ կուտակարանի՝ մեծ զանգվածով փոշենման նյութերի լիցքերի հոսակորստի պայմանները, վերջին հաշվով, որոշում են “ստատիկական էլեկտրականության” կայծավտանգվիճակը:

Առանցքային բառեր. մոդելավորում, հոսակորուստ, լիցք, փոշենման նյութ, ստատիկ էլեկտրականություն, կայծավտանգություն:

V.K. ABRAHAMYAN, S.N. YENGIBARYAN

**MODELING THE PROCESS OF CHARGE LEAKAGE OF POWDERY PRODUCTS
IN A BUNKER OF TWO-PHASE SYSTEMS “GAS - SOLID PHASE”**

The conditions of electrostatic charges leakage of powdery products having final electroconductivity in bunkers of two-phase systems “gas – solid phase” are theoretically grounded. It is shown that the design values (data) of the potential of the powder fit well the experimental results. It is proved that the conditions of heavy load charge leakage of powdered products in bunkers, in the final analysis, are defined by the potential spark danger of “static electricity”.

Keywords: modeling, leakage, charge, powdery, static electricity, spark danger.

М.Г. АЗАРЯН

**ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ С НАНОМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ В
ШИРОКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ**

Предлагается простой способ осуществления линейного позиционирования с нанометровой точностью в динамическом диапазоне, не имеющем принципиального ограничения. Приведены экспериментальные результаты, демонстрирующие нанометровые шаговые перемещения в динамическом диапазоне, превосходящем шаг в 10^7 раз.

Ключевые слова: линейное позиционирование, радиус спирали, преобразователь вращения в линейное перемещение, стенд, нанометровые шаговые перемещения, динамический диапазон.

Введение. Нанотехнологические исследования предполагают наличие технических способов и средств, позволяющих синтезировать, наблюдать, активно исследовать и манипулировать наноразмерными структурными объектами. Это обстоятельство выдвигает специфичную техническую задачу по реализации многократных и повторяемых перемещений от одной структурной единицы к другой с возможностью фиксации у каждой. При этом диапазон перемещений в X, Y - плоскости, задающий площадь обзора исследуемой поверхности (ИП), может простирается от $мм$ до $см$ (например, в микроэлектронике).

Работа зондовых микроскопов (ЗМ) – пожалуй, самых совершенных и востребованных приборов для нанотехнологии, неразрывно связана с подобными трехмерными пространственными перемещениями кончика используемого зонда относительно ИП [1-3]. В них для обеспечения наноперемещений используются наиболее приемлемые и отработанные на сегодняшний день движители – пьезоэлементы. Пьезопроводы, управляемые электрическим напряжением, принципиально позволяют совершать очень малые элементарные перемещения (шаги) [4].

Не так давно задаваемые пьезосканерами размеры сканируемых областей в ЗМ были относительно малы ($\sim мкм$), и для расширения области исследуемого обзора ИП необходимо было последовательное перемещение области сканирования в смежные участки (из таких отдельных отсканированных областей может составляться картина всей ИП). Такие перемещения реализуются достаточно сложными конструкциями [5-6]. Однако их работа не всегда надежна – она зависит от ориентации в пространстве перемещаемого объекта, формы управляющих сигналов, поступающих на пьезопровод, качества трущихся поверхностей рабочих элементов ИД [7]. Это приводит к тому, что даже при удачном конструиро-

вании повторяемость перемещений нестабильна, и со временем их функциональность ухудшается. На сегодня разработаны сканирующие системы с пьезоприводом, позволяющие исследовать с атомарным разрешением области с линейными размерами в сотни микрометров (например, 3M AIST-NT). Уже известны фирмы, специализирующиеся на производстве миниатюрных пьезодвигателей, обеспечивающих динамический диапазон позиционирования в 20 мкм с шагом 50 нм [8]. Однако не всегда и не все исследовательские коллективы обладают финансовой возможностью для приобретения такой техники. В силу отмеченных обстоятельств поиск новых (возможно, более доступных для исследовательских лабораторий) технических решений поставленной задачи представляется вполне обоснованным.

Принципы, заложенные в функционирование стенда. Предлагается описание лабораторного испытательского стенда, демонстрирующего принципиальную возможность многократного и повторяемого линейного перемещения (шаг ~ 4 нм) в обоих направлениях на расстояния, превосходящие сам шаг в 10^7 раз.

В основе функционирования ключевого узла стенда лежит простая идея. В шаговом двигателе (ШД) любую фиксированную позицию вращающегося вала ШД можно многократно повторять. Провернуть же из фиксированного положения вал ШД возможно лишь при подаче напряжения, превышающего определенный пороговый уровень, т.е. достигнутая позиция неизменна в пассивном состоянии ШД. Такой ШД-привод, используя некий механизм трансформации угла (Θ) вращения вала ШД в линейное перемещение (Δ) (преобразователь – Θ/Δ), может осуществлять и повторяемое линейное позиционирование.

В этом ключевом узле главная "роль" принадлежит разработанному и реализованному специальному преобразователю – Θ/Δ . Именно он обеспечил отмеченные выше параметры позиционирования.

Функционирование преобразователя основано на том, что радиус рулона r ленты толщиной d при вращении несущего рулон вала с каждым оборотом изменяется на d , а знак изменения зависит от направления вращения.

На рис. 1 приведено схематическое изображение ключевого узла стенда, в котором были проведены экспериментальные испытания выдвинутой идеи.

Рисунок иллюстрирует как работу преобразователя, так и узел регистрации результирующего линейного перемещения. Как видно из рисунка, упор регистрирует изменение радиуса рулона, формируемого на ведущем вале. Шток (с упором) же может служить одновременно и приводом нужного линейного перемещения.

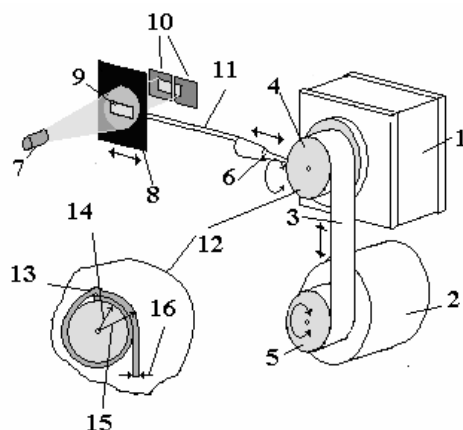


Рис. 1. Иллюстрация работы стенда: 1 – шаговый двигатель, 2 - микродвигатель, 3 - лента, 4 - бобина 1, 5 - бобина 2, 6 - упор, 7 - излучатель, 8 - шторка, 9 - прорезь, 10 - рабочие площадки фотоприемника, 11 - шток, связывающий упор со шторкой, 12 - вал, на котором формируется ленточный рулон, 13 - первичное утолщение, 14 - радиус r_o вала, на котором формируется рулон, 15 - $r=r_o+2d$ - прирост радиуса после одного оборота вала, 16 - d ленты

Для осуществления этого перемещения в обоих направлениях в таком преобразователе необходимо предусмотреть (компактный) узел обеспечения многократной возможности как намотки, так и размотки ленты с рулона. Отслеживаемый изменяющийся радиус r рулона с этой бобины 1 собственно и есть преобразователь вращения в линейное перемещение. Микродвигатель (МД) постоянного тока обеспечивает необходимый натяг ленты и когда направление вращения таково, что на бобину 1 (закреплена на вале ШД) производится намотка, и когда обратное – размотка с нее. При изменении вращения вала ШД на обратное необходимо обеспечить теперь уже намотку ленты на закрепленную на вале МД бобину 2. Для этого на МД всегда поддерживается управляющее напряжение $U_{м.д}$ того знака, при котором на бобину 2 лента должна наматываться. Величина $U_{м.д}$ подобрана так, что развиваемый ШД крутящий момент всегда превосходит крутящий момент МД. В этом ключевом узле ШД ведущий, а МД – ведомый.

Регистрирующий узел сформирован излучателем и подвижной шторкой с прямоугольной прорезью, которая формирует световое пятно. Площадь этого пятна несколько меньше суммы рабочих площадок фотоприемника (ФП) и перекрывает обе эти смежно расположенные площадки. Шторка жестко связана с упором (в стенде – наконечник от шариковой ручки), упруго прижимаемым к поверхности рулона бобины 1. Усиленный разностный сигнал U_p с этих площадок пропорционален перемещению светового пятна по рабочим поверхностям ФП.

Испытательский стенд компьютеризирован. Для сопряжения стенда с компьютером использовались компьютерные карты NI 6221 и Advantech 1723. Взаимодействие со стендом осуществляется посредством виртуального исследовательского прибора, созданного в программной среде LabVIEW. Он обеспечивает: ручное инициирование каждого шага ШД, непрерывный режим его вращения, изменение направления движения, при необходимости, отображение (на графопостроителе прибора) зависимости U_p от количества шагов, совершенных ШД, и запись его в файл.

Обсуждение результатов. На рис. 2 приведены полученные типичные экспериментальные зависимости прямого и обратного ходов.

Повторяющиеся пики на кривых 1,2,3,4 рис. 2а отображают периодичность прохождения (под упором регистрирующей системы) поверхности того сектора рулона вращающейся бобины, в котором формируется достаточно резкий "скачок" d . Его образование связано с некоторым изначальным локальным утолщением на первом слое формируемого лентового рулона. Из-за круглой формы исходного вала возрастание радиуса рулона происходит скачкообразно (см. поясняющую вкладку на рис. 1). По мере увеличения слоев намотки этот пик "размывается" (кривые 3 и 4 иллюстрируют сказанное). Сам ход кривых на повторяющихся отрезках (прямой - 1,3 и обратной - 2,4) зависимостей незначительно отличается друг от друга. Это можно приписать несовершенству механического взаимодействия шарика упора с податливым материалом используемой здесь ленты (магнитофонная лента). Используемая пленка имела толщину $d=1,5$ мкм, значит, расстояние по оси ординат между пиками пропорционально 1,5 мкм.

На графике приведена также кривая, полученная независимой калибровкой (с использованием стрелочного микрометра) регистрирующего узла. Сравнение с ней демонстрирует, что, на самом деле, расстояние между пиками равно 1,5 мкм.

Некоторая негладкость хода между скачками, по всей вероятности, связана с несовершенством созданных в лабораторных условиях узлов стенда. Вместе с тем даже такой макет позиционера уже может быть использован, например, в зондовых микроскопах в качестве двигателя для быстрого предварительного подвода зонда к исследуемой поверхности и ввода в область "захвата" обратной связью микроскопа (например, в лабораторном туннельно-токовом стенде **Z**-динамический диапазон пьезосканера порядка 1 мкм [9]).

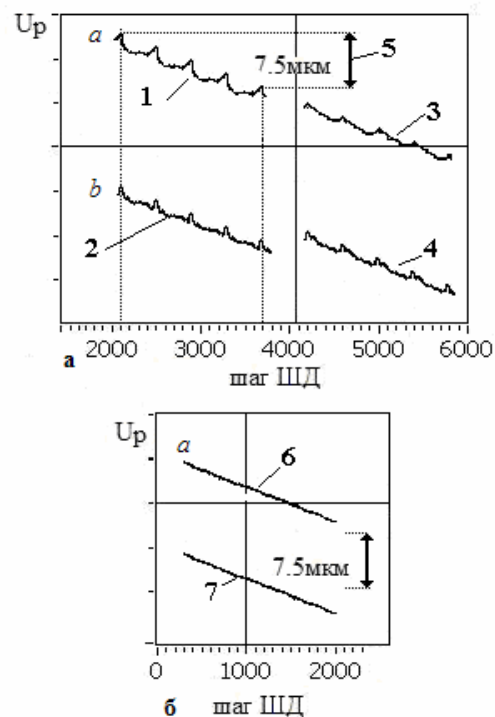


Рис. 2. Зависимости U_p (шаг ШД), полученные при прямом (а) и обратном (б) направлениях вращения ШД: 1,2 - прямая и обратная зависимости при невысоком количестве сформированных слоев рулона; 3,4 - прямая и обратная зависимости при большем количестве сформированных слоев (форма вала - окружность); 5 - калибровочная кривая, 6,7 - прямая и обратная зависимости (форма вала приближена к спиралевидной)

С целью придания исходному валу рулона формы, близкой к спиралевидной, используя акриловый клей в качестве тонкослойного наполнителя с соответствующей визуальной коррекцией его толщины, была проведена предварительная формовка первого слоя рулона. Результат испытания уже с таким самодельным валом приведен на рис. 2б. Он демонстрирует значительно улучшенную характеристику.

Если форма исходного вала, на котором формируется рулон (бобина 1), спиралевидна, то элементарное изменение $\Delta r = d/n$ (n – число "шагов" ШД, необходимое для поворота вала на 360°). Так как количество шагов, обеспечивающее один оборот стенового ШД, равно 386, то можно ожидать, что один шаг приводит к перемещению в среднем на $0,004 \text{ мкм}$ ($1,5 \text{ мкм}/386$). Для фактической регистрации подобных нанометровых изменений требуется значительное усовер-

шенствование электронного усилителя для U_p . На наш взгляд, такая работа (в данном случае – испытание самой идеи) не обязательна, так как простота логики функционирования стенда самодостаточна для подтверждения столь рекордного значения шага.

Естественно, повторяемость шага такого масштаба задается однородностью используемой ленты (в смысле отклонений толщины d вдоль длины используемой ленты) и плотностью намотки на ведущую бобину.

Выводы. Функциональность созданного в лабораторных условиях такого позиционера с наномасштабным шагом перемещения подтверждена экспериментально. При соответствующей технологии разработки всех ответственных узлов приведенного механизма (например, отработка формирования исходного вала в виде спирали) можно будет создать более совершенный позиционер на таком принципе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдельман В.С. Сканирующая туннельная микроскопия // ПТЭ. - 1989.- 5.- С.25-49.
2. Быков В.А. Приборы и методы сканирующей зондовой микроскопии для исследований и модификации поверхностей: Дис. ...докт.техн.наук.- М., 2000.-393с.
3. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2006. - 159с.
4. Сканирующий туннельный микроскоп на основе монолитного пьезоэлемента крестообразного сечения / В.К. Адамчук, А.В Ермаков, И.В Любинецкий и др.// ПТЭ.- 1989. -5.- С.182-184.
5. А.с.SU,1541741 А1. Пьезоэлектрическое устройство перемещения / А.О. Голубок, Д.Н. Давыдов, В.А. Тимофеев, С.Я. Типисцев. - 1988.
6. An ultrahigh scanning tunneling microscope for surface studies / D.M. Zeglinski, D.F. Ogletree, Jr T.P. Beebe et al // Rev.Sci. Instrum. –1990.–61, No12.-P.3769-3774.
7. Azaryan M.H. Device for investigation of semiconductor nanostructures // Proc. of the third National Conf.10-12 September.- Sevan,2001.-P. 283-288.
8. Самарин А.А. Миниатюрные линейные пьезоэлектрические двигатели // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. - 2006. – N10.- С.310.
9. Азарян М.Г. Реализация микроскопирования в лабораторном туннельно-токовом стенде // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН.- 2009.- Т.62, N4.-С. 441-449.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 12.05.2012.

Մ.Հ. ԱԶԱՐՅԱՆ

ԼԱՅՆ ԴԻՆԱՄԻԿ ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ ՆԱՆՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ՃՇՏՈՒԹՅԱՄԲ
ԴԻՐՔԱՎՈՐՈՒՄ

Ներկայացված է պարզ եղանակ՝ իրականացնելու համար գծային տարածական դիրքավորում, որի դինամիկ տիրույթը սկզբունքորեն չունի արգելակում: Բերված են փորձնական արդյունքներ, որոնք ցուցադրում են նանոմետրական քայլերով տեղափոխություն դինամիկ տիրույթում, որը գերազանցում է այդ քայլը 10^7 անգամ:

Առանցքային բառեր. Գծային դիրքավորում, պարույրի շառավիղ, պտույտ-գծային տեղափոխության փոխակերպիչ, ստենդ, նանոմետրական քայլային տեղաշարժումներ, դինամիկ տիրույթ:

M.H. AZARYAN

POSITIONING WITH NANOMETER ACCURACY IN VERY LARGE-SCALE
DYNAMIC RANGE

A simple method for linear positioning with nanometer accuracy in the dynamic range having no principal limiting is proposed. The testing bench based the law of variation for spiral radius change is described and realized. The experimental results exhibiting nanometer stepping transference in dynamic range exceeding the step by 10^7 times obtained by use of the bench are presented.

Keywords: linear positioning, spiral radius, method, bench, nanometer stepping transference, dynamic range.

L.A. MARTIROSYAN

A QUICK AREA ESTIMATION METHOD FOR RTL COMPILERS

A quick area estimation method for designs generated by RTL compilers which is based on polynomial interpolation is proposed. It is applied to in industrial RTL compilers. This paper shows that the processed method provides higher accuracy, than other quick area estimation methods for RTL compilers.

Keywords: RTL compiler, area, characteristic, parameter, polynomial interpolation.

Introduction. The use of memory cores in system-on-chip (SOC) designs is growing rapidly [1], and the design decisions, made early in the design process, effect the entire chip design process. Embedding many memory cores per chip helps create powerful SoCs suitable for today's memory-hungry applications, but it brings with it the problem of memory test and repair. Traditional approaches to memory test and repair do not effectively manage the complexity of today's SoCs and the soaring cost of test. To address these challenges, semiconductor IP vendors have introduced a new type of IP called infrastructure IP (IIP). IIP functions like mini testers embedded in a chip. Examples of IIP include built-in self-test (BIST), built-in repair-analysis (BIRA), built-in self-repair (BISR), and error correcting codes for embedded memories [2, 3]. Implementation of the infrastructure is done in a form of a hierarchy of RTL Compilers [4].

One of the most important quality characteristics of RTL descriptions generated by RTL compilers is the area [5]. The accurate area estimation method for RTL descriptions generated by RTL compilers is logic syntheses [6]. While providers of the commercial synthesis tools are increasingly focusing on SoC design, their tools usually implement a top-down approach that requires the SoC designer to fully define the function of a developed system, repeatedly decompose coarse-grained functions into smaller subfunctions, and then map them into the available library HW cores. Using such a methodology, the physical design characteristics can be estimated only in the final stages of design [7]. In case of RTL compilers, when many instances are generated, this method [6] is time consuming and inefficient. A fast area estimation tool is useful for near-immediate feedback of design feasibility and the effect of circuit modification [8]. There are a lot of works related to this issue. Paper [8] represents a method for fast, high-level area estimation using the constant-delay paradigm and a zero-slack algorithm, but as the characterization phase becomes more complicated, the current method of hand analysis quickly becomes too tedious and error-prone. Paper [9] represents a method which is based on use of the Boolean network concept, and defines an area complexity measure which is invariant across the different BN (Boolean Network) representations of the same design. The average error of this

method is 24.5%. Paper [10] proposes a methodology to estimate the circuit area, minimum and maximum leakage current, and maximum power-up current, introduced by leakage reduction using sleep transistor insertion, for any given logic function. Compared to time-consuming logic synthesis and gate level analysis, the average errors for circuits from a leading industrial design project are 23.59%. Paper [11] offers a method for area estimation, which is based on transforming the multi-output function to an equivalent single-output function. The average error in area estimation was 21.07%. Paper [12] represents an equation-based macro-modeling technique for high-level area and power estimation on FPGAs. Paper [13] proposes area and power estimation models for IP core based FPGA implementations. Using curve fitting and non-linear regression methods, the models derived. [12, 13] methods provide enough higher accuracy for area estimation of IP core based FPGA implementations. Previous works represent methods which are typical for different design with given high-level description. In [14] and [15] the author offers a better way to estimate the area of RTL compilers than the above mentioned ones. Paper [14] represents a quick area estimation method, which is based on regularity of structure of schemes generated by RTL compilers. This method is based on approximation. The author mentions that a variety of approximation types is available: linear interpolation, polynomial interpolation, the least square estimation, etc. In [14, 15] the linear interpolation is considered. The maximum achieved estimation error is 15%. Our aim is to reduce the maximum error. We would like to explore how the results would be in case of polynomial interpolation. Hence, in this paper we represent a quick area estimation method which is based on polynomial interpolation and the maximum estimation error is 10 %. This method provides higher accuracy than [14, 15].

1. Methodology. Paper [4] mentions that these RTL compilers are template based. They usually consist of templates that describe a parameterized hierarchy of modules and interfaces (interconnections) between them and a generation engine. The template input is a vector of input parameter values which defines features and a structure of design instances to be generated, and the output of the template is a RTL description with functionality corresponding to the given input.

Input parameters can be categorized by the following three types [4]:

- ***Functional***

These parameters control optional features/options of design. They affect the design structure by means of inclusion or exclusion of certain design components in the output RTL.

- ***External interface***

They parameterize HDL identifiers (module/wire/reg/instance) in a RTL description for customization of the generated RTL design to an external interface.

- ***Scalability***

These parameters affect the design structure by increase or decrease of certain design characteristics including but not limiting the register bit-width, number of

words (in memories), number of cores (e.g. in SoCs). The structural and functional changes of scheme are bringing to quality characteristics changes.

Paper [14] represents a quick area estimation method which is based on regularity of the structure of schemes generated by RTL compilers. There are functional dependencies between quality characteristic (in this case gate-count) of parameterized schemes generated by RTL compilers and input parameters. By finding out analytical representation we can estimate the area of scheme generated by RTL compilers for chosen values of parameters. As the analytical representation of function is unknown, [14] proposes to apply corresponding approximate function. The author mentions that a variety of approximation types is available: linear interpolation, polynomial interpolation, the least square estimation, etc. In [14, 15] papers the linear interpolation is considered. This paper shows that functional dependencies in case of some parameters are not linear. So for approximation of theme we use polynomial interpolation [16], which represents not linear dependence between argument and function. We added interpolation points to receive more exact approximate function. As a result, by adding interpolation points and applying polynomial interpolation, we processed a more accurate quick area estimation method for RTL compilers. The method has been applied to industrial RTL compilers and the maximum achieved generation error is 10%.

2. Test and Repair infrastructure for embedded memories. Fig. 1 shows a SoC which consists of STAR (Self Test and Repair) memory systems [2]. These test and repair systems are usually embedded on-chip to diagnose failed memory bits and repair the failed memory in real-time using the redundant resources (row or columns, or both) in the memory. It contains memories with wrappers, processors, server and fuse box. Each component has its own functional meaning [2, 3].

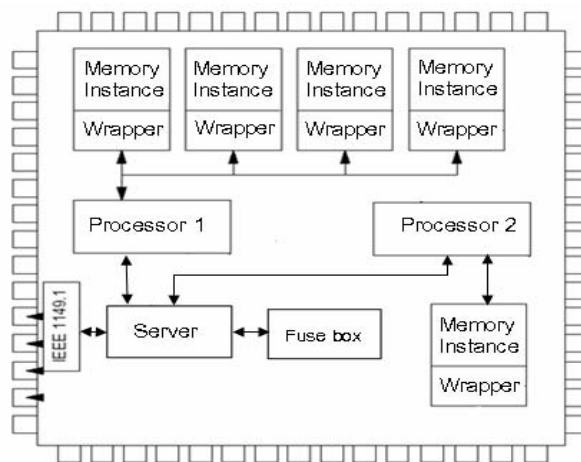


Fig.1. Test and Repair infrastructure

The wrapper contains address counters, registers, data comparators, and multiplexers [2]. It operates as an interface between processor and memory. The wrapper associated with each memory works with processor to perform memory test and repair as well as to allow normal memory functions.

Processor has key test and repair functions: a BIST(Built-In Self-Test)engine to create memory-specific test patterns; a BIST diagnostic engine to analyze and identify the failure; BIRA (Built-In Repair-Analysis), the repair and redundancy allocation logic with algorithms to reconfigure the memory rows; and columns to be topologically efficient post-repair. The processor enables test and repair possibility by using IEEE P1500 standard interface.

The fuse box stores memory reconfiguration signature. The contents of the fuse box correspond to the repair signature that is loaded into the corresponding memory for repair.

The server builds the top level design infrastructure utilizing low level processors, wrappers and memories.

In hierarchy of RTL compilers the modules of processor, wrapper and server are represented in the form of separate RTL compilers for each type of memory. Each specific instance of the infrastructure is defined via assignment of specific values to parameters of compilers and generates of components and subcomponents for each level [4].

Paper [14] mentions that by analyzing the structure of design some regularities (number of words, number of bits, etc.) are found, and the area of STAR Memory systems have dependencies on some of the memory input parameters. This regularity allows to process quick area estimation method for RTL compilers.

3. Implementation details. The method described in this paper has been applied to processor and wrapper modules of STAR Memory Systems, as the method described in [14, 15]. So we also figure out those parameters that cause drastic variations in numbers of gates for STAR Memory Processor and Wrapper compilers. Gate count of RTL compilers depends on functional and scalability parameters of STAR Memory systems.

Experimental results are obtained through logic synthesis using Synopsys DC [6]. The sets of parameter values are used as interpolation points. Experimental results confirm supposition that in case of some parameters researched dependencies are not linear. Corresponding approximate functions have been got after polynomial interpolation [16].

The experimental results are represented in instance of wrapper (Fig. 2).

As a result of polynomial interpolation, the obtained approximate functions are embedded in area estimation script represented in TCL language [14, 15]. In order to verify the accuracy of developed methodology, we used the method represented in [14, 15] (Fig. 3).

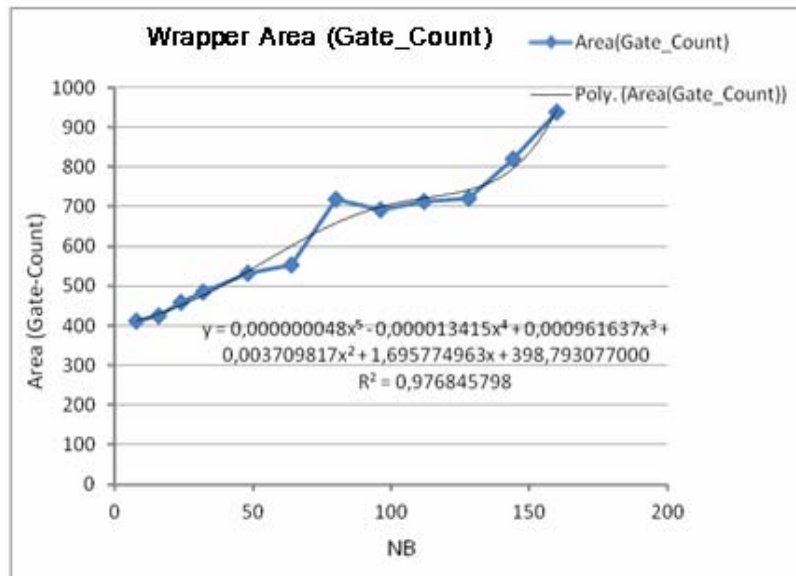


Fig.2. Wrapper's area dependency from NB parameter for SRAM type memory

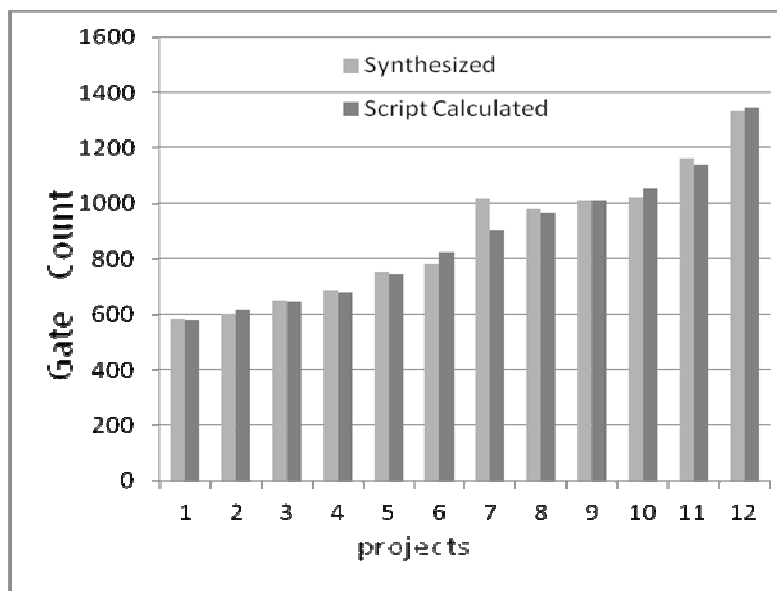


Fig.3. Wrapper area comparison chart in Synthesized and Script Calculated cases for SRAM type memory

Fig. 4 shows a script calculated (with polynomial and linear interpolation) and synthesized results comparison estimate, when the behavior of parameter is not linear. As it can be seen in those segments, where the behavior of parameter is not linear, polynomial interpolation makes more accurate approximation than linear interpolation. Hence, in those cases by using polynomial interpolation it will be possible to make more accurate area estimation.

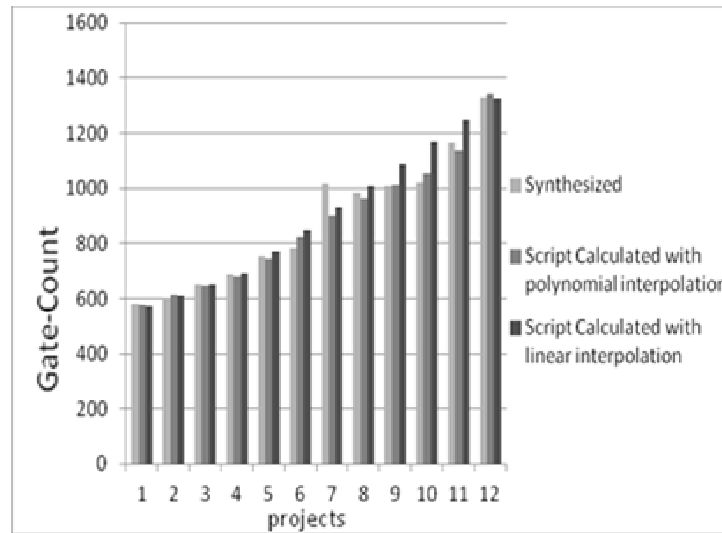


Fig.4. Wrapper area comparison chart in Synthesized and Script Calculated (with polynomial and linear interpolation) cases for SRAM type memory

Conclusion. The behavior of input parameters of RTL compilers is researched. It is shown, that in case of several parameters their behavior is not linear. A quick area estimation method is processed for RTL compilers of STAR memory systems, which is based on polynomial interpolation. This method compared with other quick area estimation methods [14, 15] for RTL compilers provides higher accuracy. The maximum generation error is achieved 10%.

REFERENCES

1. **Chin-Lung Su, Yi-Ting Yeh, Cheng-Wen Wu.** An Integrated ECC and Redundancy Repair Scheme for Memory Reliability Enhancement // 20th IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems (DFT'05). - 2005.
2. **Zorian Y., Shoukourian S.** Embedded-Memory test and repair: Infrastructure IP for SoC yield // IEEE Design and Test of Computers.-May-June 2003. - P. 58-66.
3. **Shoukourian S., Vardanian V., Zorian Y.** SoC yield optimization via embedded-memory test and repair infrastructure // IEEE Design and Test of Computers. - May, 2004.
4. **Margarian P. S.** An Approach for Automated Assertion Generation in Template Based RTL Compilers // Proceedings of the CSIT conference. - 2009. - P. 208-217.
5. **Kapoor B. and Murphy B.** Policy-Based RTL Design// IEEE 38th conference on Design automation. - 2001.
6. **Himanshu Bhatnagar.** Advanced ASIC Chip Synthesis Using Synopsys® Design Compiler™Physical Compiler™ and PrimeTime®. Second edition. - Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2002. -355p.
7. **Damasevičius R.** Estimation of Design Characteristics at RTL Modeling Level Using SystemC // Information technology and Control. - 2006. - Vol.35. - P. 117-123.
8. **Sheets M.** Exploration of a Fast Delay/Area Estimation Method //EE219b Semester Project. - May 16, 2000.
9. **Buyuksahin K. M., Najm F. N.** High-Level Area Estimation // Low Power Electronics and Design: International Symposium. - 2002.
10. **Fei Li, Lei He, Basile J., Patel R. J., Ramamurthy H.** High-Level Area and Current Estimation // International workshop. - Turin, Italy. - 2003.- Vol. 2799. - P. 259-268.
11. **Nemani M., Najm F. N.** High-Level Area and Power Estimation for VLSI Circuit // IEEE/ACM International Conference, ISSN: 1092-3152. - San Jose, CA, USA, 1997.
12. **Tianyi Jiang, Xiaoyong Tang, Prith Banerjee.**Macro-models for High Level Area and Power Estimation on FPGAs // Proceedings of the 14th ACM Great Lakes symposium on VLSI. - New York, USA, 2004.
13. **Lanping Deng, Kanwaldeep Sobti, Chaitali Chakrabarti.** Accurate Models For Estimating Area and Power of FPGA Implementations // ICASSP. - 2008. - P. 1417-1420.
14. **Ter-Galstyan A., Mosikyan A.** An Approach for Quick Area Estimation of Compiler Generated RTL // Proceedings of the CSIT conference, September 19-23, 2005.-Yerevan, Armenia, 2005. - P. 485-490.
15. **Ter-Galstyan A.** An Automation Method for Gate-Count Characterization of RTL Compilers // East-West Design & Test Workshop, September 15-19, 2006. - Sochi, Russia, 2006. - P. 313-316.
16. **Phillips G.M.** Interpolation and Approximation by Polynomia. - Springer, 2003. -327p.

SEUA (POLYTECHNIK).The material is received 09.02.2012.

Լ.Ա. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

RTL ԿՈՄՊԻԼԵՏԱՏՈՐՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՄԻ ԱՐԱԳ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ներկայացվում է RTL կոմպիլատորների միջոցով գեներացված RTL նկարագրությունների մակերեսի արագ գնահատման մեթոդ, որը հիմնված է պոլինոմիալ ինտերպոլյացիայի վրա: Այն փորձարկվել է արդյունաբերական RTL կոմպիլատորների վրա: Ցույց է տրվում, որ մշակված մեթոդը, համեմատած RTL կոմպիլատորների մակերեսի գնահատման այլ մեթոդների հետ, ապահովում է ավելի բարձր ճշտություն:

Առանցքային բառեր. RTL կոմպիլատոր, մակերես, բնութագիր, պարամետր, պոլինոմիալ ինտերպոլյացիա:

Л.А. МАРТИРОСЯН

МЕТОД БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ДЛЯ RTL КОМПИЛЯТОРОВ

Предлагается метод быстрой оценки площади схем, генерируемых RTL компиляторами, который основан на полиномиальной интерполяции. Метод был применен в промышленных RTL компиляторах. Показано, что разработанный метод обеспечивает более высокую точность по сравнению с другими методами быстрой оценки площади для RTL компиляторов.

Ключевые слова: RTL компилятор, площадь, характеристика, параметр, полиномиальная интерполяция.

V.SH. MELIKYAN, S.V. GAVRILOV, V.K. AHARONYAN, N.K. ASLANYAN,
A.S. HOVHANNISYAN

ON-DIE CMOS TERMINATION RESISTOR FOR USB TRANSMITTER

Nowadays moving termination resistor from outside onto die is very beneficial from view of minimizing noises and saving cost. In this work new voltage-controlled CMOS active resistor aimed at on-chip termination is proposed. With current-voltage and resistance-voltage characteristics showing that this on-chip active termination resistor has good linearity across a wide range, and being suitable for analog impedance control technique using a feedback loop it is proven that it could be applied for USB transmitter. It is obtained that compared to other MOS only on-chip active resistors the proposed new resistor ensures about 20% of better linearity.

Keywords: universal serial bus, termination resistor, transmitter, on-die termination, linearity.

Introduction. Unlike low speed systems, in Universal Serial Bus(USB) [1] and other high-speed microelectronic applications, passive circuit elements (interconnect wires, cables, etc) can significantly affect the output signal (representing data, instructions, control information, etc) quality. The influences on signal integrity caused by the signal reflections and induced crosstalk voltage in these passive elements could be reduced by proper termination of transmission line [2]. Typically, a termination device is implemented as a resistor that is coupled between a signal line and a power supply node or ground and is co-located externally on the printed circuit board (PCB) [3]. Although external resistor provides a well matched termination, this approach has important disadvantages. The discrete external resistors consume valuable area on the board they are located, besides they are unable to prevent reflections resulting from the interconnect stub lines to which the buffer is connected. If the parasitic bonding inductance is represented as L_{bond} through which transmitter passes the current, then $\Delta V = L_{bond} \cdot di/dt$ voltage will be induced. The transmitted signal will be distorted and affected by the effect of bonding wire[4]. Instead of having the off-chip resistive termination, the termination located inside the semiconductor chips – On-Die Termination (ODT) helps to overcome these challenges, because ODT resistors have better performance on frequency response, also in case of off-chip resistors output signal has peaking on certain frequency caused by bonding wire which is absent for ODT[5]. There are different ways to construct resistors on a CMOS Integrated circuits(IC). Large variation in resistance (about 30%) prevents the use of passive on-chip (such as poly-silicon) resistors[6]. On-chip laser

trimmed resistors are good but for trimming them it would be very time consuming and costly[7]. Another approach is to combine specifics of MOS transistors and polyresistor within one active resistor [8]. As mentioned the resistance of the voltage-controlled element can vary on process and temperature variations. In order to balance the obvious variations of processes and temperature, the digital control logic of impedance is widely used[9]. One of the disadvantages for this method is the step-like iterative adjustment. It can cause noise on the power buses if a large number of nodes are simultaneously switched. It could also affect on data sending and reception. Another disadvantage is that the correctness of the digital on-chip resistor depends on the number of legs(resistors) used.

Forming on-chip resistors with only MOS transistors and analog techniques for their control is more beneficial because usage of only MOS components makes the design and implementation easier and cheaper, while the analog control technique helps to adjust impedance autonomously without causing extra noises on the busses. In [10,11] floating-gate CMOS resistors are proposed, but the usage of floating gate transistors and the fact that provided resistance could be very high(achieving several hundred $k\Omega$ s) even in low voltage modes, make them not suitable for basic USB CMOS transmitter. In [12] an active resistor based on all pMOS structures is given, but in case of low voltages until about $0.6V$ it does not show good linearity[8] for USB target 45Ω termination impedance. Another disadvantage of this proposal is the absence of resistance adaptive control during circuit work time.

In this paper a new approach to form controllable termination resistors using MOS transistors located on the die aimed at USB and other high-speed systems as well is proposed. The novel schemes of both termination resistors and its analog control are presented. The resistor is made of MOS transistors with different input voltages. The termination resistor control scheme is based on usage of negative loop to adaptively control the transmitter impedance that is strong advantage compared to ways when the adjustment is performed iteratively step by step causing extra noises on supply and ground buses.

Proposed on-die resistor scheme. There are various ways of USB transmitter design. In [13] one separate single-ended transmitter for each data line is proposed. Another approach is to use a transmitter based on differential pair with two outputs. But according to [1] 45Ω termination resistor should be placed at the end of each transmission line to ensure proper termination and prevent ringing.

The proposed new scheme of the ODT resistor is shown in Fig. 1. The impedance is made of n-type MOS transistors controlled by separate gate voltages.

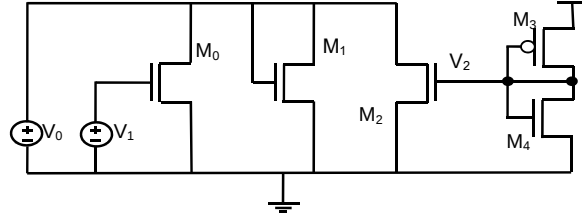


Fig. 1. Proposed MOS only active resistor

By changing the values of these input voltages correctly the necessary impedance value can be achieved. In case of $V_1 = 0$, M_0 is closed. Thus, the overall current is formed by ones passing through M_1 and M_2 . Because gate and drain of M_1 are shortened, $V_{GS1} = V_{DS}$ and if $V_{GS1}(V_{DS}) \geq V_{Thr}$ then it will operate in saturation region [6,14]. Otherwise if $V_{GS1}(V_{DS}) < V_{Thr}$ $I_1 = I_{DS1} = 0$. But when $V_{DS} < V_{GS2} - V_{Thr}$, M_2 operate in linear region [6,14]. Note, if $V_{GS2} \gg V_{Thr}$, so $(V_{GS2} - V_{Thr})V_{DS} \gg \frac{1}{2}V_{DS}^2$ approximation can be taken into account for linear region. And finally, for $V_{DS} < V_{Thr}$, the total current will be obtained as follows:

$$I = I_1 + I_2 = \mu_n C_{ox} \frac{W_2}{L_2} [(V_{GS2} - V_{Thr})V_{DS}]. \quad (1)$$

Hence the entire current is a linear function of V_{DS} . When $V_{Thr} < V_{DS} < V_{GS2} - V_{Thr}$ I_1 and I_2 are determined by equations characterizing saturation and linear regions of transistor correspondingly. And selecting the proper ratio of M_1 and M_2 , the V_{DS}^2 member can be omitted for total I . So it can be assumed as a linear function from V_{DS} too.

In case of $V_{DS} \geq V_{GS2} - V_{Thr}$ M_2 is in deep saturation with some approximation $I_2 = \text{constant}$. From simulation results it is assumed that with V_{DS} rise, I_1 increases almost linearly. So the sum of these two currents behaves linearly depending on V_0 as well.

Termination resistor control scheme. The on-chip transmitter termination scheme is shown in Fig. 2. It uses a negative feedback loop of the two-stage differential amplifier to adaptively control the transmitter impedance R_1 , R_2 through an identical MOS-only reference resistor R_{ref} .

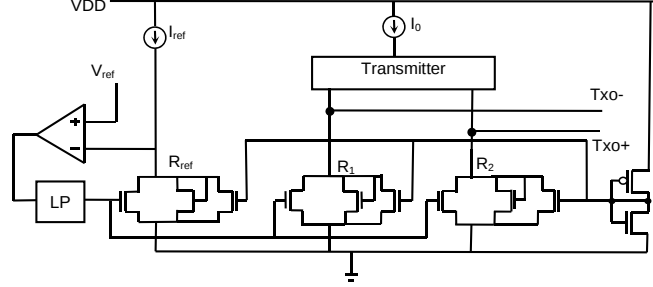


Fig. 2. Terminate resistor control scheme

Using I_{ref} , fixed current the value of the resistance can be determined by the voltage drop on R_{ref} . This voltage drop is compared with V_{ref} . With the help of the comparator using negative feedback loop, the output impedance of the transmitter will be changed to the value given in (2):

$$R = R_1 = R_2 = R_{ref} = \frac{V_{ref}}{I_{ref}}. \quad (2)$$

The varying range of the ODT resistance can be expressed as a function of operational amplifier gain A :

$$\frac{1 - \frac{1}{A}}{1 + \frac{1}{A}} < \frac{R}{R_{ref}} < \frac{1 + \frac{1}{A}}{1 - \frac{1}{A}}. \quad (3)$$

This result shows that the percentage error $(R - R_{ref}) / R_{ref}$ is proportional to $1/A$. Therefore, a high open-loop gain is required in order to better match the reference resistor. For example, when $A = 200$, from (3) yields that targeted resistance will be within 1% of reference impedance. In Fig. 2 LP is a low pass filter for avoiding oscillations in the feedback loop. The basic RC structure can be chosen for that purpose. In the compensation, open-loop small-signal gain is approximated as:

$$\frac{v_0}{v_i} \approx \frac{g_{m1}r_1}{(1 + s(r_1 \parallel R_C)C_1)} \frac{g_{m2}r_2}{(1 + sr_2C_2)} \frac{g_{m3}r_3}{(1 + sr_3C_3)} \frac{1}{[1 + s(R_C + r_1)(1 + g_{m2}r_2)C_C]}, \quad (4)$$

where $r_1(g_{m1})$ and $r_2(g_{m2})$ are small-signal (transconductance) for the differential input stage and the second stage of the operational amplifier, respectively, $r_3(g_{m3})$ is the smallsignal equivalent transconductance of output stage, and $r_1 \parallel R_C = r_1 R_C / (r_1 + R_C)$.

To evaluate the correct work of proposed resistor in low and full speed modes of USB, the transmitter circuit proposed in [13] was used. Two single ended transmitters were connected to each data line. The common structure of the used transmitter is shown in the Fig. 3.

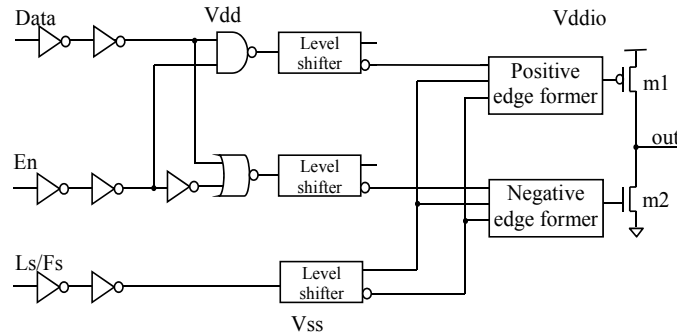


Fig. 3.USB transmitter used

Results. To get characteristics of the proposed on-die resistor, Synopsys HSPICE tool[15] and SAED 90nm library[16] were used. Here the behavior of resistor and simulation results in case of voltage parameters' and transistor sizes changes are discussed.

It was shown above that if the proper aspect ratio of M_1 and M_2 are selected, the total current of MOS-only resistor is approximately a linear function from V_0 at whole change interval. The got I-V characteristic for the resistor circuit with current components passing through each transistor is shown in Fig.4.

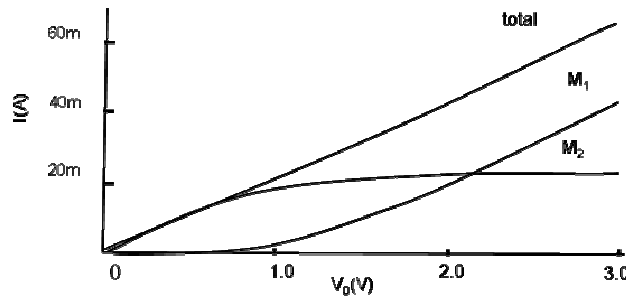


Fig. 4.The I-V curves of presented resistor, separate M_1 and M_2 transistors

Impedance of the resistor can be modified with V_1 change. If change V_1 as a parameter within the range 0 to 3V, the group of I-V curves will be get. When V_1 is smaller than threshold voltage $I_0 \approx 0$. With V_1 rise (1...3V), M_0 becomes open and the current passing through it will increase. Hence, the total current flowing through resistor would also increase as is in Fig.4. So the MOS-only resistor can be controlled by V_1 parameter change. The dependence of resistor impedance from V_1 voltage change when V_0 and V_2 are fixed is given in Fig.5. M_0 becomes more open with V_1 rise, so total current increases causing the resistance drop. On the other hand, the impedance of the proposed ODT resistor can be controlled by the aspect ratio of M_0 . The dependence law is pretty similar to one described in Fig.5.

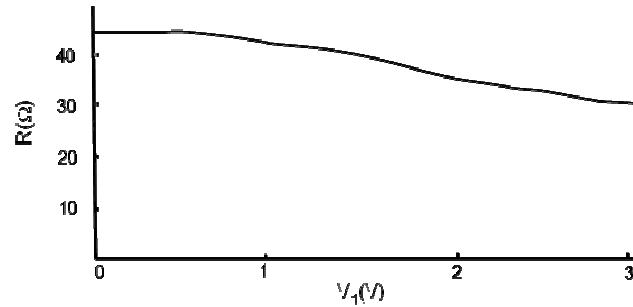


Fig. 5. The impedance of MOS-only resistor as a function of V_1

Increasing W/L parameter of M0 transistor, the impedance of resistor goes low. So the impedance of MOS-only resistor can easily be adjusted by means of changing the value of the aspect ratio of M0 as well as value of V_1 .

Transmitter's output resistive impedance characteristics for low and full speed modes obtained by simulation using the proposed ODT resistor for outputs logical '0' and '1' are shown in Fig. 6.

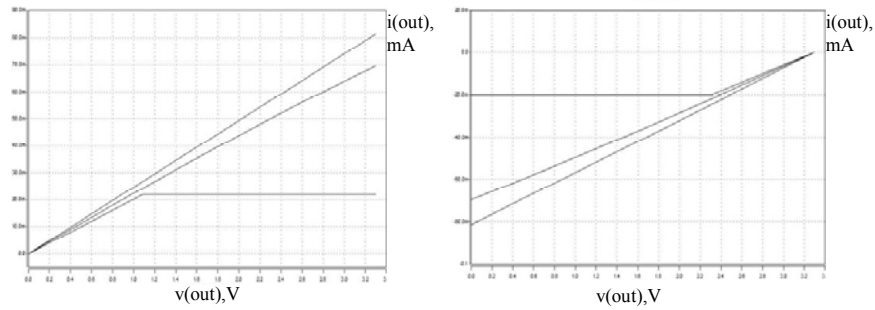


Fig. 6. Transmitter's output impedance for logic '0' and '1'

In Table the simulation measurements performed for three process and temperature variation cases (typical, fast, and slow as represented by TT, FF, and SS) are presented. Numbers and results in Fig. 6 show that deviation from nominal value of resistance is 5-7% that is within USB specification requirements [1].

Table

Resistance values for process and temperature variation cases

	-3σ	Mean	3σ	Deviation from 45Ω
TT	42.75Ω	45.24Ω	47.73Ω	-5.0 / 6.1 %
FF	42.91Ω	45.52Ω	48.13Ω	-4.6 / 6.9 %
SS	43.1Ω	45.73Ω	48.36Ω	-4.2 / 7.4 %

Compared to the CMOS active resistor described in [12], received I-V characteristics and simulation results for different corner cases of proposed ODT resistor has better linearity in case of lower voltages and is able to be adaptively controlled by discussed above control scheme which makes the proposed ODT resistor fully acceptable for USB. The [12] does not have means for adaptive control of impedance and as shown in [8] In case of structure from [12] there are about 30% deviations from 45Ω in case of lower voltages, but our proposed CMOS resistor shows very good linearity in the whole range.

Conclusion. New voltage-controlled CMOS resistor aimed at on-chip termination is proposed. Current-voltage characteristics show that this on-chip active termination resistor has good linearity across a wide range, and can be applied for USB transmitter. Simulations run proves that resistor impedance can vary within the range about 5...7% depending on temperature and process variations that is acceptable by USB specification. Presented on-chip CMOS resistor has about 20% better linearity compared to other PMOS active resistors in case of small voltages while using the analog adaptive control method eliminates the noises that occur in case of digitally adjusted resistors. The on-chip resistor was aimed at 45Ω nominal value used in USB, but could be easily controlled with modifications of gate voltage and corresponding transistors ratios, hence be acceptable for other drivers with various termination impedance values ($45\ldots75\Omega$) as well.

REFERENCES

1. **Universal Serial Bus Specification**, Rev 3.0, 2009, www.usb.org.
2. **Gupta, R., Pillage, L.** Optimal Termination of Transmission lines Excluding Radiation // 31st Conference on Design Automation.- June 1994.- P. 640-645.
3. **Canright, R.** Practical Design for Controlled Impedance // Proc. of 41st Electronic Components and Technology Conference.- Aug. 2002.- P. 370-377.
4. **Lin, C., Tsai, C., Chen, C., Jou, S.** 4/2 PAM Serial link Transmitter with Tunable Pre-Emphasis // Proc of the International Symposium on Circuits and Systems.- May 2004.- Vol. 1.- P. 952-955.
5. **Lin, C., Chen, C., Jou, S.** Adaptive On-Die Termination Resistors for High-speed Transceiver // 2005 IEEE VLSI-TSA International Symposium on VLSI Design, Automation and Test.- Apr. 2005.- P. 96-99.
6. **Baker, R.** CMOS: circuit design, layout, and simulation. – Second Edition. - John Wiley & Sons, 2007.- 1074p.
7. Laser-Induced Resistance Fine Tuning of Integrated Polysilicon Thin-Film Resistors/ **E.Boulais, J. Fantoni, A. Chateaufneuf et al** // IEEE Transactions on Electron Devices.- 2011.- Vol. 58 (2).- P. 572-575.
8. Patent No. US 7102200 B2. On-die termination resistor with analog compensation /**Y.Fan, J.Smith** // www.ip.com.- Sep. 2006.

9. **Koo, K., Seo, J., Kim, J.** A new Impedance Control Circuit for USB2.0 Transceiver //Proceedings of the 27th European Solid-State Circuits Conference.-2001.- P. 237-240.
10. **Özalevli, E.** Tunable Highly Linear Floating-Gate CMOS Resistor Using Common-Mode Linearization technique // IEEE Transactions on Circuits and Systems.- May 2008.- Vol. 55 (4).- P. 999-1010.
11. **Kumngern, M.** Voltage-controlled floating resistor using differential difference amplifier // International Conference on Electrical Engineering and Informatics(ICEEI).-July 2011.-P. 1-4.
12. **Griffin, J., Johnson, D.** Large signal active resistor output driver // 42nd Midwest Symposium on Circuits and Systems.- Aug. 1999.- Vol. 2.- P. 706-709.
13. **Aharonyan, V.** Low and full speed USB transmitter design using CMOS technology // International Scientific Conference “Designing systems on a chip: trends and challenges”, Oct. 2010.- Zelenograd, 2010.
14. **Sze, S., Kwok, K.** Physics of semiconductor devices.-Third Edition.- John Willey & Sons, 2007.-815p.
15. **HSPICE Simulation and Analysis User Guide**, 2010.
16. Synopsys Open Educational Design Kit: Capabilities, Deployment and Future/**R.Goldman, K. Bartleson, T. Woodet al** // Proceedings of the International Conference on Microelectronic Systems Education: San Francisco, USA, July 2009.- P. 45-48.

Synopsys Armenia CJSC. The material is received 07.02.2011.

**Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Ս.Վ. ԳԱՎՐԻԼՈՎ, Վ.Կ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Ն.Կ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ ,
Ա.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ**

ՆԵՐՔՑՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՓՈԽԱՆՋԱՏՄԱՆ ԿՄՕԿՈՒԵԶԻՍՏՈՐ ՀՀԴ ՀԱՂՈՐԴԻՀԱՄԱՐ

Ներկայումս փոխանջատման ռեզիստորի տեղակայումը բյուրեղի վրա օգնում է նվազագույնի հասցնել ելքային ազդանշանի վրա ազդող աղմուկները և տնտեսելարտադրման ծախսերը: Առաջարկված է նորն երբյուրեղային փոխանջատման ԿՄՕԿ ակտիվ ռեզիստոր: Մոդելավորման արդյունքում ստացված հոսանք-լարում, դիմադրություն-լարում կախումների միջոցով ցույց է տրված, որ առաջարկվող ռեզիստորն ունի լավ գծայնություն լարման փոփոխման թույլատրելի միջակայքում և, ղեկավարվելով անալոգային եղանակով (փականային լարման միջոցով), կարող է կիրառվել հաջորդական համապիտանի դողի (ՀՀԴ) հաղորդչի ելքում: Ցույց է տրված, որ ներկայացվող ռեզիստորն ապահովում է մոտ 20% ավելի լավ գծայնություն՝ համեմատած այլ՝ միայն ՄՕԿ կառուցվածքների վրա հիմնված ներբյուրեղային ռեզիստորների հետ:

Առանցքային բառեր. Հաջորդական համապիտանիդող, հաղորդիչ, ներբյուրեղային փոխանջատման ռեզիստոր, ելքային ազդանշանի աճման արագություն:

**В.Ш. МЕЛИКЯН, С.В. ГАВРИЛОВ, В.К. АГАРОНЯН, Н.К. АСЛАНЯН,
А.С. ОГАННЕСЯН**

**ВНУТРИКРИСТАЛЬНЫЙ КМОП РЕЗИСТОР ТЕРМИНАЦИИ ДЛЯ
ПЕРЕДАТЧИКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ШИНЫ**

В современных интегральных схемах использование внутрикристалльных резисторов выгодно с точки зрения минимизации шумов и экономии средств. В данной работе предлагается новый внутрикристалльный и управляемый напряжением КМОП резистор терминирования. С помощью вольт-амперных характеристик доказано, что предложенный резистор обладает хорошей линейностью в допустимом диапазоне напряжения и может применяться для передатчика универсальной последовательной шины. Также показано, что предложенный резистор обладает лучшей линейностью (~20%) при низких напряжениях.

Ключевые слова: универсальная последовательная шина, передатчик, внутрикристалльный резистор, терминирование, скорость нарастания выходного сигнала.

О.А. ПЕТРОСЯН, Л.М. ТРАВАДЖЯН, В.В. БУНИАТЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МНОГОИСТОКОВОЙ ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ПАМЯТИ**

Исследованы характеристики остаточной поляризации и логических уровней напряжения считывания многоисточковой ферроэлектрической ячейки памяти (ЯП) при изменении температуры в широком диапазоне. Проведено моделирование ЯПс использованием программного пакета HSPICE. Показано, что в предложенной нами многоисточковой ЯП имеется достаточный резерв для уменьшения площади ферроэлектрического конденсатора.

Ключевые слова: масштабирование, ячейка памяти, поляризация, температура, моделирование, коэрцитивное напряжение, битовая линия.

Введение. Ферроэлектрическая (ФЭ) память (FeRAM) является энергонезависимой памятью следующего поколения благодаря высокому быстродействию, низкой потребляемой мощности, стабильности основных параметров к внешним воздействиям и хорошей совместимости с планарной технологией изготовления сверхбольших интегральных схем. Из-за проблем, возникающих при масштабировании, для работы ЯП будущих поколений FeRAM потребуются более низкие рабочие напряжения (обеспечивается благодаря высокой диэлектрической проницаемости ФЭ материалов) с более высокими значениями поляризации.

В целом FeRAM является весьма надежной технологией изготовления энергонезависимой памяти, работоспособной даже при высоких рабочих температурах. По литературным данным, ФЭ память сохраняет данные в течение более десяти лет при температуре 85°C [1].

В последние годы ФЭ память используется в различных автомобильных проектах и сертифицирована для работы в самых неблагоприятных условиях. Так, вся продукция фирмы Ramtron, основного производителя ФЭ памяти, классифицирована для работы в температурном диапазоне от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Начиная с 2006-2007 годов начата новая программа сертификации FeRAM для автомобильной электроники согласно требованиям стандартов AEC-Q100 Grade 3 ($+85^{\circ}\text{C}$) и Grade 1 ($+125^{\circ}\text{C}$). Однако для успешного применения FeRAM на автомобильном рынке требуется хранение данных при 125°C свыше десяти лет. При этом необходимо, чтобы следующие поколения FeRAM удовлетворяли данным требованиям и с более высокой надежностью обеспечивали высокие значения спонтанной поляризации. В этой связи используемый в структуре

конденсатора ФЭ материал должен иметь высокую остаточную поляризацию, низкое коэрцитивное поле и необходимую температуру Кюри [2].

Несмотря на то, что характеристики ФЭ материалов хорошо управляются и одновременно обладают высокими значениями диэлектрических постоянных, однако возникает важная проблема: в диапазоне рабочих температур обеспечить низкую температурную зависимость основных характеристик [2,3]. Отметим, что для традиционных ФЭ пленок с поликристаллической структурой петля гистерезиса (остаточная поляризация) существенно ухудшается в диапазоне 100...200⁰С. Топологическими методами, в частности за счет некоторого увеличения площади ФЭ конденсатора, можно обеспечить запас проектирования ЯП для компенсации уменьшения поляризации.

Следовательно, для обеспечения надежной работы FeRAM исследование температурных характеристик является весьма актуальной задачей, так как параметры и характеристики ФЭ материалов очень чувствительны к изменениям температуры [2-4].

Целью работы является изучение характеристик остаточной поляризации и логических уровней напряжения считывания разработанной многоистоковой ФЭ 1Т-пСЯП[5] в широком диапазоне изменения температуры.

Экспериментальная часть. Температурные характеристики ЯП изучены с использованием программы моделирования HSPICE в диапазоне типичных рабочих температур (-40...125)⁰С. Исследования температурных характеристик петли гистерезиса [6] ФЭ конденсатора показали, что вид петли, а также ее основные параметры (остаточная поляризация и коэрцитивное поле) являются температурно-зависимыми величинами.

В работе характеристики поляризации и напряжения на битовой линии рассчитаны с помощью моделированных временных характеристик ЯП в режимах записи и считывания. Для данного примера моделирования напряжение питания составляло 3В, частота сигнала - 5 МГц, площадь ФЭ конденсатора - 4,5·10⁻¹² м², материал ферроэлектрика - PZT.

На рис. 1-3 представлены температурные характеристики напряжений V_L , V_0 и $\Delta V_{BL} = (V_L - V_0)$ на битовой линии ЯП, соответствующих логическим уровням.

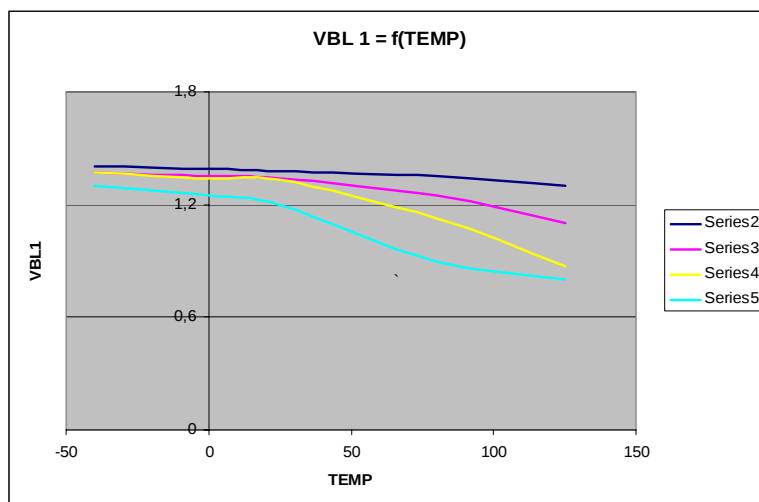


Рис.1. Зависимость соответствующего логической “1” напряжения $V_1(V_{BL1})$ от температуры при различных числах конденсаторов (источков) в ЯП

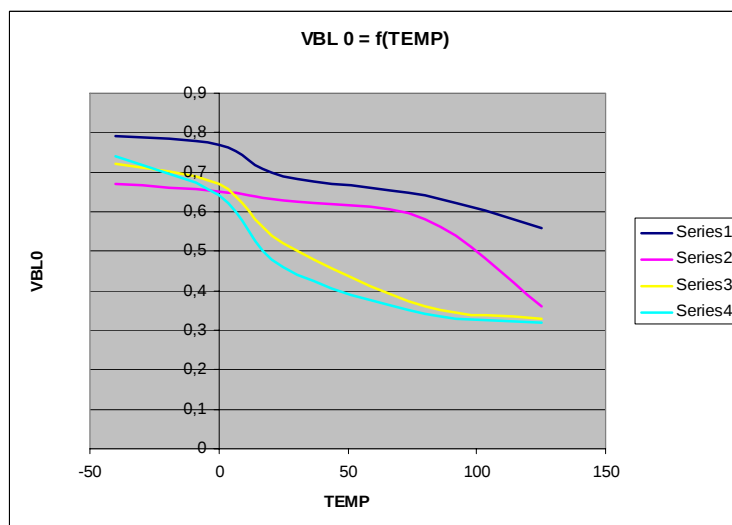


Рис. 2. Зависимость соответствующего логическому “0” напряжения $V_0(V_{BL0})$ от температуры при различных числах конденсаторов (источков) в ЯП

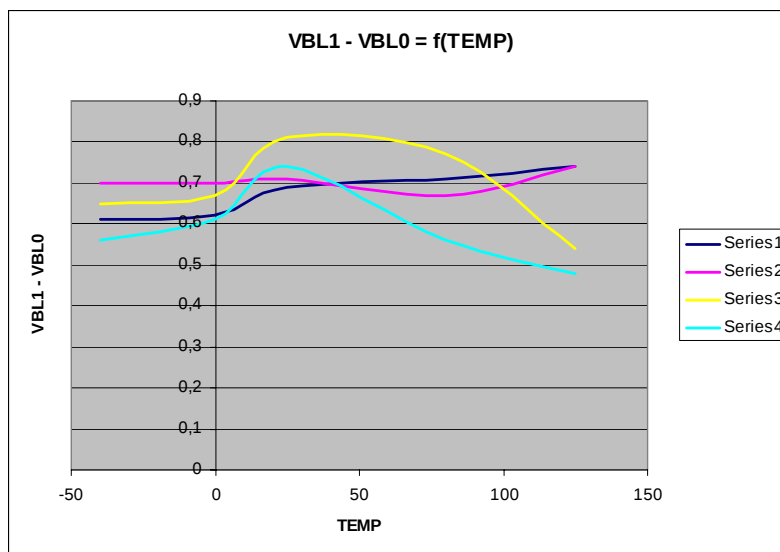


Рис.3. Зависимость разности напряжений $\Delta V_{BL} = (V_1 - V_0)$ от температуры при различных числах конденсаторов

Расчетные значения напряжений V_1 и V_0 при заданных значениях емкостей C_{BL} и C_S битовой линии и ФЭ конденсатора определяются в виде

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_{BL} + C_S} \text{ и } V_0 = \frac{Q_0}{C_{BL} + C_S},$$

где Q_1 и Q_0 - значения остаточных зарядов, соответствующих логическим состояниям "1" и "0".

Наблюдаемый на рис. 1-3 спад уровней напряжений в первую очередь обусловлен температурной зависимостью остаточного заряда в ФЭ конденсаторе. Влияние температуры на количественные характеристики поляризации (остаточного заряда) ФЭ ячейки памяти показано на рис. 4 и 5.

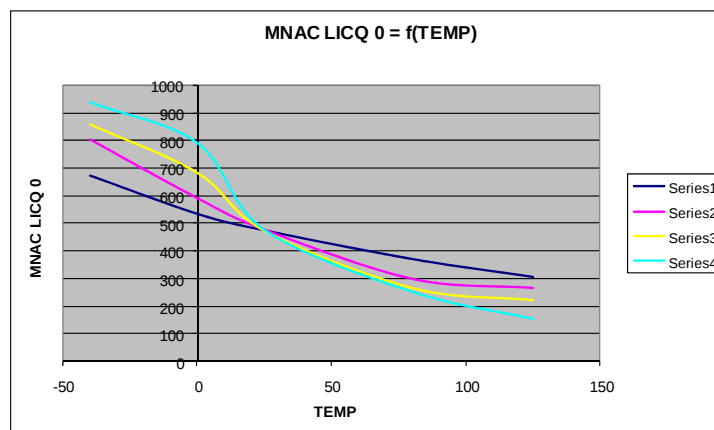


Рис. 4. Зависимость соответствующего логическому "0" остаточного заряда Q_0 от температуры при различных числах конденсаторов в ЯП

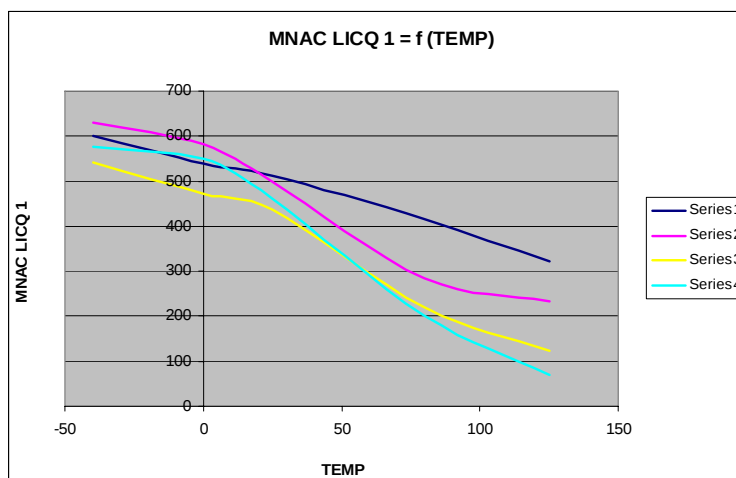


Рис. 5. Зависимость соответствующего логической "1" остаточного заряда Q_1 от температуры при различных числах конденсаторов в ЯП

Очевидно, что величина остаточного заряда Q (или переключаемая поляризация $Q=2Pr$) зависит от температуры. Остаточный заряд спадает с повышением температуры и практически исчезает при температуре Кюри. Моделированные характеристики дают возможность получить некоторые важные показатели. Так, темп уменьшения остаточного заряда Q_0 зависит от числа конденсаторов, подключенных к ЯП. При одном конденсаторе величина остаточного заряда при температуре 100°C спадает до 74 % заряда при комнатной температуре, при двух конденсаторах - 62 %, при четырех - уже 43 %. В принятом для ФЭ памяти

рабочем температурном диапазоне от комнатной до 100°C . Температурный коэффициент уменьшения остаточного заряда в линейной области изменяется в пределах $1,5 \dots 3,5 \text{ фКл}/^{\circ}\text{C}$ при подключении к ЯП от одного до четырех конденсаторов соответственно. Эти данные довольно близки известным из литературы экспериментальным результатам для ЯП со структурой 1T1C. Важным температурно-зависимым параметром петли гистерезиса является также коэрцитивное напряжение V_c . На рис. 6 показана рассчитанная из петли гистерезиса кривая температурной зависимости коэрцитивного напряжения. Коэрцитивное напряжение тонких ФЭ пленок растет с понижением температуры. Напряжение насыщения петли гистерезиса равно $\sim 2V_c$. Следовательно, при более низких температурах петля будет частично переключенной, и при записи информации она будет не полностью поляризованной.

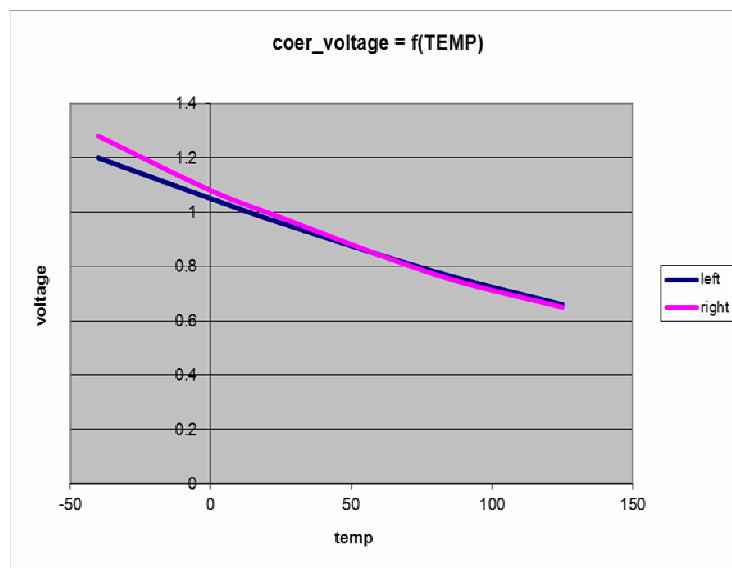


Рис. 6. Зависимость двух значений коэрцитивного напряжения ($+V_c$ и $-V_c$) от температуры

Моделированные температурные зависимости заряда спонтанной поляризации и коэрцитивного напряжения довольно хорошо описываются в рамках известной термодинамической теории Ландау [7, 8] для ФЭ фазы. Согласно этой теории, температурные характеристики ФЭ материала, в первую очередь, определяются температурным поведением χ диэлектрической восприимчивости, описываемой законом Кюри-Вейса:

$$\chi = \begin{cases} \frac{\varepsilon_0 C}{T - T_c}, & \text{если } T > T_c, \\ \frac{\varepsilon_0 C}{2(T_c - T)}, & \text{если } T < T_c, \end{cases}$$

где $\varepsilon_0 = 8,8542 \text{ нФ/м}$ - диэлектрическая проницаемость вакуума; C - постоянная Кюри; T_c - температура фазового перехода Кюри.

В ферроэлектрической фазе ($T < T_c$) с повышением температуры χ растет, что эквивалентно уменьшению заряда спонтанной поляризации.

На рис. 7 показаны графики экспериментальной температурной зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь ФЭBST пленок [8]. Так как величина спонтанной поляризации, в первую очередь, определяется диэлектрической проницаемостью, следовательно, моделированные температурные характеристики качественно и количественно находятся в хорошем соответствии как с теоретическими, так и экспериментальными (рис.7) данными.

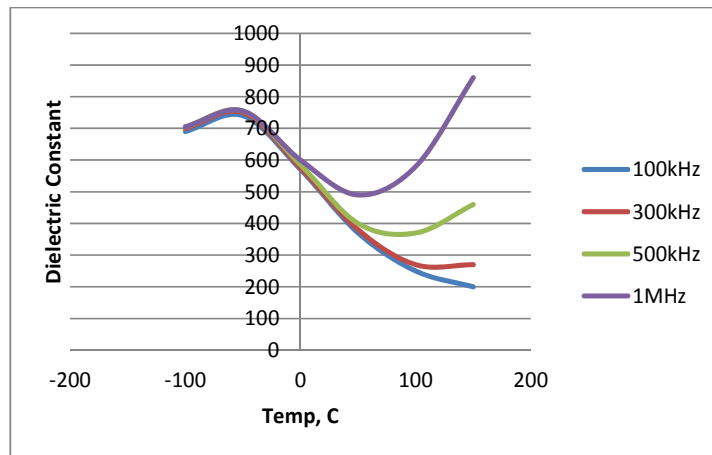


Рис. 7. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости ФЭBST пленок в диапазоне частот от 100 кГц до 1 МГц

Однако анализ литературных данных показывает, что экспериментальные температурные зависимости ФЭ материалов (элементов памяти) в некоторых случаях противоречивы. Так, некоторые экспериментальные данные заряда остаточной поляризации в ФЭ пленках [7, 8] противоречат термодинамической теории, согласно которой остаточная поляризация с понижением температуры должна увеличиваться. В основном, это обусловлено тем обстоятельством, что диэлектрические свойства ФЭ пленок строго зависят также от технологических условий их формирования. В случаях, когда величина приложенного электри-

ческого поля для насыщения поляризации не столь высокая, с понижением температуры остаточная поляризация уменьшается, что обусловлено более высокими значениями коэрцитивного напряжения при низких температурах. Увеличение коэрцитивного напряжения затрудняет изменение направления поляризации, и при низких температурах остаточная поляризация уменьшается.

Выводы

1. Моделированные температурные характеристики разработанной многоисточковой ферроэлектрической ЯП хорошо описываются в рамках известной термодинамической теории Ландау, согласно которой остаточная поляризация с понижением температуры увеличивается.

2. С повышением температуры явление поляризации в ферроэлектрике постепенно затухает, что приводит к снижению величины остаточного заряда поляризации, а следовательно, и логических уровней напряжения сигналов считывания.

3. Несмотря на уменьшение остаточного заряда, в отмеченных условиях моделирования величина остаточной поляризации остается выше уровня для стабильной работы ЯП со структурой 1Т-1С ($\sim 135 \text{ фКл/мкм}^2$). Следовательно, в принятом для ферроэлектрической памяти рабочем температурном диапазоне предложенной нами многоисточковой ферроэлектрической 1Т-пСЯП имеется достаточный резерв для уменьшения площади ФЭ конденсатора.

4. Полученные количественные характеристики могут быть использованы на этапе проектирования для обоснованного выбора температурного диапазона стабильной работы многоисточковой ферроэлектрической 1Т-пС ЯП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зайцев И. П.** Что же с памятью FRAM стало?// КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ.- 2007.- № 8.- С. 102-106.
2. **Yuan G. L., Liu J. M., Zhang S. T.** Low-temperature switching fatigue behavior of ferroelectric SrBi₂Ta₂O₉ thin Films // APPLIED PHYSICS LETTERS.- 2004.-Vol.84, № 69. - 3 p.
3. **Yuan, G. L., Liu, J.-M., Wang, Y. P.** Temperature-dependent fatigue behaviors of ferroelectric ABO₃-type and layered perovskite oxide thin films// Applied Physics Letters.- 2004.-Vol. 84. - P.3352 - 3354.
4. **Matichyn Serhiy.** Fabrication and Characterisation of Ferroelectric Lead Zirconate Titanate and Strontium Bismuth Tantalate Thin Films // Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades. -Universität Magdeburg.- Juli, 2006. - P. 126.
5. Патент РА АМ20100167. Ферроэлектрическая ячейка/ **В.В. Буннятиян, О.А. Петросян, Л.М. Траваджян.** - Заявл. 07.12.10; Опубл. 25.03.11.

6. **Տրավաջյան Լ.Մ.** Ֆերոէլեկտրական կոնդենսատորի հիստերեզիսի օղակի մոդելավորում/-Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի (Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2011.- Հատոր3,№1.- էջ 296-300:
7. **Guido GERRA.** Surface-Stimulated Phenomena in the Polarization Response of Ferroelectrics. – Suisse, 2008. - 98 p.
8. **Yip Cheung Ping.** Processing and Characterization of Manganese-doped Barium Stannate Titanate Ferroelectric Ceramics/ CITY UNIVERSITY OF HONG KONG DEPARTMENT OF PHYSICS AND MATERIALS SCIENCE.- March, 2005.- P. 35.

ПИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.03.2012.

Օ.Հ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Լ.Մ. ՏՐԱՎԱՋՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ

**ԲԱԶՄԱԱԿՈՒՆՔԱՅԻՆ ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԻՇՈՂ ՏԱՐՐԻ
ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ուսումնասիրվել են հիշող տարրի մնացորդային բևեռացման և ընթերցման լարումների բնութագրերը ջերմաստիճանի փոփոխման լայն միջակայքում: Կատարվել է հիշող տարրի ջերմաստիճանային բնութագրերի մոդելավորում HSPICE ծրագրային փաթեթ իմիջոցով: Ցույց է տրված, որ առաջարկված հիշող տարրում դեռևս գոյություն ունի կոնդենսատորի մակերեսի փոքրացման պաշար:

Առանցքային բառեր. մասշտաբավորում, հիշող տարր, բևեռացում, ջերմաստիճան, մոդելավորում, կոերցիտային լարում, բիթային գիծ:

O.H. PETROSYAN, L.M. TRAVAJYAN, V.V. BUNIATYAN

**INVESTIGATION ON TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF
FERROELECTRIC MULTISOURCE MEMORY CELL**

The characteristics of the remanent polarization and the logic levels of sensing voltages for multi source ferroelectric memory cell are investigated in a wide range of temperature. The simulation of the memory cell using the software HSPICE is performed. It is shown that our proposed memory cell has a sufficient reserve to reduce the area of ferroelectric capacitor.

Keywords: zoom, memory cell, polarization, temperature, simulation, coercive voltage, bit line.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, А.А. ГЕВОРГЯН

РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены параллельные алгоритмы решения нелинейной задачи электромагнитного поля методом конечных элементов. Показано, что декомпозиция с перекрытием требует меньшего числа итераций и меньшего расчетного времени, чем декомпозиция без перекрытия. Предложена формула для нахождения предпочтительного числа процессоров.

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

Введение. Развитие многопроцессорных вычислительных систем открыло новые возможности для повышения эффективности вычислительного процесса. Распределенные вычислительные среды являются наилучшим вариантом для решения сеточных задач. Проблема распараллеливания сеточных алгоритмов сегодня является объектом интенсивных исследований [1,2].

Распараллеливание сеточных задач обычно осуществляется путем декомпозиции исходной исследуемой области на параллельные блоки (подобласти). В вычислительной практике используются два вида декомпозиций – декомпозиция без перекрытий и декомпозиция с теньевыми гранями (перекрытием). Декомпозициям с перекрытием посвящен ряд работ (см. [3,4]), декомпозиции без перекрытия изучены слабее.

В настоящей работе рассматриваются параллельные алгоритмы решения нелинейной задачи электромагнитного поля методом конечных элементов с разбиением на параллельные подобласти без перекрытия. Проведен сопоставительный анализ декомпозиций с перекрытием и без перекрытия.

Исследована также задача выбора числа процессоров. Предложена формула для нахождения предпочтительного числа процессоров в зависимости от конфигурации сетки и параметров многопроцессорной вычислительной системы.

Описание задачи. На рис. 1 представлена исследуемая область модельной задачи. На этом рисунке показано электромагнитное устройство с ферромагнитными участками А и В, разделенными воздушным зазором С. Устройство содержит обмотку D, обтекаемую током с синусоидальным распределением вдоль зазора. Для определения электромагнитного поля в устройстве краевую задачу необходимо решить с нулевыми граничными условиями на бесконечности. Однако, учитывая, что поле вне устройства достаточно быстро затухает, ограничимся рассмотрением конечной области [5-7] воздушного пространства, окружающего устройство, приняв на границе нулевые значения потенциалов (рис. 2).

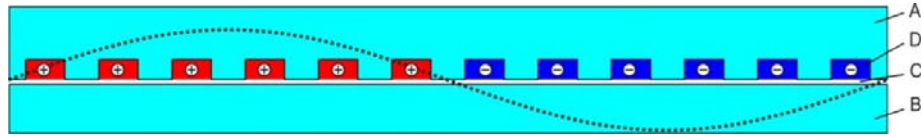


Рис. 1

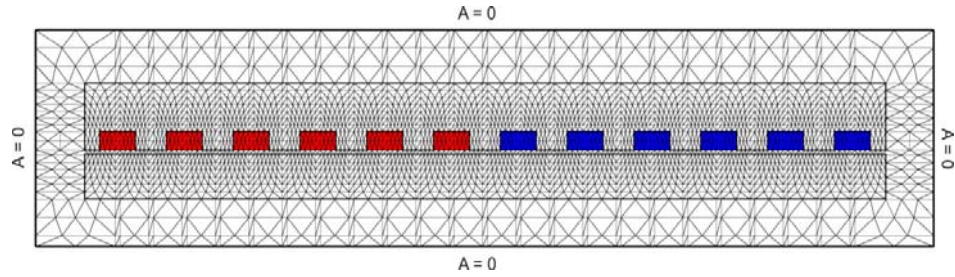


Рис. 2

Постоянное магнитное поле, созданное электрическим током, описывается уравнением Максвелла:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial y} \right) = \delta,$$

где A - векторный магнитный потенциал; δ - плотность тока; ν - величина, обратная магнитной проницаемости.

Численный расчет двумерного магнитного поля методом конечных элементов для треугольной сетки сводится к решению системы уравнений

$$\sum_e \left(\nu_e \sum_{i=1}^3 A_i \beta_{ij}^e - \frac{\delta_e \Delta_e}{3} \right) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где ν_e - значение ν внутри элемента e ; A_i - значение потенциала A в узле i ; β_{ij}^e - коэффициент взаимодействия вершин i и j в элементе e ; δ_e - значение δ внутри e ; Δ_e - площадь треугольника e ; N - число некраевых узлов. В (1) внешнее суммирование осуществляется по всем элементам e , содержащим узел, а внутреннее суммирование - по всем узлам i , имеющимся в треугольнике e .

Отметим, что в краевых задачах численный расчет по формуле (1) ведется только для внутренних узлов сетки, в краевых узлах значение потенциала A предполагается известным.

Учитывая, что для каждого узла j в уравнении (1) принимают участие только непосредственные соседи узла j , получаем систему уравнений с неиз-

вестными A_j , причем количество уравнений равно количеству неизвестных. Таким образом, вариационная постановка краевой задачи после ее аппроксимации сеточным методом конечных элементов приводит к алгебраической системе с ленточной матрицей высокого порядка.

Декомпозиция с перекрытием. Зона перекрытия двух соседних подобластей состоит из двух слоев узлов: теневой границы и явной границы. При этом теневая граница одной подобласти является явной границей (краем) соседней подобласти и наоборот. Так, например, на рис. 3а в процессоре N пунктир является теневой границей, а в процессоре N+1 сплошные линии являются теневыми границами, а пунктирные линии – наоборот, краевыми границами. Для каждой подобласти на отдельном процессоре решается краевая задача. При этом узлы из теневой границы считаются внутренними, и для них ведется численный расчет по формуле (1), а в краевых узлах значение потенциала A не меняется.

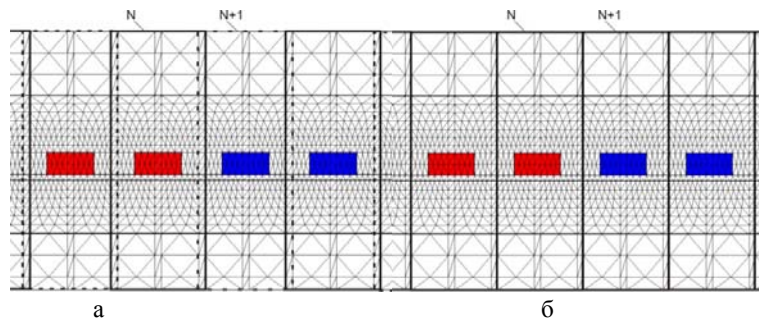


Рис. 3. Декомпозиция: а - с перекрытием, б - без перекрытия

После нескольких итераций работа процессоров приостанавливается и происходит межпроцессорный обмен граничными значениями.

Декомпозиция без перекрытия. Зона пересечения двух соседних подобластей состоит из одного слоя граничных узлов (см. рис. 3б). Эти узлы являются краевыми для обеих подобластей. Для каждой подобласти на отдельном процессоре решается краевая задача. При этом в граничных узлах численный расчет по формуле (1) не ведется, и значения потенциала A не меняются.

После нескольких итераций работа процессоров приостанавливается и происходит перерасчет значений потенциала A в граничных узлах соседних подобластей. Затем происходит межпроцессорный обмен этих граничных значений.

Выбор числа процессоров. Имеется класс алгоритмов (например, метод наилучшей выборки в задачах принятия решения), для которых распараллеливание тем эффективнее, чем больше число используемых процессоров, т.е. оптимальное число процессоров бесконечно. В сеточных задачах количество процессоров заведомо ограничено, оно не может быть больше числа сеточных узлов. Сле-

довательно, становится актуальным выбор оптимального числа используемых процессоров.

Предположим, что исследуемая область есть прямоугольник, имеющий m узлов в длину и n узлов в ширину. Разделим область на подобласти h горизонтальными и v вертикальными линиями. Получим $(h+1)(v+1)$ подобластей, имеющих

$\frac{mn}{(h+1)(v+1)}$ узлов. Число теневых граничных узлов, используемых для меж-

процессорного обмена, равно $(m-2)v + (n-2)h$. Обозначим через t_p удельное время решения сеточной задачи, приходящееся на один внутренний узел, через t_o - удельное время межпроцессорного обмена, приходящееся на один граничный узел. Наша цель – выбрать числа h и v (при заданных m , n , t_p и t_o) таким образом, чтобы было минимальным общее время работы:

$$T = t_p \frac{mn}{(h+1)(v+1)} + t_o [(m-2)v + (n-2)h].$$

Для этого приравняем нулю производные по h и v :

$$\frac{\partial T}{\partial h} = -t_p \frac{mn}{(h+1)^2(v+1)} + t_o(n-2) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial v} = -t_p \frac{mn}{(h+1)(v+1)^2} + t_o(m-2) = 0.$$

Отсюда получаем

$$t_p \frac{mn}{(h+1)(v+1)} = t_o(n-2)(h+1) = t_o(m-2)(v+1). \quad (3)$$

Решая систему уравнений (2), можно найти числа h и v , которые дают предпочтительное число процессоров $(h+1)(v+1)$. Заметим, что из (3) вытекает важное правило: следует так разделить исследуемую область на подобласти, чтобы в подобластях количества узлов в длину и ширину по возможности были близки. Это получается и из известного геометрического принципа: среди прямоугольников фиксированной площади наименьший периметр имеет квадрат.

Численные результаты. На рис. 4–6 представлены различные декомпозиции (без перекрытия) исходной задачи, требующие соответственно 6, 36 и 48 параллельных процессоров (ядер). Для вышеуказанной модельной задачи найдено распределение магнитного поля методом конечных элементов с разбиением на параллельные подобласти с перекрытием и без перекрытия.

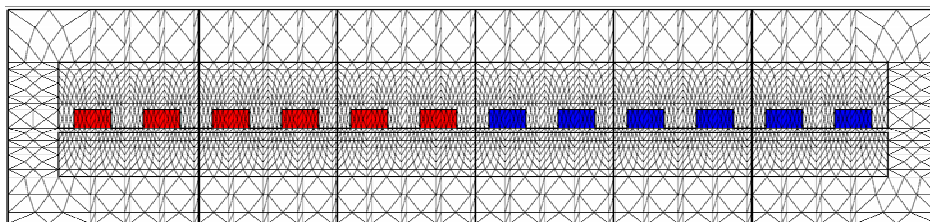


Рис. 4

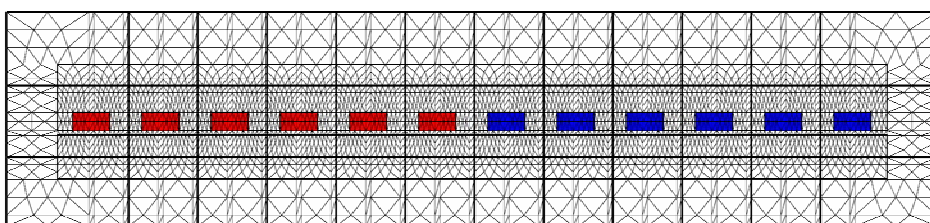


Рис. 5

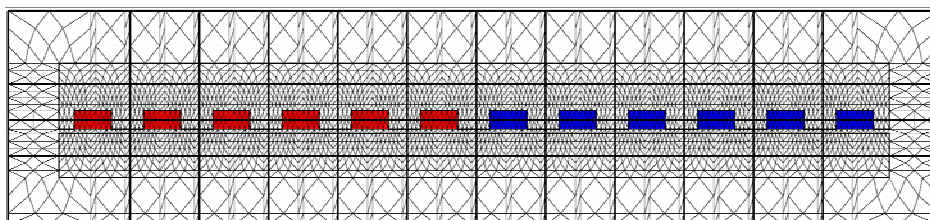


Рис. 6

На рис. 7 и 8 показаны зависимости соответственно времени расчета и числа итераций, необходимых для достижения заданного уровня невязки, от числа процессоров.

На рис. 9 представлено полученное распределение магнитного поля в исследуемой среде.

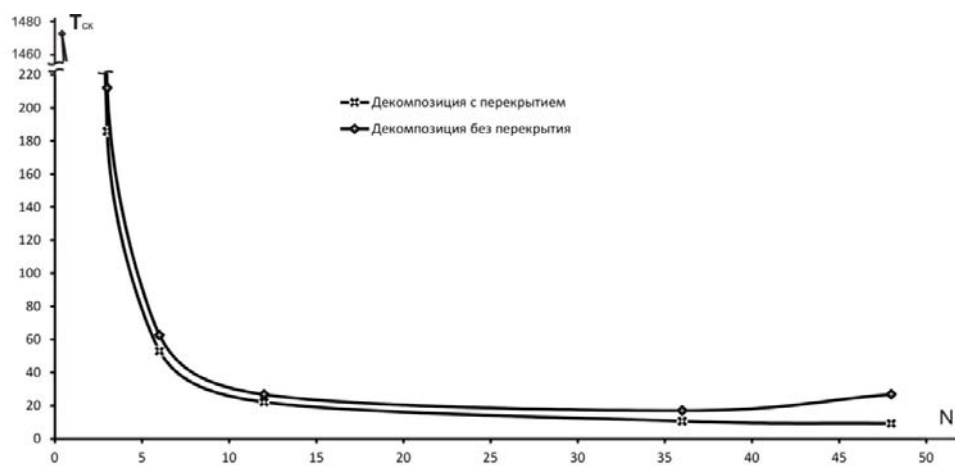


Рис. 7

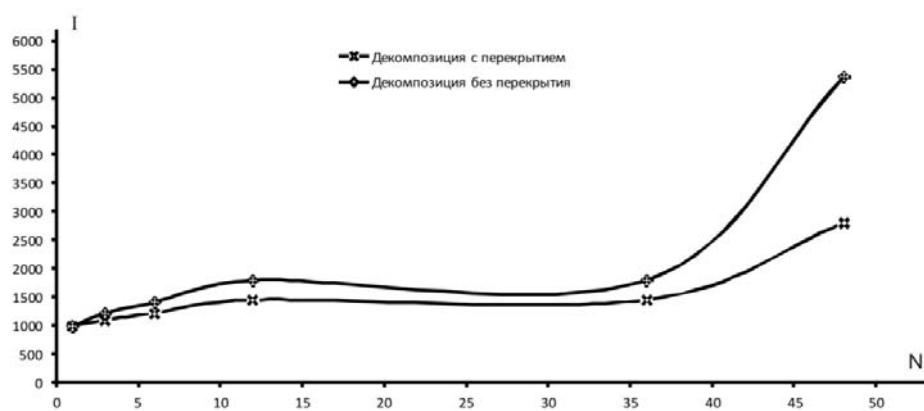


Рис. 8

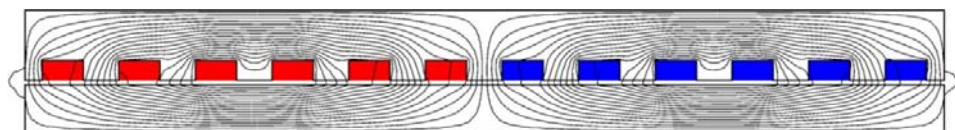


Рис. 9

Сопоставительный анализ полученных результатов показывает, что декомпозиция с перекрытием требует меньшего числа итераций, чем декомпозиция без перекрытия. Это объясняется тем, что в узлах, лежащих на теневой границе, потенциалы считаются точнее.

Из-за меньшего числа итераций при декомпозиции с перекрытием уменьшается общее время затрат на решение задачи.

По сравнению с последовательным счетом распараллеливание обоих типов приводит к резкому ускорению решения модельной задачи.

Вместе с тем анализ полученных результатов показывает, что существует предпочтительное количество процессоров, при превышении которого процесс ускорения решения сеточной задачи резко замедляется. Для рассмотренного нами случая предпочтительным числом параллельных процессоров является 36.

Заключение. В рассмотренной сеточной модельной задаче при распараллеливании решения задачи на многопроцессорной вычислительной системе кластерной архитектуры получено значительное ускорение решения по сравнению с последовательным счетом.

Сопоставительный анализ полученных результатов показал, что декомпозиция с перекрытием требует меньшего числа итераций и меньшего расчетного времени. Показано также, что существует предпочтительное количество процессоров, при превышении которого процесс ускорения решения задачи замедляется. Предложена формула для нахождения предпочтительного числа процессоров в зависимости от конфигурации сетки и параметров многопроцессорной вычислительной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ильин В.П.** Структуры сеточных алгоритмов и их отображение на архитектуру МВС // Труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции – М.: Изд-во МГУ, 2009. - С. 150-157.
2. **Ильин В.П.** Проблемы высокопроизводительных технологий решения больших разреженных СЛАУ // Вычислительные методы и программирование. - 2009. -Т.10, N 1. -С. 130-136.
3. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С.** Параллельный алгоритм решения нелинейных полевых задач // Тезисы докл. конф. “Проблемы нелинейной электротехники”. - Киев, 1981. -С. 148-150.
4. **Терзян А.А., Геворгян А.А., Акопян А.Э., Оганнисян Л.Т.** К решению краевых задач на многопроцессорных вычислительных системах // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2011. – Т. 64, N 3 - С. 305-311.
5. **Терзян А.А.** Автоматизированное проектирование электрических машин. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 256 с.
6. **Terzyan H.** Simulation of electromechanical systems. Numerical methods and Solutions. - VDM Verlag, 2009. -280 p.
7. **Терзян А.А.** Автоматизированная система решения полевых задач в электрических машинах // Электричество. -1984. – N 10. - С. 11-17.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.04.2012.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ
ԲԱԶՄԱՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԵԶՐԱՅԻՆ
ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԶՈՒԳԱՀԵՌԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Դիտարկվել են վերջավոր տարրերի մեթոդով ոչ գծային էլեկտրամագնիսական դաշտի լուծման զուգահեռ ալգորիթմներ: Ցույց է տրված, որ ցանցի փոխաձայնումով տրոհումը պահանջում է ավելի քիչ մոտարկումներ և հաշվարկային ժամանակ, քան տրոհումը առանց փոխաձայնման: Առաջարկված է պրոցեսորների նախընտրելի քանակի որոնման բանաձև:

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

H.A. TERZIAN, H.S. SUKIASYAN, A.A. GEVORGYAN
BOUNDARY PROBLEM PARALLELING INTO MULTIPROCESSOR COMPUTING
SYSTEM

Paralleling algorithms for solving a nonlinear problem of the electromagnetic field by the finite-element method are considered. It is shown that the decomposition with an overlap requires less number of iterations and less designed time than decomposition without the overlap. Formulas for defining preferable number of processors are proposed.

Keywords: electromagnetic field, mesh problems, parallel algorithms.

А.С. КАЗАРЯН

**РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСЧЕТА
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ
ГРУНТОВЫХ ВОД**

Рассматривается решение некоторых краевых задач фильтрации горизонтальных дренажей в случае неустойчивого движения грунтовых вод с применением метода последовательной смены стационарных состояний.

Ключевые слова: дренаж, кривая депрессии, фильтрация, водоупор, инфильтрация.

Введение. В настоящее время перед сельскохозяйственной и мелиоративной наукой со всей остротой встала проблема разработки методов принятия оптимальных хозяйственных решений на различных уровнях управления производством, включая оперативное управление использованием водных ресурсов, в частности подземных вод.

Основной целью исследования является создание эффективных способов регулирования режимов подземных вод с рассмотрением орошаемого массива как элемента региональной экологической системы и системы общественного производства. При этом важно обеспечение наилучших условий совокупности процессов энерго- и массообмена в агроэкологической системе атмосфера-растение-почва-грунтовые воды. Последняя создает благоприятный водный обмен на орошаемых землях на фоне вертикальных и горизонтальных дренажей.

Орошаемые, засоленные и переувлажненные земли имеются и в Республике Армения. Они расположены, главным образом, на Араратской равнине. В условиях ограниченности земельных ресурсов использование этих земель имеет исключительно важное значение для развития сельского хозяйства в республике.

В этой связи фильтрационные расчеты горизонтальных дренажей и установление требуемых уровней грунтовых вод имеют важное значение. При этом рассматривается решение следующих краевых задач фильтрации.

1. Неустойчивое движение грунтовых вод к дренажу при постоянном напоре на одной из границ. Примем, что напор в дренаже падает мгновенно, и питание осуществляется за счет инфильтрации поверхностных вод (модулем ε) и осушения грунта. На расстоянии S_1 от дрены напор постоянный (H_0). Тре-

буется определить изменение положения кривой депрессии на расстоянии S_1 в момент времени T_1 (рис.1).

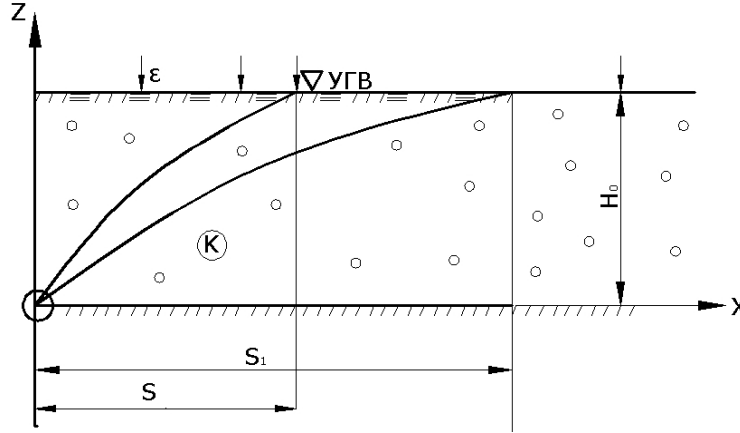


Рис. 1. Расчетная схема изменения кривой депрессии

Уравнение водного баланса будет [1]

$$\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \cdot \mu \cdot H_0 dS + \varepsilon S dt = \frac{KH_0^2}{S} dt. \quad (1)$$

Правая часть уравнения (1) определяет количество воды, которое за время dt на расстоянии S под напором H_0 с коэффициентом фильтрации K движется к дренажу. Здесь $H/S = I$, где I - гидравлический градиент, KI - скорость фильтрации. Умножив KI на H_0 , получим удельный расход фильтрации.

Левая сторона уравнения (1) включает в себя два объема: первый объем - инфильтрационного питания, который равен $\varepsilon S dt$, где S меняется от 0 до S_1 (при $S = 0 - H = 0$, при $S = S_1 - H = H_0$ при $S = S_1 - t = T_1$); второй объем обусловлен гравитационным коэффициентом водоотдачи μ и объемом грунта, находящегося ниже кривой депрессии:

$$A = \int_0^S z dz = \int_0^S \frac{H}{S} \sqrt{S^2 - (X - S)^2} dz = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) H_0 S, \quad dA = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) H_0 dS.$$

В уравнении (1) после разъединения переменных будем иметь

$$\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \mu H_0 dS = \left(\frac{KH_0^2}{S} - \varepsilon S\right) dt = \frac{(KH_0^2 - \varepsilon S^2) dt}{S},$$

$$\frac{SdS}{KH_0^2 - \varepsilon S^2} = \frac{4,65}{\mu H_0} dt. \quad (2)$$

Интегрируя (2), при $t = 0, S = 0$ получим

$$\ln \frac{KH_0^2}{KH_0^2 - \varepsilon S^2} = \frac{9,3\varepsilon \cdot t}{\mu H_0} = at, \quad (3)$$

где $a = \frac{9,3\varepsilon}{\mu H_0}$.

Решая (3) относительно S , получим

$$S = H_0 \sqrt{\frac{K}{\varepsilon} (1 - e^{-at})}. \quad (4)$$

При $t \rightarrow \infty$ из (4) следует

$$S = H_0 \sqrt{\frac{K}{\varepsilon}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) известно как уравнение Ротэ [2]. В случае, когда инфильтрация отсутствует, уравнение (1) примет вид

$$0,215\mu H_0 dS = \frac{KH_0^2}{S} dt. \quad (6)$$

Интегрируя (6) и решив его относительно S , получим

$$S = 3,05 \sqrt{\frac{KH_0 T}{\mu}}. \quad (7)$$

При постоянных параметрах K, H_0, μ из уравнения (7) для произвольного времени определяется величина S . При $t = T_1 - S = S_1$, и кривые депрессии с левой и правой сторон дренажей достигают середины междренажного расстояния. При этом имеем

$$T_1 = 0,107 \frac{S_1^2 \mu}{KH_0} = 0,027 \frac{\mu E^2}{KH_0}, \quad (8)$$

где $E = 2S_1$ – расстояние между двумя дренами.

Пример 1. Дано $E = 30$ м, $\mu = 0,03$, $H_0 = 1,0$ м, $K = 3$ м / сут. Требуется определить время, когда кривые депрессии с левой и правой сторон дренажей достигают середины междренажного расстояния.

Из (8) имеем

$$T_l = \frac{0,027 \mu E^2}{KH_0} = \frac{0,027 \cdot 0,03 \cdot 30^2}{3 \cdot 1} = 0,24 \text{ cym.}$$

2. Определение понижения уровня грунтовых вод в середине дренажей.

Рассмотрим случай, когда инфильтрация отсутствует и начальный ($t = 0$) уровень равен H_0 (рис. 2).

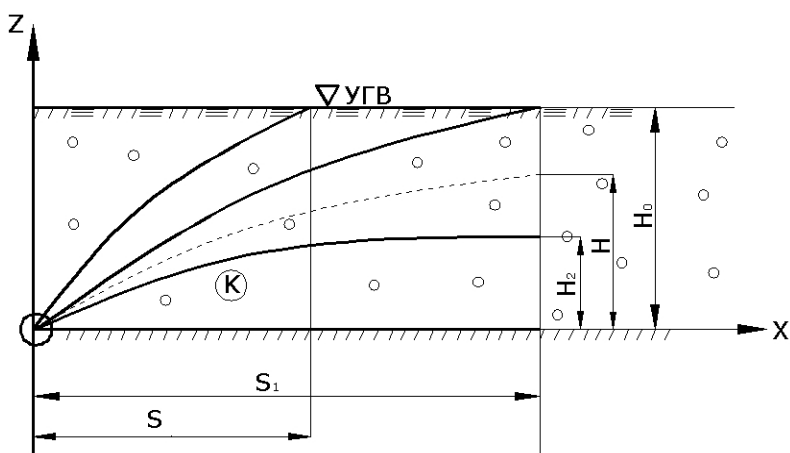


Рис. 2. Расчетная схема определения понижения ΔH в середине дренажей

Примем, что уровень в дренаже падает мгновенно до водоупора. Время, при котором уровень в середине дренажей опускается на величину $\Delta H = H_0 - H_2$, делим на две части - T_1 и T_2 , где T_1 - время, когда кривые депрессии встречаются друг с другом в середине дренажей, и T_2 - время, когда в середине дренажей уровень понижается до ΔH . Время T_1 определяется из (8), время T_2 находим, представляя кривую депрессии в виде эллипса. В результате имеем

$$A = \int_0^S z dx = \frac{H}{S} \int_0^S \sqrt{S^2 - (X - S)^2} dx = \frac{\pi}{4} SH, \quad dA = \frac{\pi}{4} S dH. \quad (9)$$

Уравнение водного баланса будет

$$\frac{KH^2}{S}dt = \mu \frac{\pi}{4} S dH, \quad (10)$$

где

$$\frac{KT_2}{S^2} = \mu \frac{\pi}{4} \int_{H_2}^{H_0} \frac{dH}{H^2} = \mu \frac{\pi}{4} \left(\frac{H_0 - H_1}{H_0 H_1} \right),$$

$$S = \sqrt{\frac{4}{\pi\mu} KT_2 \frac{H_0 H_2}{H_0 - H_2}}, \quad (11)$$

$$E = 2S = 2 \sqrt{\frac{4}{\pi\mu} KT_2 \frac{H_0 H_2}{H_0 - H_2}}, \quad (12)$$

$$T_2 = 0,196 \frac{\mu E^2 (H_0 - H_2)}{KH_0 H_2}. \quad (13)$$

Полное время опускания уровня грунтовых вод на величину ΔH определяется суммой (13) и (8) в виде

$$T = T_1 + T_2 = 0,027 \frac{\mu E^2}{KH_0} + 0,196 \frac{\mu E^2 (H_0 - H_2)}{KH_0 H_2} =$$

$$= \frac{\mu E^2}{KH_0 H_2} [0,027 H_2 + 0,196 (H_0 - H_2)], \quad (14)$$

где $E = 2S$ определяется по формуле (12):

$$E = 2,26 \sqrt{\frac{KH_0 H_2 T}{\mu (H_0 - 0,87 H_2)}}. \quad (15)$$

Учитывая, что кривая депрессии в этом случае является эллипсом, в уравнении (15) значение E получится на 5% больше, если кривая депрессии принимается параболой. Вводя при этом понижающий коэффициент 0,93 [3], уравнение (15) примет вид

$$E = 2,14 \sqrt{\frac{KH_0 H_2 T}{\mu (H_0 - 0,87 H_2)}}. \quad (16)$$

Уравнение (15) верно для совершенного дренажа.

Пример 2. Дано $E = 30$ м, $\mu = 0,03$, $H_0 = 1,0$ м, $K = 3$ м/сут. Требуется определить время, когда в середине дренажей уровень воды опустится до $H_2 = 0,7$ м.

Из (13) находим

$$T_2 = \frac{0,196 \mu E^2 (H_0 - H_2)}{KH_0 H_2} = \frac{0,196 \cdot 0,03 \cdot 30^2 (1 - 0,7)}{3 \cdot 1 \cdot 0,7} = 0,76 \text{ сут.}$$

Общее время, согласно (14), составит

$$T = T_1 + T_2 = 0,24 + 0,76 = 1 \text{ сут.}$$

Закключение. Таким образом, с использованием метода последовательной смены стационарных состояний получаем простые расчетные формулы для времени T_1 (первая краевая задача), при котором кривая депрессии из двух дренажей встречается в их середине, и времени T_2 (вторая краевая задача), при котором уровень грунтовых вод в середине дренажей опускается на величину ΔH . Определяются общее время и расстояние между дренажами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. - М.: Наука, 1977. – 664 с.
2. Wang J.S., Narasimhan T.N. Hydrologic mechanism Covering Fluid Flow in a Partially Saturated, Porous Medium. WaterResourcesResearch.– 1985. – Vol.12.– P. 1861-1874.
3. Аверьянов С.Ф. Дренаж сельскохозяйственных земель. - М.: Колос, 1964. – 718 с.

Государственный аграрный университет Армении. Материал поступил в редакцию 10.04.2012.

Հ.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՀԱՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ԴՐԵՆԱԺՆԵՐԻ ՖԻԼՏՐՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵԶՐԱՅԻՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒՇՈՒՄԸ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՋՐԵՐԻ ՉՀԱՍՏԱՏՎԱԾ ՇԱՐՇՄԱՆ ԴԵՊՐԵՍԻԱ

Դիտարկվում են համասեռ գրունտներում տեղադրված հորիզոնական դրենաժի ֆիլտրման հաշվարկի եզրային խնդիրների լուծումները, երբ շարժումը հաստատված չէ:

Առանցքային բառեր. դրենաժ, դեպրեսիայի կոր, ֆիլտրում, անջրանցիկ շերտ, ներֆիլտրում:

H.S. GHAZARYAN

THE SOLUTION OF SOME BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF FILTRATION CALCULATION OF HORIZONTAL DRAINS AT THE STEADY MOVEMENT OF GROUND WATER

Consider the solution of some boundary value problems of filtration calculation of horizontal drains at the steady movement of ground water. It is assumed "method of consistent change of stationary states."

Keywords: drains, depression curve, filtration.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՊՈՂՈՍՅԱՆԱ.Կ., ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆԱ.Գ.	
ԱՍԲԵՍՏԱԶԵՐԾԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՇՓԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԵՂԾՈՒՄՆՈՒ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ.....	235
ԱՂԲԱԼՅԱՆԱ.Գ., ՀՈՎՍԵՓՅԱՆԱ.Հ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆԱ.Ա.	
ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՍԱՅԻՆ ԽՍՆԱՅՈՒԹԵՐԻ ՅՀԻԴՐՈՄԵՏԱԼ ՈՒՐԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ԿԱՊԱՐԻՄՈԼԻԲԴԱՏԻ ՍՏԱՅՄԱՆՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻՄՇԱԿՈՒՄԸ.....	246
ՍԱՐԳՍՅԱՆԱ.Ե., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆԱ.Մ., ԱՎԵՏԻՍՅԱՆԱ.Ս.	
ՄԻՋՖԱԶՍԻՆՓՈԽԱԶՂԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՓՈԽԱԿԵՐՊՈՒՄՆԵՐԸ ՍՈՒԼՖԻԴԱՊՂՆԱՅԻՆ ԽՍՆԱՅՈՒԹԻՍ ՈՒԼՖԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸ ՆԹԱՅՈՒՄ.....	254
ՍԱՐՈՒԽՅԱՆԱ.Զ., ԱՌԱՔԵԼՅԱՆԱ.Ս.	
ԲԵՌՆՎԱԾՔԻ ԱՆԿՄԱՆԱՆՅՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՔԻ ԳՐԱՖԻԿԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ԱՇԽԱՏՈՂ ՏԱՐԱՏԻՊ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԿԱԶՄՈՎ ԿՈՆԴԵՆՍԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆՆԻ ՀԱՄԱՐ.....	260
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆՎ.Գ., ՓՅՈՒՄԿՑՈՒԼՅԱՆՎ.Ի., ՎԱՐԴԱՅԱՆՄ.Գ.	
ՀԱՅԿԱԿԱՆԱԷԿ-ԻՆ ՀԱՐՈՂՏԱՐԱԾՔԻ ՃԱՌԱԳԱՅԹԱՀԱՐՄԱՆ ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՅՈՒՄԸ.....	269
ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆՎ.Ղ., ԵՆԳԻՐԱՅԱՆՄ.Ն.	
<<ԳԱԶ – ՊԻՆԴԱՅԱՆ>> ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿՈՒՑԱԿԱՐԱՆԻ ՓՈՇԵՆՄԱՆ ՅՈՒԹԵՐԻ ԼԻՑԻԱԿԱՆ ՀՈՍԱԿՈՐՄ ՏԻԳՈՐԾԸ ՆԹԱՅԻՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ.....	275
ԱԶԱՐՅԱՆՍ.Հ.	
ԼԱՅՆԴԻՆԱՄԻԿՏԻՐՈՒԹՅՈՒՄՆԱՆ ՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ՃՇՏՈՒԹՅԱՄԲԴԻՐՔԱՎՈՐՈՒՄ.....	280
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Լ.Ա.	
RTLԿՈՄՊԻԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՍԻԱՐԱԳԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ.....	287
ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ԳԱՎՐԻԼՈՎ Ս.Վ., ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ Վ.Կ., ԱՍԼԱՆՅԱՆ Ն.Կ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Ս.	
ՆԵՐՔՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՓՈԽԱԶՍՄԱՆ ԿՄՕԿՈՒԵԶԻ ՍՏՈՐՀՀԴՀԱՂՈՐԴԻ ՀԱՄԱՐ.....	295
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Օ.Հ., ՏՐԱՎԱԶՅԱՆ Լ.Ս., ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ Վ.Վ.	
ԲԱԶՄԱԿԱՆՈՒՆՔԱՅԻՆ ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԻՇՈՂ ՏԱՐԻ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՄԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ.....	304
ԹԵՐԶՅԱՆՀ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆՀ.Ս., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆԱ.Ա.	
ԲԱԶՄԱՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԵԶՐԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԶՈՒԳԱՀԵՌԱՅՄԱՆ ՄԱՍԻՆ.....	313
ՂԱԶԱՐՅԱՆՀ.Ս.	
ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ԴԵՆԱԺՆԵՐԻ ՖԻԼՏՐՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵԶՐԱՅԻՆ ՄԻՔԱՆԻԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ԳՐՈՒՆԱՅԻՆ ԶՐԵՐԻ ՀԱՍՏԱՏՎԱԾ ՇԱՐԺՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ.....	321

СОДЕРЖАНИЕ

ПОГОСЯН А.К., МЕЛИКСЕТАН Н.Г. СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗАСБЕСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	235
АГБАЛЯН С.Г., ОВСЕПЯН А.О., АРУТЮНЯН С.А. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОЛИБДАТА СВИНЦА ИЗ МОЛИБДЕНИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	246
САРГСЯН Л.Е., ОГАНЕСЯН А.М., АВЕТИСЯН Л.С. МЕЖФАЗНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СУЛЬФАТАЦИИ СУЛЬФИДНО-МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА	254
МАРУХЯН В.З., АРАКЕЛЯН А.С. СПОСОБЫ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОВАЛА НАГРУЗКИ ДЛЯ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ РАЗЛИЧНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТАВА, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ	260
ПЕТРОСЯН В.Г., ПОСКЮЛЯН К.И., ВАРДАНЯН М.Г. ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ АРМЯНСКОЙ АЭС	269
АБРАМЯН В.К., ЕНГИБАРЯН С.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕКАНИЯ ЗАРЯДОВ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ В НАКОПИТЕЛЬНЫХ ЕМКОСТЯХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ “ГАЗ – ТВЕРДАЯ ФАЗА”	275
АЗАРЯН М.Г. ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ С НАНОМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ В ШИРОКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ	280
МАРТИРОСЯН Л.А. МЕТОД БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ДЛЯ RTL КОМПИЛЯТОРОВ	287
МЕЛИКЯН В.Ш., ГАВРИЛОВ С.В., АГАРОНЯН В.К., АСЛАНЯН Н.К., ОГАНЕСЯН А.С. ВНУТРИКРИСТАЛЬНЫЙ КМОП РЕЗИСТОР ТЕРМИНАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ШИНЫ	295
ПЕТРОСЯН О.А., ТРАВАДЖЯН Л.М., БУНИАТЯН В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОИСТОКОВОЙ ФЕРРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ ПАМЯТИ	304
ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., ГЕВОРГЯН А.А. РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	313
КАЗАРЯН А.С. РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ ГРУНТОВЫХ ВОД	321

CONTENTS

POGOSIAN A.K., MELIKSETYAN N.G. DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ASBESTOS-FREE COMPOSITE FRICTION MATERIAL	235
AGHBALYAN S.G., HOVSEPYAN A.H., HARUTYUNYAN S.A. TECHNOLOGY OF OBTAINING LEAD MOLYBDATE FROM MOLYBDENUM CONCENTRATES BY HYDROMETALLURGICAL METHOD	246
SARGSYAN L.YE., HOVHANNISYAN A.M., AVETISYAN L.S. THE PHASE INTERACTIONS AND CONVERSIONS THE SULPHATIZING PROCESS OF SULPHIDE COPPER CONCENTRATE	254
MARUKHYAN V.Z., ARAKELYAN A.S. THE LEAST LOAD PASSAGE MODES FOR TPP REGULATING ELECTRIC LOADS	260
PETROSYAN V.G., PYUSKYULYAN K.I., VARDANYAN M.G. OPTIMIZATION OF RADIATION MONITORING IN THE AREA OF ARMENIAN NPP	269
ABRAHAMYAN V.K., YENGIBARYAN S.N. MODELING THE PROCESS OF CHARGE LEAKADE OF POWDERY PRODUCTS IN A BUNKER OF TWO-PHASE SYSTEMS “GAS - SOLID PHASE”	275
AZARYAN M.H. POSITIONING WITH NANOMETER ACCURACY IN VERY LARGE-SCALE DYNAMIC RANGE	280
MARTIROSYAN L.A. A QUICK AREA ESTIMATION METHOD FOR RTL COMPILERS	287
MELIKYAN V.SH., GAVRILOV S.V., AHARONYAN V.K., ASLANYAN N.K., HOVHANNISYAN A.S. ON-DIE CMOS TERMINATION RESISTOR FOR USB TRANSMITTER	295
PETROSYAN O.H., TRAVAJYAN L.M., BUNIATYAN V.V. INVESTIGATION ON TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF FERROELECTRIC MULTISOURCE MEMORY CELL	304
TERZYANH.A., SUKIASYAN H.S., GEVORGYANA.A. BOUNDRY PROBLEM PARALLELING INTO MULTIPROCESSOR COMPUTING SYSTEM	313
GHAZARYAN H.S. THE SOLUTION OF SOME BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF FILTRATION CALCULATION OF HORIZONTAL DRAINS AT THE STEADY MOVEMENT OF GROUND WATER	321