

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 3 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. ԱՌՈՅԱՆ, **Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ**, **Ս.Պ. ՂԱՎԹՅԱՆ**, **Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ**,
Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, **ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**, **Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ**,
Ս.Հ. ՄԻՍՈՆՅԱՆ, **Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ**, **Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

ՏՊԱԳՐՎԱԾ Է ՀԱՐԱՎԱՅԻՆ ԿԱԼԻՖՈՐՆԻԱՅԻ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ ՀԱՅ
ԱՍՊԻՐԱՆՏՆԵՐԻ ԵՎ ՄԱԳԻՍՏՐԱՆՏՆԵՐԻ ԸՆԿԵՐԱԿՑՈՒԹՅԱՆ
ՀՈՎԱՆԱՎՈՐՈՒԹՅԱՄԲ

ПЕЧАТАЕТСЯ ПРИ СОДЕЙСТВИИ АССОЦИАЦИИ АРМЯНСКИХ АСПИРАНТОВ И
МАГИСТРАНТОВ ЮЖНО-КАЛИФОРНИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

PRINTED BY THE SUPPORT OF USC ARMENIAN GRADUATE STUDENT'S
ASSOCIATION

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2005

Մ.Գ. ՍՏԱԿՑԱՆ, Կ.Ց. ԻՍԱԽԱՆՅԱՆ

ՀԱՐԹ ԵՎ ԱՍՏԻՃԱՆԱՎՈՐ ԼԻՍԵՌՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Հաղորդում 3. Նոմոգրամ՝ լիսեռների հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների որոշման համար

Լիսեռների τ/σ ռեժիմային պարամետրի և հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների միջև կապի լավարկային ձևի ընտրության նպատակով առաջարկված է լուծման երեք տարբերակ: Առաջին դեպքում, երբ անհրաժեշտ է բարձր ճշտություն ապահովել, $(u-v)$ գծայնացնող կոորդինատային համակարգերի 390 տարբերակներից ընտրվում է առավելագույն ընտրանքային հարաբերակցական գործակից ապահովող տարբերակը: Երկրորդ դեպքում հարաբերակցական կապի սերտության աննշան անկմամբ տարբեր ցուցանիշների համար օգտագործվում է նույն $(u-v)$ համակարգը: Երրորդ դեպքում, ելնելով կապերի նոմոգրաֆիկական ներկայացման պահանջներից, օգտագործում են միննույն $(u-v)$ կոորդինատային համակարգը կամ էլ ընդհանուր կոորդինատային առանցքով համակարգեր: Ներկայացված են $(u-v)$ համակարգերը և ցուցանիշների հետընթացային հավասարումների պարամետրերը, իսկ երրորդ տարբերակի համար՝ նաև ցուցանիշների նոմոգրամները:

Առանցքային բառեր. հոգնածային դիմադրության ցուցանիշներ, գծայնացնող կոորդինատային համակարգ, նոմոգրամ:

[1]-ում իրականացրած վիճակագրական հետազոտությունը բացահայտեց $(T, \pm M)$ փոփոխական բարդ բեռնվածությամբ աշխատող լիսեռների հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների միջև բարդ պարամետրական կապերի առկայությունը: Ցույց է տրվել, որ $F(\sigma_{RN}, \bar{N}_G, C, S_c, S_{lgNr}, \tau/\sigma, N, P(N)) = 0$ ֆունկցիան կարելի է ներկայացնել գծային հետընթացային հավասարումների ընտանիքների մի համակարգով, որում որպես պարամետր հանդես է գալիս չքայքայման $P(N)$ հավանականության մակարդակը բնորոշող՝ Լապլասի նորմավորված ֆունկցիայի z_p քվանտիլը: Այդ հետազոտությունում ձևավորվեց ֆունկցիայի փաթեթի և դրանց համապատասխանող գծայնացնող $(u-v)$ կոորդինատային համակարգերի զանգվածային կիրառումը (44 խումբ ֆունկցիաների 390 տարատեսակներ), որում որպես գծայնացման չափանիշ է վերցված ընտրանքային հարաբերակցական r գործակցի արժեքը, ի հայտ է բերել այլընտրանքային լուծման տարբերակների մի մեծ խումբ, որի համար բավարարվում է $|r| \geq 0,75$ պայմանը: Սա վկայում է բացահայտված կապերի համակարգում գծային հետընթացային հավասարումների տեսքի ընտրության զգալի հնարավորությունների մասին, որն էլ իր հերթին համակարգային մոտեցում է ենթադրում՝ առաջադրված խնդրի լուծման ընդհանրացման մակարդակին,

հաշվարկների հավանական ներկայացման, ճշտության աստիճանին և իրականացման ձևերին (հաշվարկային, գրաֆիկական) համապատասխան:

Ելնելով լիսեռների հաշվարկային մեթոդների ընտրության՝ վերը նշված առանձնահատկություններից, հնարավոր են իրավիճակային լուծման հետևյալ երեք տարբերակները, որոնք հիմնված են նմանատիպ հետազոտություններում դիտարկված և մասնավորապես՝ [1]-ում ներկայացված՝ հարթ և շառավղային անցքով լիսեռների հոգնածային փորձարկումների արդյունքով ստացված վիճակագրական ցուցանիշների վերլուծության վրա:

1. Եթե ցուցանիշների հաշվարկային գնահատումներին ներկայացվում են բարձր ճշտության ապահովման պահանջներ և դրանք իրականացվում են ավտոմատ ռեժիմով, օգտագործելով այդ նպատակով ստեղծված ծրագրային միջոցները [2], կամ էլ դիտարկվում է հոգնածային դիմադրության միայն մեկ ցուցանիշի փոփոխությունը բազմացիկլային հոգնածության տիրույթի որոշակի կետում և չքայքայման հավանականության որոշակի մակարդակով ($N, P(N) = const$), անկախ մյուսների հետ ունեցած պարամետրական կապերից, նպատակահարմար է ընտրել այն ձևափոխիչ ֆունկցիան, որի գծայնացնող ($u-v$) կոորդինատային համակարգը, անկախ հաշվարկային բարդություններից, որոնք հաղթահարվում են նույն ծրագրային միջոցներով, ապահովում է ընտրանքային հարաբերակցական գործակցի $|r_{\max}|$ արժեքը: Այդ արժեքները յուրաքանչյուր ցուցանիշի համար տրված են աղ.1,2-ում: Ընտրած գծայնացնող կոորդինատային համակարգին համապատասխանող ձևափոխիչ ֆունկցիայի միջոցով, նույն ծրագրային ապահովմամբ [2] հնարավոր է հաշվարկել դիտարկվող ցուցանիշները ներկայացնող՝ գծային հավասարման պարամետրերը և կառուցել նրա վստահական միջակայքը:

2. [1]-ում պարամետրական տեսքով ներկայացվող ցուցանիշների (σ_{RNp}, m_p, C_p) հետազոտման և տրամաբանված եզրահանգումների գալու նպատակով գծայնացման ընթացակարգերում ընդունելի է մասնակի ընդհանրացումների կիրարկումը, որոնք որոշ չափով անտեսում են հետազոտվող ցուցանիշների փոփոխության չվերահսկվող պատահական բնույթը և թույլ են տալիս քվանտիլային գծերի ընտանիքի տեսքով նկարագրվող ցուցանիշների ֆունկցիաների ներկայացումը միասնական գծայնացնող ($u-v$) կոորդինատային համակարգում: Որպես կանոն, գծայնացման հնարավոր տարբերակներից ընտրվում է այնպիսին, որը համեմատաբար պարզ ձևափոխիչ ֆունկցիա ունի, ընկալելի է հետազոտողի համար և միաժամանակ ապահովում է $r_{\max}$ -ի ոչ էական նվազում $\Delta r = 0...0,15$ -ի սահմանում, որը հաշվարկային մեծությունների վրա գործնականորեն չի ազդում ($\Delta = 0...5\%$): Նշված ($u-v$) կոորդինատային համակարգերի ընտրության կարգը տրված է [1]-ում, իսկ այդ ընդհանրացնող համակարգերը [1]-ի աղ. 1-3-ում համապատասխան ձևով ստվերապատված են:

Մասնակի ընդհանրացման մեթոդն ունի այն առավելությունը, որ ճշտության ապահովման հետ մեկտեղ պահպանում է հետազոտվող ցուցանիշին առավելագույնս բնորոշ ֆունկցիայի տեսքը, որը կարևոր է տեսական լուծումներ իրականացնելիս:

$r_{\max}$ պայմանին համապատասխանող $(u-v)$ կոորդինատային համակարգերը և գծային հավասարումների պարամետրերը. հարթ փորձանմուշներ

Ցուցանիշ	N	$P(N)$	$(u-v)$	a	$b_{u/v}$	$r_{\max}$
$\sigma_{RN} = f_2(\tau/\sigma, z_p)$	10^5	0,1	$y - x^2$	347,9653	-37,2296	-0,9816
		0,5	$y - x^2$	337,2748	-35,5428	-0,9856
		0,999	$y^{-3} - x^3$	$3,65 \cdot 10^{-8}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	0,9975
	10^6	0,1	$y^{10} - x$	$6,28 \cdot 10^{24}$	$-4,09 \cdot 10^{24}$	-0,9835
		0,5	$y^{-2} - x^2$	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$2,97 \cdot 10^{-6}$	0,9899
		0,999	$y^{-2} - x^2$	$1,62 \cdot 10^{-5}$	$3,36 \cdot 10^{-6}$	0,9977
	$\bar{N}_G$	0,1	$y^{10} - x$	$3,19 \cdot 10^{24}$	$-1,92 \cdot 10^{24}$	-0,9645
		0,5	$y^{10} - x$	$1,90 \cdot 10^{24}$	$-1,11 \cdot 10^{24}$	-0,9641
		0,999	$y^{-2} - x^2$	$2,00 \cdot 10^{-5}$	$2,41 \cdot 10^{-6}$	0,9102
$m = f_4(\tau/\sigma, z_p)$		0,1	$(\lg y)^{10} - x^{10}$	4,8097	0,5530	0,9950
		0,5	$(\lg y)^{10} - x^{10}$	3,1394	0,5000	0,9937
		0,999	$y - x^{10}$	11,4421	0,1355	0,9951
$C = f_5(\tau/\sigma, z_p)$		0,1	$(\lg y)^{10} - x^{10}$	141,1714	5,1281	0,9948
		0,5	$(\lg y)^{10} - x^{10}$	111,9270	4,7943	0,9949
		0,999	$y - x^{10}$	32,9447	0,3269	0,9948
$C = f_6(m, z_p)$		0,1	$e^y - e^x$	$-2,38 \cdot 10^{33}$	$1,81 \cdot 10^{25}$	0,9999
		0,5	$e^y - e^x$	$-4,81 \cdot 10^{31}$	$1,87 \cdot 10^{24}$	0,9999
		0,999	$e^y - e^x$	$-4,36 \cdot 10^{27}$	$7,84 \cdot 10^{21}$	1,0000
$\bar{N}_G = f_3(\tau/\sigma)$			$y^{10} - x^{10}$	1787,86	6421,87	0,9605
$s_m = f_7(\tau/\sigma)$			$y^{-10} - (\lg x)^{-10}$	1,6001	$2,31 \cdot 10^{-23}$	0,8520
$s_C = f_8(\tau/\sigma)$			$(\lg y)^{-10} - (\lg x)^{-10}$	2859,17	$2,03 \cdot 10^{-19}$	0,9966
$s_{\lg N_R} = f_9(\tau/\sigma)$			$y^{-10} - x^{-10}$	$-0,14 \cdot 10^6$	$5,10 \cdot 10^6$	0,9741

3. Նույն հետազոտության շրջանակներում հոգնաձային փորձարկումների որոշակի խմբի ցուցանիշների համալիր հաշվարկային գնահատումներ իրականացնելու և գրաֆիկական եղանակներով դրանք արագ որոշելու նպատակով, որոնք հիմնականում կիրառվում են նախագծային և որոնողական հետազոտություններում, կոդմոնորոշիչ հաշվարկներում կամ էլ արտադրական պայմաններում, նպատակահարմար է հոգնաձային դիմադրության ցուցանիշների հավասարումների համակարգը

ներկայացնել նոմոգրաֆիական տեսքով, որի օգնությամբ, պարզ գրաֆիկական կառուցումներով կարելի է ստանալ հետաքրքրող բոլոր ցուցանիշների կողմնորոշիչ արժեքները: Այս դեպքում գծայնացնող կոորդինատային համակարգերի ընդհանրացման աստիճանը պետք է համեմատաբար բարձր լինի, որը թելադրվում է նոմոգրաֆիայի մեթոդից՝ նույն կոորդինատային քառորդամասում երկու և ավելի ցուցանիշների միաժամանակ ներկայացման համար մեկ կամ երկու ընդհանուր կոորդինատային առանցքներով նկարագրվող ֆունկցիաների առկայությունը: Կարևոր է նաև հնարավորին չափ պարզ և առաջին աստիճանով նկարագրվող ֆունկցիաների կիրառումը, որը հեշտացնում է օգտագործողի կողմից ստացված կապերի ընկալումը և բացառում տարբեր կոորդինատային համակարգեր անցնելու պատճառով բարդ գրաֆիկական կառուցումները: Նման ընդհանրացումներն անխուսափելիորեն հանգեցնելու են գծային հարաբերակցական կապի սերտության աստիճանի նվազեցմանը $\Delta r = 0,30 \dots 0,35$ չափով, որն էլ ցուցանիշների արժեքների որոշման դեպքում սխալները կհասցնի մինչև $\Delta = 0 \dots 15\%$ -ի: Սակայն, հաշվի առնելով, որ հիմնական ցուցանիշները՝ դիմացկունության սահմանը և ցիկլային երկարակեցությունները, լոգարիթմական կապով են ներկայացվում, այդ սխալը σ_{RN_p} -ի համար չի գերազանցում $6 \dots 7\%$ -ը, իսկ N_p -ի համար՝ $15 \dots 18\%$ -ը, որը ամրության և երկարակեցության կողմնորոշիչ հաշվարկներում ընդունելի է:

Ելնելով վերոհիշյալից՝ հարթ և միջանցիկ շառավղային անցքով փորձանմուշների համար, ըստ կ.1-ի պահանջների՝ հաշվարկված են $r_{\max}$ -ին համապատասխանող դիտարկվող ցուցանիշների համակարգի հավասարումների պարամետրերը (աղ. 1,2):

Կ. 2-ին համապատասխանող գծայնացնող ֆունկցիաների խումբը ստվերապատված է [1]-ի աղ.1-3-ում:

Կ. 3-ի պահանջները բավարարելու համար նախապես անհրաժեշտ է նշված համակարգի ֆունկցիաները խմբավորել ըստ կոորդինատային քառորդամասերի՝ ելնելով այդ ֆունկցիաների ներկայացման ընդունված տեսքից և գրաֆիկական կառուցումների նպատակահարմարությունից: 1-ին քառորդամասում որպես մեկնարկային՝ $(\lg y - \lg x)$ համակարգով տրվում են $\sigma_{RN} = f_1(N, z_p)$ ֆունկցիայի քվանտիլային գծերի ընտանիքները τ/σ -ի ընդհատուն արժեքների համար, 2-րդ քառորդամասում՝ $(\lg y - x)$ համակարգով $\sigma_{RN} = f_2(\tau/\sigma, z_p)$ ֆունկցիայի քվանտիլային գծերի ընտանիքը՝ N -ի ընդհատուն արժեքների համար, ինչպես նաև $\bar{N}_G = f_3(\tau/\sigma)$ և $s_{\lg N_r} = f_9(\tau/\sigma)$ ֆունկցիաները: 3-րդ քառորդամասում ներկայացվող $m = f_4(\tau/\sigma, z_p)$, $C = f_5(\tau/\sigma, z_p)$ ֆունկցիաների քվանտիլային գծերի ընտանիքների և $s_m = f_7(\tau/\sigma)$, $s_C = f_8(\tau/\sigma)$ ֆունկցիաների համար ընդհանուր է τ/σ արգումենտը, որի պատճառով Ox կոորդինատային առանցքը նույնն է մնում և օգտագործվում է $(y-x)$ համակարգը, որն ապահովում է տվյալների գրաֆիկական պարզ անցումը 2-ից 3-րդ քառորդամաս: Նույն նկատառումներից ելնելով՝ 4-րդ քառորդամասում $(y-x)$ համակարգով ներկայացված է $C = f_6(m, z_p)$ ֆունկցիաների քվանտիլային գծերի ընտանիքը:

Նույնը՝ շառավղային միջանցիկ անցքով փորձանմուշների համար

Ցուցանիշ	N	$P(N)$	$(u-v)$	a	$b_{u/v}$	$r_{\max}$
$\sigma_{RN} = f_2(\tau/\sigma, z_p)$	10^5	0,1	$y^{-10} - (\lg x)^{-10}$	$2,03 \cdot 10^{-22}$	$2,65 \cdot 10^{-45}$	0,9103
		0,5	$y^{10} - x^{-10}$	$2,52 \cdot 10^{21}$	188,5570	0,9711
		0,999	$y^{10} - x^{-10}$	5,5299	64,7636	0,9929
	10^6	0,1	$e^{-y} - x^{10}$	$-2,19 \cdot 10^{-37}$	$6,17 \cdot 10^{-36}$	0,9957
		0,5	$y^{10} - x^{-10}$	$2,18 \cdot 10^{19}$	5,0156	0,9990
		0,999	$y^{10} - x^{-10}$	$1,91 \cdot 10^{18}$	0,7979	0,9998
	$\bar{N}_G$	0,1	$e^{-y} - x^{10}$	$-5,30 \cdot 10^{-30}$	$1,49 \cdot 10^{-28}$	0,9957
		0,5	$\lg y - x$	1,9414	-0,1611	-0,9999
		0,999	$y^{10} - x^{-10}$	$8,98 \cdot 10^6$	0,0202	0,9988
$m = f_4(\tau/\sigma, z_p)$	0,1		$e^y - x^2$	761,3406	-588,1688	-0,7778
	0,5		$y^{10} - e^x$	$12,5 \cdot 10^7$	$-4,28 \cdot 10^7$	-0,8403
	0,999		$y^{10} - \lg x$	$2,69 \cdot 10^6$	$-5,1 \cdot 10^7$	-0,9225
$C = f_5(\tau/\sigma, z_p)$	0,1		$e^y - x$	$40,8 \cdot 10^7$	$-41,9 \cdot 10^7$	-0,9640
	0,5		$e^y - e^{-x}$	$-81,0 \cdot 10^6$	$22,4 \cdot 10^7$	0,9796
	0,999		$e^y - e^{-x}$	$-6,21 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^7$	0,9638
$C = f_6(m, z_p)$	0,1		$e^{-y} - x^{-9}$	$-1,13 \cdot 10^{-8}$	0,3688	0,9999
	0,5		$e^{-y} - x^{-6}$	$-5,73 \cdot 10^{-8}$	0,0037	0,9998
	0,999		$y^{-10} - e^{-x}$	$-1,84 \cdot 10^{-12}$	$4,48 \cdot 10^{-10}$	0,9999
$\bar{N}_G = f_3(\tau/\sigma)$			$y^{10} - (\lg x)^{10}$	$0,88 \cdot 10^6$	$0,154 \cdot 10^6$	0,9999
$s_m = f_7(\tau/\sigma)$			$(\lg y)^{10} - x^{10}$	0,0004	0,0168	0,9991
$s_C = f_8(\tau/\sigma)$			$(\lg y)^{10} - (\lg x)^{10}$	$2,84 \cdot 10^{-9}$	$1,24 \cdot 10^{-29}$	0,9999
$s_{\lg N_R} = f_9(\tau/\sigma)$			$y^{-10} - (\lg x)^{-10}$	$40,0 \cdot 10^7$	$5,93 \cdot 10^{-14}$	0,9999

Աղ. 3,4-ում տրված են ընդհանրացնող $(u-v)$ կոորդինատային համակարգերը և գծային հավասարումների պարամետրերը, իսկ նկ.1,2-ում՝ վերոհիշյալ նոմոգրամները և հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների որոշման գրաֆիկական ընթացակարգերը [3]:

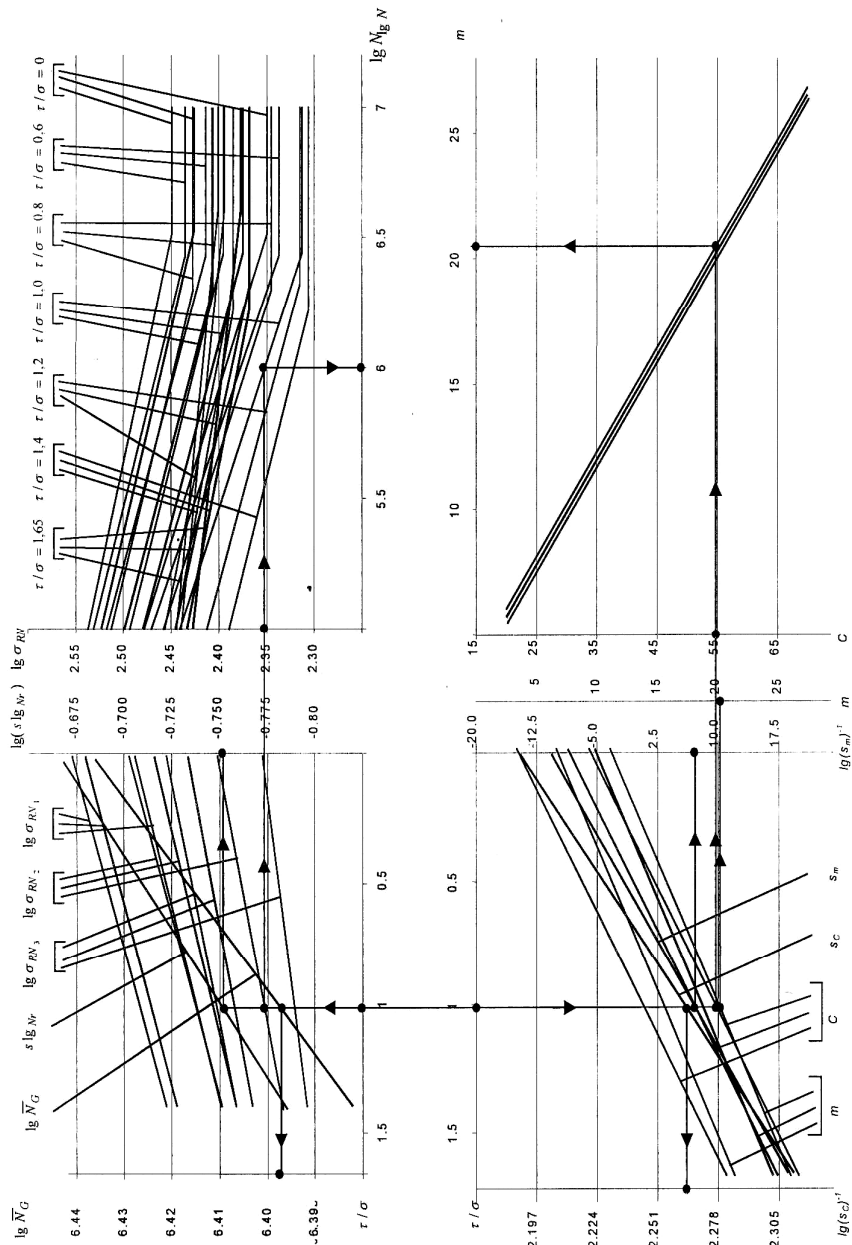
Նոմոգրամում օգտագործված $(u-v)$ կոորդինատային համակարգերին համապատասխանող գծային հավասարումների պարամետրերը, հարթ փորձանմուշներ

Ցուցանիշ	N	$P(N)$	$(u-v)$	a	$b_{u/v}$	$r_{\max}$
$\sigma_{RN} = f_2(\tau/\sigma, z_p)$	10^5	0,1	$\lg y - x$	2,5549	-0,0704	-0,9089
		0,5		2,5413	-0,0694	-0,9151
		0,999		2,4951	-0,0643	-0,9104
	10^6	0,1	$\lg y - x$	2,4896	-0,0648	-0,9557
		0,5		2,4695	-0,0624	-0,9629
		0,999		2,4030	-0,0528	-0,9605
	$\bar{N}_G$	0,1	$\lg y - x$	2,4569	-0,0531	-0,9339
		0,5		2,4337	-0,0491	-0,9352
		0,999		2,3554	-0,0335	-0,8849
$m = f_4(\tau/\sigma, z_p)$		0,1	$y - x$	10,9389	9,0868	0,6304
		0,5		9,6958	9,0030	0,6338
		0,999		6,5016	8,9627	0,6501
$C = f_5(\tau/\sigma, z_p)$		0,1	$y - x$	33,5129	21,0835	0,6106
		0,5		29,9817	21,1043	0,6186
		0,999		21,4702	21,1546	0,6360
$C = f_6(m, z_p)$		0,1	$y - x$	6,6728	2,3947	0,9996
		0,5		6,2757	2,3993	0,9997
		0,999		5,3426	2,4123	0,9998
$\bar{N}_G = f_3(\tau/\sigma)$			$\lg y - x$	6,4400	-0,0375	-0,7542
$s_m = f_7(\tau/\sigma)$			$(\lg y)^{-1} - x$	-14,7828	20,7654	0,8070
$s_C = f_8(\tau/\sigma)$			$(\lg y)^{-1} - x$	2,2030	0,0645	0,6796
$s_{\lg N_R} = f_9(\tau/\sigma)$			$\lg y - x$	-0,6679	-0,0843	-0,6166

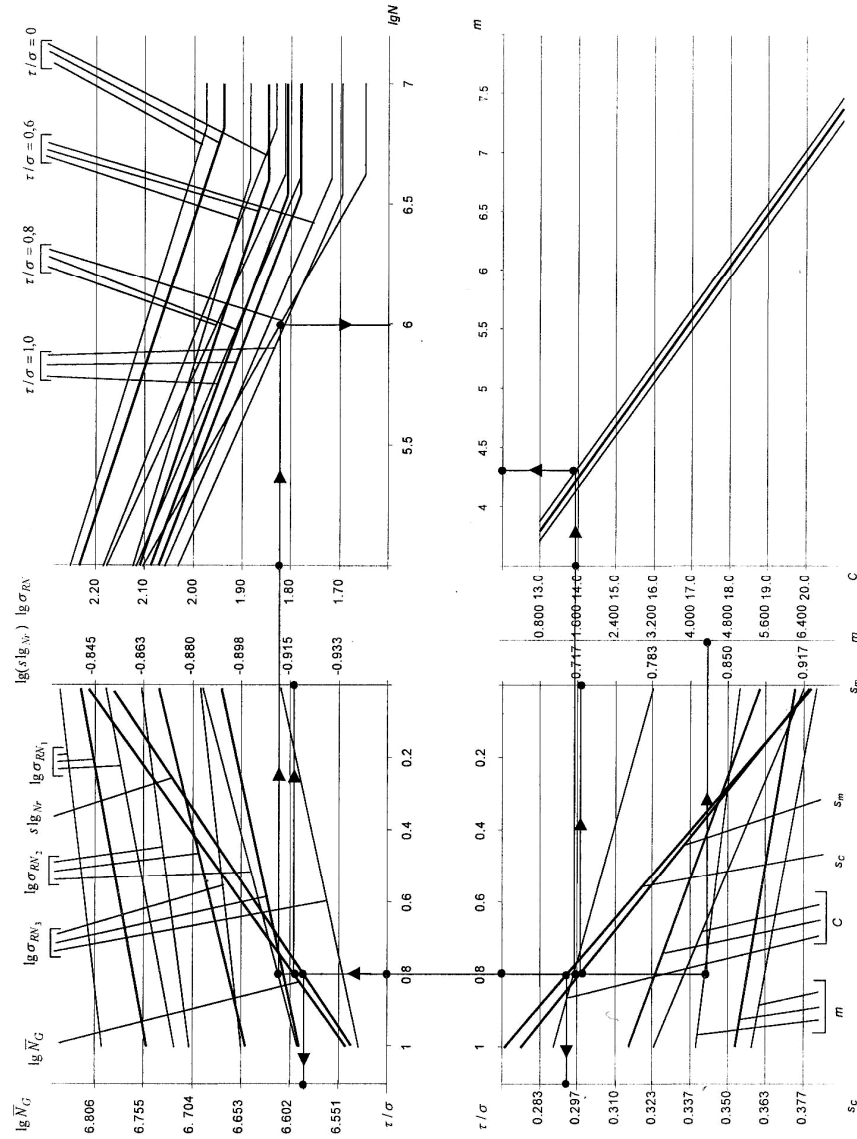
Նույնը՝ շառավղային միջանցիկ անցքով փորձանմուշների համար

Ցուցանիշ	N	$P(N)$	$(u-v)$	a	$b_{u/v}$	$r_{\max}$
$\sigma_{RN} = f_2(\tau/\sigma, z_p)$	10^5	0,1	$\lg y - x$	2,2554	-0,0624	-0,7838
		0,5		2,2303	-0,1362	-0,8236
		0,999		2,1786	-0,1403	-0,8884
	10^6	0,1	$\lg y - x$	2,1052	-0,0994	-0,8286
		0,5		2,0711	-0,1809	-0,9756
		0,999		1,9814	-0,1887	-0,9692
	$\bar{N}_G$	0,1	$\lg y - x$	1,9852	-0,0861	-0,8223
		0,5		1,9414	-0,1611	0,9999
		0,999		1,8210	-0,1625	-0,8804
$m = f_4(\tau/\sigma, z_p)$		0,1	$y - x$	6,7281	-1,3962	-0,6734
		0,5		6,2412	-1,2640	-0,6716
		0,999		5,0677	-0,9455	-0,6070
$C = f_5(\tau/\sigma, z_p)$		0,1	$y - x$	20,0760	-4,0182	-0,7903
		0,5		18,9038	-3,5259	-0,8173
		0,999		16,0416	-2,6775	-0,7489
$C = f_6(m, z_p)$		0,1	$y - x$	3,4431	2,4139	0,9843
		0,5		4,5210	2,2367	0,9757
		0,999		4,3213	2,2367	0,9788
$\bar{N}_G = f_3(\tau/\sigma)$			$\lg y - x$	6,8096	-0,2721	-0,9640
$s_m = f_7(\tau/\sigma)$			$y - x$	0,3798	-0,1030	-0,6504
$s_C = f_8(\tau/\sigma)$			$y - x$	0,9264	-0,2745	-0,5462
$s_{\lg N_R} = f_9(\tau/\sigma)$			$\lg y - x$	-0,8359	-0,1136	-0,5287

Նկ.1-ում այդ կառուցումները սկսվում են 2-րդ քառորդամասից, ուր որպես մեկնարկային է վերցված $\tau/\sigma=1$ արժեքը: Վերև բարձրանալիս՝ որոշվում են $\bar{N}_G$ և $s_{\lg N_R}$ արժեքները, σ_{RN_2} - ը ($N=10^6$, $P(N)=0,999$), իսկ 1-ին քառորդամաս մտնելիս $\tau/\sigma=1$, $P(N)=0,999$ -ին համապատասխանող հոգնածային քվանտիլային կորով ստուգվում է $N=10^6$ արժեքը: 2-րդ քառորդամասից 3-րդը մտնելիս որոշվում են s_c , s_m արժեքները, և C -ն, m -ը՝ $P(N)=0,1$ -ի դեպքում և ստուգվում m -ի արժեքը՝ 4-րդ քառորդամասում: Նմանատիպ կառուցումներ են տրված նկ. 2-ում՝ $\tau/\sigma=0,8$ արժեքի համար:



Նկ. 1. $F(\sigma_{RN}, \bar{N}_G, C, s_c, s_{lgNr}, \tau/\sigma, N, P(N)) = 0$ նոմոգրամը հարթ փորձանմուշների համար



Նկ. 2. $F(\sigma_{RN}, \bar{N}_G, C, m, s_m, s_c, s_{\lg N_R}, \tau/\sigma, N, P(N)) = 0$ նմուզրամը միջանցիկ շառավղային անցքով փորձանմուշների համար

Առաջադրված նոմոգրամները ճկուն կառուցվածք ունեն և թույլ են տալիս իրականացնել նաև այլ մեկնարկային ընթացակարգեր պարամետրերի որոշման տարբեր հաջորդականություններով և զուգորդումներով, որոնք բխում են լիսենների ամրության, երկարակեցության և հուսալիության առաջադրված խնդիրների լուծման տրամաբանությունից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ստակյան Մ.Գ., Իսախանյան Վ.Յ.** Հարթ և աստիճանավոր լիսենների հոգնածային դիմադրության հավանական գնահատումը. Հաղորդում 2. Լիսենների հոգնածային դիմադրության ցուցանիշների որոշման հաշվարկային մեթոդ // ՀԳԱԱ և ՀՊՃՀ տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. – 2004. – Հատ.57, N3. – Էջ 369-380.
2. **Стакян М.Г., Демирханян А.Р.** Уравнение кривой усталости с учетом “порога чувствительности” по долговечностям. **Сообщ. 1.** Исследование “порога чувствительности” // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.2002. – Т 55, N3.-С.338 – 348.
3. **Իսախանյան Վ.Յ.** Հարթ և աստիճանավոր լիսենների հոգնածային դիմադրության հավանական գնահատումը: Տեխն. գիտ. թեկն. ատեն.: Ե.02.01 – Պաշտպ. 23.05.03. – 146 էջ:

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.10.2003:

М.Г. СТАКЯН, К.Ц. ИСАХАНИЯН ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ГЛАДКИХ И СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Сообщение 3. Номограмма для определения показателей сопротивления усталости валов

Предложены три варианта решения для выбора оптимальной формы связи между режимным параметром τ/σ и показателями сопротивления усталости валов. В первом случае, когда ставится задача обеспечения высокой точности расчетов, из предложенных 390 вариантов выбирается линеаризующая координатная система $(u - v)$, обеспечивающая максимальный выборочный коэффициент корреляции $|r_{\max}|$. Во втором случае путем незначительной потери тесноты корреляционной связи для разных показателей используется аналогичная система координат $(u - v)$. Для третьего случая, исходя из требований номографического представления связей, выбирают ту же систему $(u - v)$ или системы с общей координатной осью. Представлены системы $(u - v)$ и параметры уравнений регрессии, а для третьего варианта – также номограммы показателей.

M.G. STAKYAN, K.Ts. ISSAKHANYAN PROBABILITY ESTIMATION OF SMOOTH AND STEPPED SHAFT FATIGUE RESISTANCE

Report 3. Nomograph for determining shaft fatigue resistance factors

Three decision versions for optimum form coupled to operating condition τ/σ and shaft fatigue resistance factors are proposed. For the first version when a task is set to provide high fidelity of the design a linearizing coordinate system $(u-v)$ with maximum option correlation coefficient $|r_{\max}|$ is selected from 390 proposed versions. The similar system $(u-v)$ is used for different factors by insignificant losses of correlation in the second version. Proceeding from the claims of nomograph representation links the same system $(u-v)$ or systems with a total coordinate axis is selected for the third version. Systems $(u-v)$ and equation parameters of regression as well as nomograph factors for the third version are given.

А.Р. ПАПОЯН

ОБОБЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРУТИЛЬНО-ФОРМИРУЮЩИХ ОРГАНОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН С СООСНЫМИ РОТОРАМИ

Предлагается обобщенная динамическая модель для расчета всех основных типов текстильных роторных систем. Приводится полное математическое описание обобщенной динамической модели, дана методика её трансформирования в частные модели.

Ключевые слова: обобщенная динамическая модель, уравнение движения, трансформация, частная модель.

Рассмотренная в [1] динамическая модель системы с двумя соосными роторами предназначена для анализа прядильных камер и не может быть непосредственно использована для исследования динамики веретен и других текстильных роторных механизмов, имеющих широкое распространение. Следует отметить, что веретена, центрифуги и другие приемно-намоточные механизмы в динамическом отношении являются более сложными объектами, чем прядильные камеры. Это связано в первую очередь с наличием в данных механизмах паковок с пряжей или нитью, масса которых изменяется в процессе наматывания. Кроме того, намотка производится на патроны или катушки, упруго насаживаемые на вращающиеся шпиндели, что вносит в динамические модели дополнительные степени свободы и увеличивает количество дифференциальных уравнений, необходимых для математического описания движения роторных систем.

Разработка обобщенной динамической модели для роторных систем текстильных машин позволяет создать универсальный программный пакет для моделирования и численного расчета текстильной роторной системы любой конструкции.

На рис.1 изображены предлагаемая обобщенная трехроторная динамическая модель с двенадцатью степенями свободы (а) и система обобщенных координат (б). На базе этой модели можно исследовать динамические характеристики как прядильных камер, так и веретен, бобинодержателей, центрифуг, несущих паковки с пряжей. В предлагаемой модели система представлена в виде двух жестких роторов 1 и 2, упруго связанных между собой и, посредством упругих опор ротора 2, с неподвижным корпусом. Упругие свойства всех опор считаются линейными и изотропными. Здесь ввиду малости не учитываются продольные перемещения роторов, а также влияние упругих свойств ременной передачи на условия их работы [2].

В указанной модели, по сравнению с предложенной в [1], дополнительно введен инерционный элемент 3, вращающийся с угловой скоростью ω_3 , который с помощью упругих элементов установлен на шпинделе 1. Используются следующие

обозначения: m_1 , m_2 и m_3 - массы роторов и элемента, насаженного на шпиндель веретена (паковка, катушка и т.д.); J_1 , J_2 и J_3 - осевые моменты инерции масс; A_1 , A_2 и A_3 - экваториальные моменты инерции массы; $c_{11}/2$, $c_{12}/2$, $c_{21}/2$, $c_{22}/2$ - коэффициенты жесткости левых и правых опор роторов; $c_{31}/2$ и $c_{32}/2$ - коэффициенты жесткости упругих элементов, с помощью которых упаковка установлена на шпинделе 1; C_{R1}^* , C_{R2}^* - жесткости, учитывающие упругое взаимодействие роторов с их приводными органами (ремни, ролики, диски и т.д.); $\xi_{11}/2$, $\xi_{12}/2$, $\xi_{21}/2$, $\xi_{22}/2$, $\xi_{31}/2$ и $\xi_{32}/2$ - коэффициенты демпфирования; ω_1 , ω_2 и ω_3 - угловые скорости роторов.

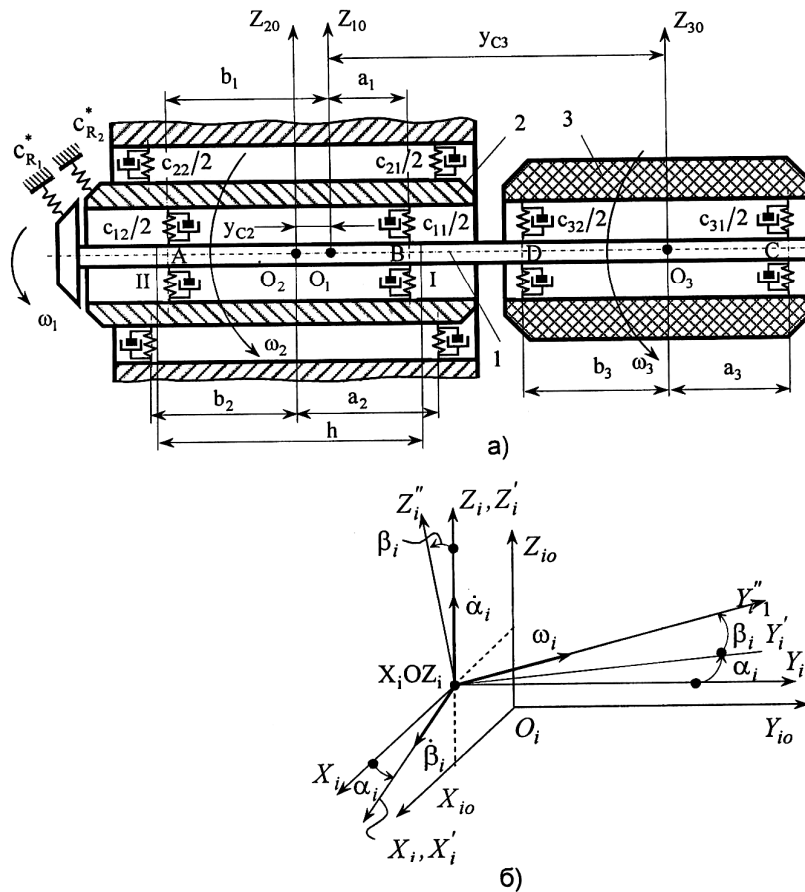


Рис.1. Обобщенная динамическая модель (а) и система координат для исследования текстильных соосных роторов (б)

Данная модель за счет соответствующего выбора ее исходных параметров может быть трансформирована в частные модели, позволяющие исследовать различные типы веретен и прядильных камер. В процессе трансформирования обобщенной модели следует учитывать как физический вид моделей, так и особенности их математического описания, включая используемые методы численного решения уравнений движения. Так, для удаления из обобщенной модели какого-либо ее инерционного элемента необходимо исключить все упруго-демпфирующие связи, соединяющие этот элемент с другими элементами модели. Например, для исключения из обобщенной модели инерционного элемента 3 (рис.1 а) следует положить $c_{31} = c_{32} = \xi_{31} = \xi_{32} = 0$ и $\omega_3 = 0$. В то же время для этой же цели нельзя вводить физически оправданные значения $m_3 = 0$ и $A_3 = 0$, так как при используемом численном методе решения уравнений движения с помощью разложения в ряды Тейлора в вычислительном алгоритме будет присутствовать невыполнимая операция деления на ноль. (Наоборот, для стабилизации вычислительного процесса целесообразно принимать для этих величин большие значения: порядка $m_3 = 10^8 \text{ кг}$ и $A_3 = 10^8 \text{ кгм}^2$, хотя допустимо выбирать эти значения на уровне значений других инерционных параметров системы.

Если какой-либо инерционный элемент необходимо представить в модифицированной модели неподвижным, то достаточно устремить к бесконечности его массу и экваториальный момент инерции массы. Осевой момент инерции при этом следует принять равным нулю. Например, для реализации в модели неподвижности инерционного элемента 2 в качестве исходных данных в вычислительную программу следует ввести величины порядка: $m_2 = 10^8 \text{ кг}$, $A_2 = 10^8 \text{ кгм}^2$, $J_2 = 0$, $\omega_2 = 0$.

В таблице приведен ряд основных частных моделей и указаны значения параметров обобщенной модели, позволяющие перейти от нее к соответствующим частным видам моделей.

В таблице римскими цифрами обозначены следующие модификации обобщенной модели: **I** – модель веретена с двумя соосными роторами и упруго закрепленной паковкой на консольной части быстроходного шпинделя 1; **II** – модель обычного веретена с упруго закрепленной паковкой на консольной части шпинделя 1; **III** – модель веретена с неподвижным шпинделем 1 и упруго закрепленной на нем паковкой m_3 (вращение осуществляется без передачи радиальных усилий), опорой служит элемент 2; **IV** – модель веретена с неподвижным шпинделем 1 и упруго закрепленной на нем паковкой m_2 (вращение может осуществляться как с передачей, так и без передачи радиальных усилий), опорой служит элемент 3; **V** – модель прядильной камеры с двумя соосными роторами; **VI** – модель обычной однороторной прядильной камеры; **VII** – модель веретена с инерционно-упругим амортизатором или с динамическим гасителем колебаний; **VIII** – модель шпинделя, вращающегося в четырех упругих опорах; **IX** – модель фрикционного намоточного механизма с учетом упругих свойств паковки.

Таблица

№	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
m₁	m ₁	m ₁	10 ⁸	10 ⁸	m ₁	m ₁	m ₁	m ₁	10 ⁸
m₂	m ₂	10 ⁸	10 ⁸	m ₂	m ₂	10 ⁸	m ₂	10 ⁸	m ₂
m₃	m ₃	m ₃	m ₃	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	m ₃	10 ⁸	m ₃
A₁	A ₁	A ₁	10 ⁸	10 ⁸	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	10 ⁸
A₂	A ₂	10 ⁸	10 ⁸	A ₂	A ₂	10 ⁸	A ₂	10 ⁸	A ₂
A₃	A ₃	A ₃	A ₃	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	A ₃	10 ⁸	A ₃
J₁	J ₁	J ₁	0	0	J ₁	J ₁	J ₁	J ₁	0
J₂	J ₂	0	0	J ₂	J ₂	0	0	0	J ₂
J₃	J ₃	J ₃	J ₃	0	0	0	J ₃	0	0
c₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁	c ₁₁
c₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂	c ₁₂
c₂₁	c ₂₁	c ₂₁	c ₂₁	0	c ₂₁	c ₂₁	c ₂₁	c ₂₁	c ₂₁
c₂₂	c ₂₂	c ₂₂	c ₂₂	0	c ₂₂	c ₂₂	c ₂₂	c ₂₂	c ₂₂
c₃₁	c ₃₁	c ₃₁	c ₃₁	c ₃₁	0	0	c ₃₁	c ₃₁	0
c₃₂	c ₃₂	c ₃₂	c ₃₂	c ₃₂	0	0	c ₃₂	c ₃₂	0
ω₁	ω ₁	ω ₁	0	0	ω ₁	ω ₁	ω ₁	ω ₁	0
ω₂	ω ₂	0	0	ω ₂	ω ₂	0	0	0	ω ₂
ω₃	ω ₁	ω ₁	ω ₃	0	0	0	ω ₁	0	0

Для имитации усилия прижима паковки к фрикционному цилиндру можно в середине паковки расположить элемент C_{R2}^* или дополнительно приложить к элементу m_2 постоянную силу. Необходимо отметить, что модели веретен практически без изменений могут быть использованы для исследования различных конструкций бобинодержателей и приемно-намоточных механизмов машин химических волокон.

Из обобщенной динамической модели можно также получить и другие варианты моделей, такие как модель шпинделя на трех опорах, модели прядильных камер с упругими амортизаторами и т.д. Очевидно, что затраты труда на разработку алгоритма и программного обеспечения для анализа предлагаемой обобщенной модели существенно увеличиваются, однако, учитывая их однократность, следует считать целесообразным использование обобщенной модели при разработке программного пакета для исследования различных схем текстильных роторных систем в рамках единой математической, алгоритмической и методологической основы.

При составлении уравнений движения обобщенной модели используем уравнение Лагранжа II рода в форме [3]. Для этого на первом этапе, не учитывая воздействие приводных элементов на динамические характеристики роторной системы и пренебрегая малостями выше второго порядка, получим выражения кинетической (T_1) и потенциальной (Π_1) энергии и диссипативной функции (Φ_1):

$$T_1 = 0,5 \left[m_1 \cdot (\dot{x}_1^2 + \dot{z}_1^2) + J_1 \cdot (\omega_1 + \dot{\alpha}_1 \cdot \beta_1)^2 + A_1 \cdot (\dot{\alpha}_1^2 + \dot{\beta}_1^2) + \right. \\ \left. + m_2 \cdot (\dot{x}_2^2 + \dot{z}_2^2) + J_2 \cdot (\omega_2 + \dot{\alpha}_2 \cdot \beta_2)^2 + A_2 \cdot (\dot{\alpha}_2^2 + \dot{\beta}_2^2) + \right. \\ \left. + m_3 \cdot (\dot{x}_3^2 + \dot{z}_3^2) + J_3 \cdot (\omega_3 + \dot{\alpha}_3 \cdot \beta_3)^2 + A_3 \cdot (\dot{\alpha}_3^2 + \dot{\beta}_3^2) \right], \quad (1)$$

$$\Pi_1 = 0,5c_{11} \left\{ \left[x_2 - (a_1 - y_{c2}) \cdot \alpha_2 - x_1 + a_1 \cdot \alpha_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[z_2 + (a_1 - y_{c2}) \cdot \beta_2 - z_1 - a_1 \cdot \beta_1 \right]^2 \right\} + \\ + 0,5c_{12} \left\{ \left[x_2 - (b_1 - y_{c2}) \cdot \alpha_2 - x_1 + b_1 \cdot \alpha_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[z_2 + (b_1 - y_{c2}) \cdot \beta_2 - z_1 - b_1 \cdot \beta_1 \right]^2 \right\} + \\ + 0,5c_{21} \left[(x_2 - a_2 \cdot \alpha_2)^2 + (z_2 + a_2 \cdot \beta_2)^2 \right] + \\ + 0,5c_{22} \left[(x_2 - b_2 \cdot \alpha_2)^2 + (z_2 + b_2 \cdot \beta_2)^2 \right] + \\ + 0,5c_{31} \left\{ \left[x_3 - a_3 \cdot \alpha_3 - x_1 + (a_3 + y_{c3}) \cdot \alpha_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[z_3 + a_3 \cdot \beta_3 - z_1 - (a_3 + y_{c3}) \cdot \beta_1 \right]^2 \right\} + \\ + 0,5c_{32} \left\{ \left[x_3 - b_3 \cdot \alpha_3 - x_1 + (b_3 + y_{c3}) \cdot \alpha_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[z_3 + b_3 \cdot \beta_3 - z_1 - (b_3 + y_{c3}) \cdot \beta_1 \right]^2 \right\}, \quad (2)$$

$$\Phi_1 = 0,5\xi_{11} \left\{ \left[\dot{x}_2 - (a_1 - y_{c2}) \cdot \dot{\alpha}_2 - \dot{x}_1 + a_1 \cdot \dot{\alpha}_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[\dot{z}_2 + (a_1 - y_{c2}) \cdot \dot{\beta}_2 - \dot{z}_1 - a_1 \cdot \dot{\beta}_1 \right]^2 \right\} + \\ + 0,5\xi_{12} \left\{ \left[\dot{x}_2 - (b_1 - y_{c2}) \cdot \dot{\alpha}_2 - \dot{x}_1 + b_1 \cdot \dot{\alpha}_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[\dot{z}_2 + (b_1 - y_{c2}) \cdot \dot{\beta}_2 - \dot{z}_1 - b_1 \cdot \dot{\beta}_1 \right]^2 \right\} + \\ + 0,5\xi_{21} \left[(\dot{x}_2 - a_2 \cdot \dot{\alpha}_2)^2 + (\dot{z}_2 + a_2 \cdot \dot{\beta}_2)^2 \right] + \\ + 0,5\xi_{22} \left[(\dot{x}_2 - b_2 \cdot \dot{\alpha}_2)^2 + (\dot{z}_2 + b_2 \cdot \dot{\beta}_2)^2 \right] + \\ + 0,5\xi_{31} \left\{ \left[\dot{x}_3 - a_3 \cdot \dot{\alpha}_3 - \dot{x}_1 + (a_3 + y_{c3}) \cdot \dot{\alpha}_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[\dot{z}_3 + a_3 \cdot \dot{\beta}_3 - \dot{z}_1 - (a_3 + y_{c3}) \cdot \dot{\beta}_1 \right]^2 \right\} + \\ + 0,5\xi_{32} \left\{ \left[\dot{x}_3 - b_3 \cdot \dot{\alpha}_3 - \dot{x}_1 + (b_3 + y_{c3}) \cdot \dot{\alpha}_1 \right]^2 + \right. \\ \left. + \left[\dot{z}_3 + b_3 \cdot \dot{\beta}_3 - \dot{z}_1 - (b_3 + y_{c3}) \cdot \dot{\beta}_1 \right]^2 \right\}. \quad (3)$$

После подстановки выражений T_1 , Π_1 и Φ_1 в уравнение Лагранжа получим следующую систему из двенадцати уравнений движения:

$$m_1 \ddot{x}_1 + n_{1,1} \dot{x}_1 + n_{1,2} \dot{x}_2 + n_{1,3} \dot{x}_3 + n_{1,7} \dot{\alpha}_1 + n_{1,8} \dot{\alpha}_2 + n_{1,9} \dot{\alpha}_3 + \\ + c_{1,1} x_1 + c_{1,2} x_2 + c_{1,3} x_3 + c_{1,7} \alpha_1 + c_{1,8} \alpha_2 + c_{1,9} \alpha_3 = P_{x1}, \\ m_2 \ddot{x}_2 + n_{2,1} \dot{x}_1 + n_{2,2} \dot{x}_2 + n_{2,7} \dot{\alpha}_1 + n_{2,8} \dot{\alpha}_2 + \\ + c_{2,1} x_1 + c_{2,2} x_2 + c_{2,7} \alpha_1 + c_{2,8} \alpha_2 = P_{x2},$$

$$\begin{aligned}
& m_3 \ddot{x}_3 + n_{3,1} \dot{x}_1 + n_{3,3} \dot{x}_3 + n_{3,7} \dot{\alpha}_1 + n_{3,9} \dot{\alpha}_3 + \\
& + c_{3,1} x_1 + c_{3,3} x_3 + c_{3,7} \alpha_1 + c_{3,9} \alpha_3 = P_{x3}, \\
& m_1 \ddot{z}_1 + n_{4,4} \dot{z}_1 + n_{4,5} \dot{z}_2 + n_{4,6} \dot{z}_3 + n_{4,10} \dot{\beta}_1 + n_{4,11} \dot{\beta}_2 + n_{4,12} \dot{\beta}_3 + \\
& + c_{4,4} z_1 + c_{4,5} z_2 + c_{4,6} z_3 + c_{4,10} \beta_1 + c_{4,11} \beta_2 + c_{4,12} \beta_3 = P_{z1}, \\
& m_2 \ddot{z}_2 + n_{5,4} \dot{z}_1 + n_{5,5} \dot{z}_2 + n_{5,10} \dot{\beta}_1 + n_{5,11} \dot{\beta}_2 + \\
& + c_{5,4} z_1 + c_{5,5} z_2 + c_{5,10} \beta_1 + c_{5,11} \beta_2 = P_{z2}, \\
& m_3 \ddot{z}_3 + n_{6,4} \dot{z}_1 + n_{6,6} \dot{z}_3 + n_{6,10} \dot{\beta}_1 + n_{6,12} \dot{\beta}_3 + \\
& + c_{6,4} z_1 + c_{6,6} z_3 + c_{6,10} \beta_1 + c_{6,12} \beta_3 = P_{z3}, \\
& A_1 \ddot{\alpha}_1 - J_1 \omega_1 \dot{\beta}_1 + n_{7,1} \dot{x}_1 + n_{7,2} \dot{x}_2 + n_{7,3} \dot{x}_3 + n_{7,7} \dot{\alpha}_1 + n_{7,8} \dot{\alpha}_2 + n_{7,9} \dot{\alpha}_3 + \\
& + c_{7,1} x_1 + c_{7,2} x_2 + c_{7,3} x_3 + c_{7,7} \alpha_1 + c_{7,8} \alpha_2 + c_{7,9} \alpha_3 = M_{\alpha 1}, \\
& A_2 \ddot{\alpha}_2 - J_2 \omega_2 \dot{\beta}_2 + n_{8,1} \dot{x}_1 + n_{8,2} \dot{x}_2 + n_{8,7} \dot{\alpha}_1 + n_{8,8} \dot{\alpha}_2 + \\
& + c_{8,1} x_1 + c_{8,2} x_2 + c_{8,7} \alpha_1 + c_{8,8} \alpha_2 = M_{\alpha 2}, \\
& A_3 \ddot{\alpha}_3 - J_3 \omega_3 \dot{\beta}_3 + n_{9,1} \dot{x}_1 + n_{9,3} \dot{x}_3 + n_{9,7} \dot{\alpha}_1 + n_{9,9} \dot{\alpha}_3 + \\
& + c_{9,1} x_1 + c_{9,3} x_3 + c_{9,7} \alpha_1 + c_{9,9} \alpha_3 = M_{\alpha 3}, \\
& A_1 \ddot{\beta}_1 + J_1 \omega_1 \dot{\alpha}_1 + n_{10,4} \dot{z}_1 + n_{10,5} \dot{z}_2 + n_{10,6} \dot{z}_3 + n_{10,10} \dot{\beta}_1 + n_{10,11} \dot{\beta}_2 + n_{10,12} \dot{\beta}_3 + \\
& + c_{10,4} z_1 + c_{10,5} z_2 + c_{10,6} z_3 + c_{10,10} \beta_1 + c_{10,11} \beta_2 + c_{10,12} \beta_3 = M_{\beta 1}, \\
& A_2 \ddot{\beta}_2 + J_2 \omega_2 \dot{\alpha}_2 + n_{11,4} \dot{z}_1 + n_{11,5} \dot{z}_2 + n_{11,10} \dot{\beta}_1 + n_{11,11} \dot{\beta}_2 + \\
& + c_{11,4} z_1 + c_{11,5} z_2 + c_{11,10} \beta_1 + c_{11,11} \beta_2 = M_{\beta 2}, \\
& A_3 \ddot{\beta}_3 + J_3 \omega_3 \dot{\alpha}_3 + n_{12,4} \dot{z}_1 + n_{12,6} \dot{z}_3 + n_{12,10} \dot{\beta}_1 + n_{12,12} \dot{\beta}_3 + \\
& + c_{12,4} z_1 + c_{12,6} z_3 + c_{12,10} \beta_1 + c_{12,12} \beta_3 = M_{\beta 3}.
\end{aligned} \tag{4}$$

Исходные данные для решения уравнений (4) и определения значений элементов вышеприведенных матриц рассчитываются по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned}
n_{1,1} &= n_{4,4} = \xi_{11} + \xi_{12} + \xi_{31} + \xi_{32}, \\
n_{1,2} &= n_{2,1} = n_{4,5} = n_{5,4} = -(\xi_{11} + \xi_{12}), \\
n_{1,3} &= n_{3,1} = -n_{3,3} = n_{4,6} = n_{6,4} = -n_{6,6} = -(\xi_{31} + \xi_{32}),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
n_{1,7} &= -n_{4,10} = n_{7,1} = -n_{10,4} = -[\xi_{11}a_1 + \xi_{12}b_1 + \xi_{31}(a_3 + y_{C3}) + \xi_{32}(b_3 + y_{C3})], \\
n_{1,8} &= -n_{4,11} = n_{8,1} = -n_{11,4} = \xi_{11}(a_1 - y_{C2}) + \xi_{12}(b_1 - y_{C2}), \\
n_{1,9} &= -n_{3,9} = -n_{4,12} = n_{6,12} = n_{9,1} = -n_{9,3} = -n_{12,4} = n_{12,6} = \xi_{31}a_3 + \xi_{32}b_3, \\
n_{2,2} &= n_{5,5} = \xi_{11} + \xi_{12} + \xi_{21} + \xi_{22}, \\
n_{2,7} &= -n_{5,10} = n_{7,2} = -n_{10,5} = \xi_{11}a_1 + \xi_{12}b_1, \\
n_{2,8} &= -n_{5,11} = n_{8,2} = -n_{11,5} = -[\xi_{11}(a_1 - y_{C2}) + \xi_{12}(b_1 - y_{C2}) + \xi_{21}a_2 + \xi_{22}b_2], \\
n_{3,7} &= -n_{6,10} = n_{7,3} = -n_{10,6} = \xi_{31}(a_3 + y_{C3}) + \xi_{32}(b_3 + y_{C3}), \\
n_{7,7} &= n_{10,10} = \xi_{11}a_1^2 + \xi_{12}b_1^2 + \xi_{31}(a_3 + y_{C3})^2 + \xi_{32}(b_3 + y_{C3})^2, \\
n_{7,8} &= n_{8,7} = n_{10,11} = n_{11,10} = -[\xi_{11}a_1(a_1 - y_{C2}) + \xi_{12}b_1(b_1 - y_{C2})], \\
n_{7,9} &= n_{9,7} = n_{10,12} = n_{12,10} = -[\xi_{31}a_3(a_3 + y_{C3}) + \xi_{32}b_3(b_3 + y_{C3})], \\
n_{8,8} &= n_{11,11} = \xi_{11}(a_1 - y_{C2})^2 + \xi_{12}(b_1 - y_{C2})^2 + \xi_{21}a_2^2 + \xi_{22}b_2^2, \\
n_{9,9} &= n_{12,12} = \xi_{31}a_3^2 + \xi_{32}b_3^2.
\end{aligned} \tag{5}$$

Коэффициенты $c_{i,j}$ в (4) рассчитываются по формулам, аналогичным (5), в которых необходимо только заменить $n_{i,j}$ на $c_{i,j}$ и ξ_{rs} на c_{rs} .

В системе уравнений (4) использованы обозначения ($i = 1, 2, 3$):

$$\begin{aligned}
d_1 &= a_1 + b_1, \quad d_2 = a_2 + b_2, \quad l_1^2 = a_1^2 + b_1^2, \quad l_2^2 = a_2^2 + b_2^2, \\
P_{xi} &= -2 \cos(\gamma_i/2) \cdot dm_i \cdot e_i \cdot \omega_i^2 \cdot \cos(\omega_i t + \gamma_i/2), \\
P_{zi} &= 2 \cos(\gamma_i/2) \cdot dm_i \cdot e_i \cdot \omega_i^2 \cdot \sin(\omega_i t + \gamma_i/2), \\
M_{\alpha i} &= -\sin(\gamma_i/2) \cdot dm_i \cdot e_i \cdot \omega_i^2 \cdot h_i \cdot \sin(\omega_i t + \gamma_i/2), \\
M_{\beta i} &= -\sin(\gamma_i/2) \cdot dm_i \cdot e_i \cdot \omega_i^2 \cdot h_i \cdot \cos(\omega_i t + \gamma_i/2).
\end{aligned} \tag{6}$$

Запишем систему уравнений (4) в матричной форме:

$$\mathbf{A} \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B} \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C} \mathbf{q} = \mathbf{F}. \tag{7}$$

Здесь $\mathbf{A}$ – диагональная матрица инерционных коэффициентов; $\mathbf{B}$ – квадратная матрица диссипативных коэффициентов (размерность 12x12); $\mathbf{C}$ – квадратная матрица упругих коэффициентов (размерность 12x12); $\ddot{\mathbf{q}}$, $\dot{\mathbf{q}}$, $\mathbf{q}$ и $\mathbf{F}$ – векторы-столбцы ускорений, скоростей, перемещений и обобщенных сил:

$$\begin{aligned}
\ddot{\mathbf{q}} &= [\ddot{x}_1, \ddot{x}_2, \ddot{x}_3, \ddot{z}_1, \ddot{z}_2, \ddot{z}_3, \ddot{\alpha}_1, \ddot{\alpha}_2, \ddot{\alpha}_3, \ddot{\beta}_1, \ddot{\beta}_2, \ddot{\beta}_3]^T, \\
\dot{\mathbf{q}} &= [\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{z}_1, \dot{z}_2, \dot{z}_3, \dot{\alpha}_1, \dot{\alpha}_2, \dot{\alpha}_3, \dot{\beta}_1, \dot{\beta}_2, \dot{\beta}_3]^T, \\
\mathbf{q} &= [x_1, x_2, x_3, z_1, z_2, z_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3]^T, \\
\mathbf{F} &= [P_{x1}, P_{x2}, P_{x3}, P_{z1}, P_{z2}, P_{z3}, M_{\alpha 1}, M_{\alpha 2}, M_{\alpha 3}, M_{\beta 1}, M_{\beta 2}, M_{\beta 3}]^T.
\end{aligned} \tag{8}$$

При постоянных значениях угловых скоростей роторов ω_1 , ω_2 и ω_3 уравнение (7) решается в аналитическом виде, однако исследование вынужденных колебаний целесообразно проводить численными методами. В то же время решение задач о собственных колебаниях системы и устойчивости ее движения удобно выполнять аналитически.

Собственные колебания рассматриваемой системы описываются уравнением

$$\mathbf{A}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\mathbf{q} = \mathbf{0}. \quad (9)$$

Решение этого уравнения ищется в виде [5]

$$\mathbf{q} = \mathbf{a}e^{\mathbf{r}t}, \quad (10)$$

где $\mathbf{a}$ – вектор-столбец соответствующих амплитуд колебаний; $\mathbf{r}$ – корень характеристического уравнения (11):

$$\det(\mathbf{r}^2\mathbf{A} + \mathbf{r}\mathbf{B} + \mathbf{C}) = 0. \quad (11)$$

По значениям корней характеристического уравнения находится вид решения уравнения (9), а также производится оценка устойчивости движения системы [4].

Анализ структуры коэффициентов уравнений (4) показывает, что их матричную запись с учетом наличия упорядоченной повторяемости коэффициентов удобно осуществлять в блочной (клеточной) форме [5, 6, 7]. Тогда все матричные преобразования можно будет производить с матрицами, размерность которых уменьшена до 4×4 и 3×3 .

При этом матрицы, входящие в (7), будут иметь вид

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{M} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{M} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{\mathbf{A}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tilde{\mathbf{A}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & 0 \\ 0 & 0 & A_3 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & 0 & \mathbf{B}_3 & 0 \\ 0 & \mathbf{B}_1 & 0 & -\mathbf{B}_3 \\ \mathbf{B}_4 & 0 & \mathbf{B}_2 & -\mathbf{J} \\ 0 & -\mathbf{B}_4 & \mathbf{J} & \mathbf{B}_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_1\omega_1 & 0 & 0 \\ 0 & J_2\omega_2 & 0 \\ 0 & 0 & J_3\omega_3 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} n_{1,1} & n_{1,2} & n_{1,3} \\ n_{1,2} & n_{2,2} & 0 \\ n_{1,3} & 0 & -n_{1,3} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} n_{7,7} & n_{7,8} & n_{7,9} \\ n_{7,8} & n_{8,8} & 0 \\ n_{7,9} & 0 & n_{9,9} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} n_{1,7} & n_{1,8} & n_{1,9} \\ n_{2,7} & n_{2,8} & 0 \\ n_{3,7} & 0 & -n_{1,9} \end{bmatrix}, \quad B_4 = \begin{bmatrix} n_{1,7} & n_{2,7} & n_{3,7} \\ n_{1,8} & n_{2,8} & 0 \\ n_{1,9} & 0 & -n_{1,9} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & C_3 & 0 \\ 0 & C_1 & 0 & -C_3 \\ C_4 & 0 & C_2 & 0 \\ 0 & -C_4 & 0 & C_2 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & c_{1,3} \\ c_{1,2} & c_{2,2} & 0 \\ c_{1,3} & 0 & -c_{1,3} \end{bmatrix}, \quad C_2 = \begin{bmatrix} c_{7,7} & c_{7,8} & c_{7,9} \\ c_{7,8} & c_{8,8} & 0 \\ c_{7,9} & 0 & c_{9,9} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} c_{1,7} & c_{1,8} & c_{1,9} \\ c_{2,7} & c_{2,8} & 0 \\ c_{3,7} & 0 & -c_{1,9} \end{bmatrix}, \quad C_4 = \begin{bmatrix} c_{1,7} & c_{2,7} & c_{3,7} \\ c_{1,8} & c_{2,8} & 0 \\ c_{1,9} & 0 & -c_{1,9} \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Отметим, что в матрицах **A**, **B** и **C**, определяемых равенствами (12), (13) и (16), элементы, равные нулю, следует рассматривать как нулевые матрицы порядка 3x3. К блочному виду приводятся также и векторы-столбцы ускорений, скоростей, перемещений и обобщенных сил, задаваемые равенствами (9).

Представление исходной системы дифференциальных уравнений (4) в матричной форме (7) с последующим преобразованием всех матриц на основе равенств (12) - (18) к блочному виду позволяет создать компактную рабочую вычислительную программу, используя стандартные подпрограммы для расчета матриц. При этом можно рекомендовать использование эффективных вычислительных средств, предоставляемых системами MATLAB и MATHCAD.

В работе на алгоритмическом языке СИ++ разработана программа для расчета так, что пользователю необходимо только ввести в специальную таблицу все требуемые параметры механической системы и отметить те параметры системы, которые необходимо рассчитать. С помощью разработанного пакета программ можно получить все основные данные для оценки динамических характеристик веретен и прядильных камер различных типов. При этом обеспечивается возможность использования пакета программ как для изучения влияния различных параметров на динамику существующих роторных систем, так и для оптимизации этих параметров при проектировании новых конструкций роторов.

Приведенная выше форма решения соответствует тем вариантам конструкций роторных систем, в которых исключено радиальное воздействие приводных элементов на соосные роторы. Если же это влияние не исключено, то в модели (рис.1 а) необходимо также учитывать наличие дополнительных

упруго-диссипативных элементов C_{R1}^* и C_{R2}^* , отображающих взаимодействие роторов с приводом. При этом в дальнейшем будем иметь в виду, что радиальное взаимодействие роторов с приводными элементами практически осуществляется только в одной плоскости, например, в плоскости yOz , в связи с чем приведенные к оси z коэффициенты жесткости будут определяться равенствами

$$c_{r1} = C_{R1}^* \cos \alpha, \quad c_{r2} = C_{R2}^* \cos \alpha.$$

Важно отметить, что учет влияния привода с помощью упругих сил, действующих вдоль оси z , вместе с гироскопическими моментами приводит к нарушению симметрии роторной системы.

В рассматриваемом случае величины потенциальной энергии и диссипативной функции будут определяться равенствами

$$\begin{aligned} \Pi_2 &= \Pi_1 + \frac{1}{2} [c_{r1}(\delta_1 + z_1 + y_{r1}\beta_1)^2 + c_{r2}(\delta_2 + z_2 + y_{r2}\beta_2)^2], \\ \Phi_2 &= \Phi_1 + \frac{1}{2} [\xi_{r1}(\dot{z}_1 + y_{r1}\dot{\beta}_1)^2 + \xi_{r2}(\dot{z}_2 + y_{r2}\dot{\beta}_2)^2], \end{aligned} \quad (19)$$

где Π_1 и Φ_1 находятся из (2), (3).

В равенствах (19) через δ_1 и δ_2 обозначены величины предварительных деформаций упругих элементов, обусловленные натяжением ременных передач или прижимом приводных шкивов, а y_{r1} и y_{r2} определяют положения приводных элементов. Из (19) видно, что учет взаимодействия роторов с приводными элементами вносит изменения в четыре из уравнений системы (4) и соответственно изменяет матрицы $\mathbf{B}$ и $\mathbf{C}$, а также вектор-столбец внешних усилий. Кроме того, в (5) при этом необходимо также заменить восемь значений $n_{i,j}$ на $\tilde{n}_{i,j}$ в соответствии со следующими равенствами:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_{4,4} &= n_{1,1} + \xi_{r1}, & \tilde{n}_{5,5} &= n_{2,2} + \xi_{r2}, \\ \tilde{n}_{4,10} &= -n_{1,7} + \xi_{r1}y_{r1}, & \tilde{n}_{5,11} &= -n_{2,8} + \xi_{r2}y_{r2}, \\ \tilde{n}_{10,4} &= \tilde{n}_{4,10}, & \tilde{n}_{11,5} &= \tilde{n}_{5,11}, \\ \tilde{n}_{10,10} &= n_{7,7} + \xi_{r1}y_{r1}^2, & \tilde{n}_{11,11} &= n_{8,8} + \xi_{r2}y_{r2}^2. \end{aligned} \quad (20)$$

На основе полученного выше математического описания обобщенной модели также были разработаны на языке СИ++ программы как для анализа установившегося движения исследуемой роторной системы, так и для построения ее резонансных кривых. Проверена сходимость расчетных результатов, полученных на основе обобщенной динамической модели, с ранее полученными результатами в [1,8], где были использованы специально разработанные для данной задачи динамические модели. Анализ результатов показал полное их совпадение и подтвердил достоверность и эффективность использования обобщенной динамической модели для разработки универсального программного пакета при расчете однороторных и соосных многороторных систем.

Таким образом, предложенная в настоящей работе обобщенная динамическая модель роторной системы, алгоритмы ее расчета и соответствующее программное обеспечение позволяют производить на единой методологической основе сравнительные расчеты разнообразных конструкций текстильных роторов, что создает научную базу для проектирования различных конструкций веретен, прядильных камер и многих других типов крутильно-формирующих механизмов текстильных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Папоян А.Р. Анализ динамических характеристик прядильных камер с двумя соосными роторами // Труды Санкт-Петербургской инженерной академии. - 2001. - С. 115-124.
2. Коритыцкий Я.И. Динамика упругих систем текстильных машин. - М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982 - 272 с.
3. Митропольский Ю.А. Проблемы асимптотической теории нестационарных колебаний. - М.: Наука, 1964 - 431 с.
4. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1966.-530 с.
5. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. - М.: ГИТТЛ, 1957 - 844 с.
6. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: ГИФМЛ, 1960 - 659 с.
7. Папоян А.Р., Оганесян Г.А. Пакет программ для численного интегрирования уравнения движения соосной роторной системы // Вычислительные науки и информационные технологии / НАН РА. - 2001. - С. 488-490.
8. Папоян А.Р. Результаты экспериментальных исследований вращения веретена ВТК-45-1У с катушкой ТК-200-10 // Технология текстильной промышленности: Изв. вузов. - Иваново. -1984. - №2. - С. 112-115.

Гюмр. ֆ-ал ГИУА. Материал поступил в редакцию 03.04.2004.

Ա.Ր. ՊԱՊՅԱՆ

ՏԵՔՍՏԻԼ ՄԵԹԵՆԱՆԵՐԻ ՀԱՄԱՌԱՆՑԻ ՌՈՏՈՐՆԵՐՈՎ ՈՒՈՐՈՂ-ՓԱԹԱԹՈՂ ՕՐԳԱՆՆԵՐԻ ԸՆԴՀԱՆՐԱՅՎԱԾ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼ

Ժամանակակից տեքստիլ ռոտորային համակարգերի կառուցվածքների վերլուծության հիման վրա առաջարկվում է ընդհանրացված դինամիկական մոդել տեքստիլ ռոտորային համակարգերի հիմնական տեսակների դինամիկական հաշվարկի համար: Բերվում է դինամիկական մոդելի լրիվ մաթեմատիկական նկարագրությունը և նրա՝ տարբեր մասնավոր տեսքերի փոխակերպման մեթոդիկան:

A. R. PAPOYAN

GENERALIZED DYNAMIC MODEL OF TWISTING-MOULDING ORGANS OF TEXTILE MACHINES WITH COAXAL ROTORS

A generalized dynamic model for calculation of all main types of textile rotor systems is proposed. The complete mathematical description of the generalized dynamic model and the method of its transformation into particular models is given.

А.И. САГРАДЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПЛАВОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 45 И ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ5

Рассматриваются вопросы выбора метода исследования с целью определения оптимальных углов резцов, изготовленных из быстрорежущих сплавов марок В14М7К25 и В11М7К23. В качестве критериев оптимальности приняты составляющие силы резания и вызванное ими среднее контактное давление на передней поверхности резца. Для стали 45 и титанового сплава ВТ5 получены оптимальные значения переднего угла γ и главного угла в плане φ резца.

Ключевые слова: резец, быстрорежущий сплав, оптимальный угол, среднее контактное давление, стойкость.

Исследование оптимальных значений геометрических параметров инструмента, существенно влияющих на интенсивность его износа [1,2], имеет большое практическое значение. Это обусловлено тем, что в геометрии инструмента таится большой ресурс его стойкости.

Целью данной работы является исследование оптимальных значений геометрических параметров резцов из сплавов марок В14М7К25, В11М7К23 при обработке конструкционной стали 45 и титанового сплава ВТ5. Исследованию подверглись передний угол γ и главный угол в плане φ , характеризующие деформированное состояние сходящей стружки.

Прежде чем перейти к определению оптимальных значений γ и φ , необходимо установить критерий оптимальности и выбрать метод исследования. В качестве такого критерия можно принять один из нижеперечисленных факторов, характеризующих процесс резания [1-3]:

- стойкость инструмента;
- температура на поверхности контакта резца и стружки;
- силы резания, действующие на резец;
- качество обработанной поверхности и точность обработки.

Большинство исследователей в качестве главного критерия принимали стойкость инструмента, однако выбор сил резания, действующих на резец, позволяет не только быстро и достаточно точно определить оптимальные значения углов, но и добиться заметного уменьшения расхода инструментального и обрабатываемого материалов при проведении экспериментов [1,2,4].

При определении оптимальных значений γ и φ был применен метод омеднения, суть которого заключается в следующем. Режущая часть резца покрывается тонким слоем медного купороса, затем по предварительно выбранным режимам резания V, S, t в течение определенного времени и до

стабилизации значений составляющих сил резания определяется часть удаленного слоя сходящей стружкой. Площадь контакта при этом измеряется с помощью инструментального микроскопа ММИ-2.

Эксперименты проводились на станке 1К62, оснащенном вариатором ВР-1. Для измерения составляющих сил резания были использованы универсальный трехкомпонентный динамометр УДМ-1, четырехканальный усилитель ТА-5 и осциллограф К-105.

Зависимость стойкости от изменения величин исследуемых углов определялась на найденных оптимальных режимах для резания титанового сплава ВТ-5 и стали 45, соответствующих 60-минутной стойкости резца [4]. При сопоставлении результатов, полученных обоими методами, обнаружено полное совпадение. В частности, при исследовании оптимального угла γ выявлено, что минимальное значение среднего контактного давления q соответствует максимальному значению стойкости резца. В течение эксперимента один из исследуемых параметров, например γ , менялся в определенном диапазоне, остальные геометрические параметры и режимы резания были постоянными. После обработки полученных осциллограмм были построены графики зависимостей составляющих сил резания от изменения угла γ .

Зная величину равнодействующей силы $R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$, Н и площадь контакта стружки с передней поверхностью F , можно вычислить величину среднего контактного давления q :

$$q_1 = R/F, \text{ МПа.}$$

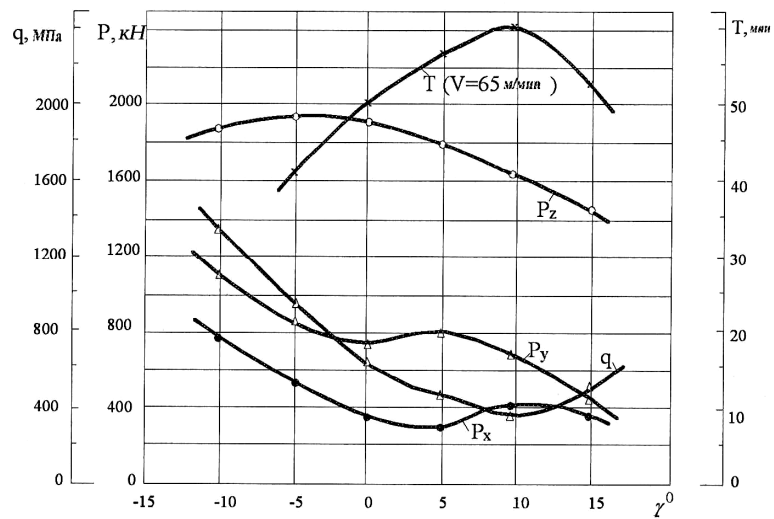
Так как вертикальная составляющая P_z , в основном, характеризует давление на передней поверхности, то для расчетов можно пользоваться выражением $q_2 = P_z/F$. Для проверки этого выражения предварительно были определены значения q_1 и q_2 через равнодействующие силы R . Обнаружено несущественное расхождение, а характер кривых практически не изменился.

Посредством нахождения минимального удельного давления определены оптимальные значения исследуемых параметров γ и ϕ . При точении стали 45 величину переднего угла меняли в пределах $\gamma = -10^\circ \dots +15^\circ$ (рис.1) с интервалом 5° , остальные геометрические параметры режущего лезвия были соответственно равны: $\phi = 45^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\phi_1 = 10^\circ$, $r = 1 \text{ мм}$, $\lambda = 0^\circ$, которые были выбраны по стандарту для быстрорежущих резцов при обработке того же материала,. Режимы резания были постоянными и составляли: $V=50 \text{ м/мин}$, $S=0,3 \text{ мм/об}$, $t=2 \text{ мм}$.

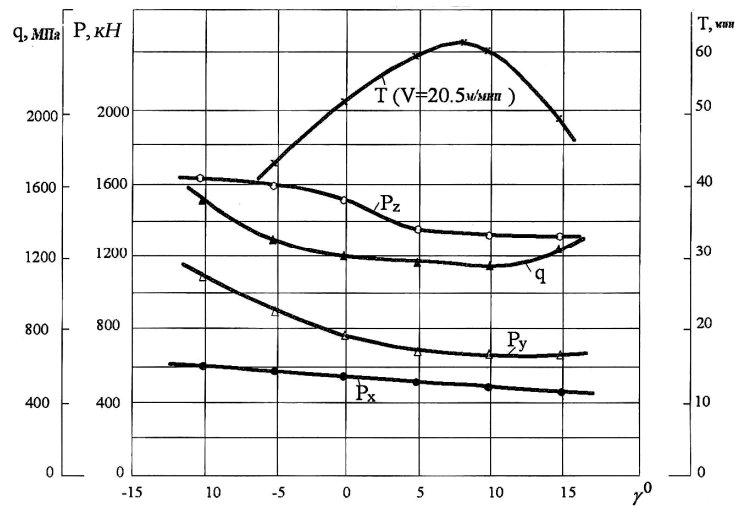
Построенные на основе экспериментальных данных графические зависимости (рис.1 а) свидетельствуют, что при точении стали 45 резцами из быстрорежущих сплавов В14М7К25, В11М7К23 оптимальная величина переднего угла составляет $\gamma = 10^\circ$.

Аналогичным образом определена оптимальная величина переднего угла γ при точении титанового сплава ВТ-5 резцами из сплавов В14М7К25 и

В11М7К23 с теми же геометрическими параметрами (рис. 1 б). Режимы резания соответственно были равны: $V = 65 \text{ м/мин}$, $S = 0,3 \text{ мм/об}$, $t = 2 \text{ мм}$.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость стойкости, составляющих силы резания и среднего контактного давления от величины переднего угла γ : а - при точении стали 45 резцами сплава В14М7К25; б - при точении титанового сплава BT5: $V = 20,5 \text{ м/мин}$, $S = 0,3 \text{ мм/об}$, $t = 2 \text{ мм}$

На основе полученных экспериментальных данных было определено среднее контактное давление q и оптимальное значение переднего угла $\gamma = 10^\circ$, соответствующее минимальному среднему контактному давлению (рис. 1 б).

При точении стали 45 (рис. 1 а) видно, что с изменением переднего угла γ от -10° до $+10^\circ$ вертикальная составляющая P_z уменьшается в пределах 1880...1660 Н при одновременном уменьшении среднего контактного давления q от 1350 до 370 МПа, а усадка стружки ξ при этом меняется в пределах 3,28...2,95.

Таким образом, из полученных данных можно заключить, что с уменьшением усадки стружки, за счет увеличения переднего угла, уменьшается деформация и твердость стружки, следовательно, степень ее наклепа, а значит, и снижение истирающей способности стружки.

Аналогично определено оптимальное значение главного угла в плане ϕ при точении стали 45 и титанового сплава ВТ-5 резцами из сплава В14М7К25. Исследовались резцы с параметрами с $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $r = 1$ мм, $\lambda = 0^\circ$, а величина угла ϕ менялась в пределах $15 \dots 75^\circ$ с интервалом 15° (рис. 2 а, б). Вариация величины ϕ вызывает изменение параметров сечения среза ($a \times b$), вследствие чего меняются механические и температурные напряжения на контактных площадках, влияющие, в свою очередь, на интенсивность износа и стойкость инструмента. В большинстве случаев при обработке наиболее распространенных конструкционных материалов значение главного угла в плане равно: $\phi = 45^\circ$. Это было подтверждено при данном исследовании (рис. 2 а, б).

В результате экспериментального исследования и выбора соответствующих значений углов заточки инструмента получены следующие геометрические параметры для резцов из сплавов В14М7К25 и В11М7К25 при точении стали 45 и титанового сплава ВТ5: $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 1$ мм. Геометрические параметры резцов из Р18 и Р9К5 выбраны по стандарту, которые в нашем случае совпали с результатами исследования.

Приведенный метод позволяет получить наиболее удачные комбинации оптимальных геометрических параметров режущей части резцов из быстрорежущих сплавов дисперсионного твердения В14М7К25 при обработке стали 45 и титанового сплава ВТ5. Применением данного метода также можно добиться заметного уменьшения расхода инструментального и обрабатываемого материалов, резко сокращая время проведения экспериментов.

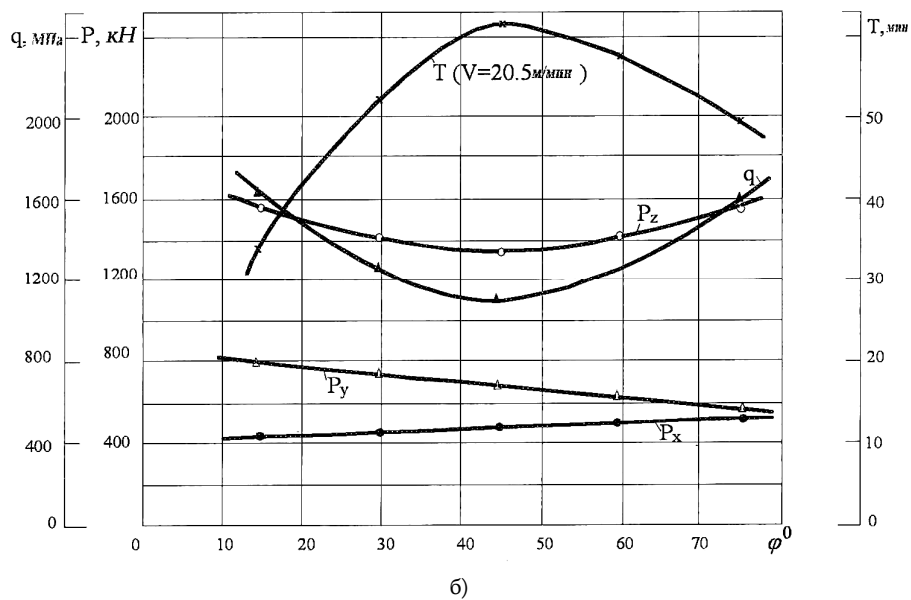
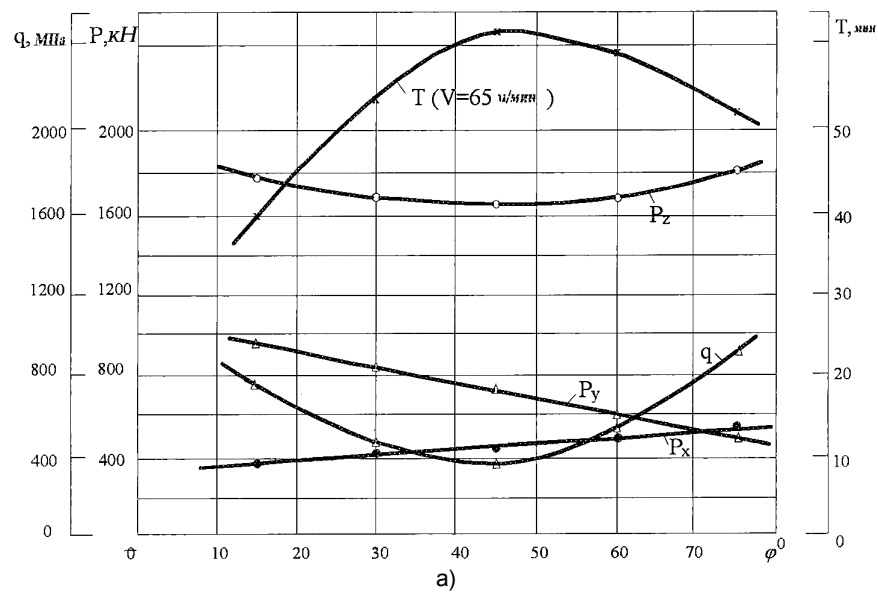


Рис. 2. Зависимость стойкости, составляющих силы резания и среднего контактного давления от величины главного угла: а - в плане φ при точении стали 45 резцами из сплава В14М7К25; б - при точении титанового сплава BT5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Саградян А.И.** Исследование оптимальной геометрии резцов из безуглеродистых сплавов с интерметаллидным упрочнением // Тез. докл. Респ. конф. молод. уч., 1974г. / ЕрПИ. – Ереван, 1974. – С.117-118.
2. **Гриценко Э.И., Дальник П.Е.** Влияние геометрических параметров инструмента на стойкость резцов и шероховатость обработанной поверхности: Сб. тр. – Киев: ПЭД. — 1990. - №1. – С.18-22.
3. **Полетика М.Ф.** Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. - М.: Машиностроение, 1989. – 150 с.
4. **Саградян А.И., Саркисян К.А.** Изучение параметров процесса резания // Проектирование машин и процессов обработки материалов: Межвуз. тем. сб. науч. тр.: / ЕрПИ. – Ереван, 1984. – С.19-21.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 01.02.2005.

Ա.Ի. ՄԱՀՐԱԴՅԱՆ

ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔՆԵՐԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ԿՏՐԻՉՆԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՎԱԾ ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՊՈՂՊԱՏ 45-Ի ԵՎ BT5 ՏԻՏԱՆԻ ՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Դիտարկված է B14M7K25, B11M7K23 մակնիշների արագահատ համաձուլվածքներից պատրաստված կտրիչների լավարկված անկյունների որոշման նպատակով հետազոտման մեթոդի ընտրությունը՝ որպես լավարկային չափանիշներ ընդունելով կտրման ուժերը և դրանց հետևանքով կտրիչի առջևի մակերևույթի վրա առաջացած միջին կոնտակտային ճնշումը: Պողպատ 45-ի և BT5 տիտանի համաձուլվածքի համար ստացվել են կտրիչի առջևի γ և հատակագծի զլխավոր φ անկյունների լավարկված արժեքները:

A.I. SAGRADYAN

SPECIFYING OPTIMAL GEOMETRICAL CUTTERS MADE OF HIGH-CUTTING ALLOYS IN MACHINING STEEL 45 AND TITANIUM BT5

Problems on investigation sampling of alloy quality B14M7K25 and B14M7K23 are considered. As an optimality criterion the cutting forces and mean contact pressure caused by them on the front surface of the cutter are accepted. Optimum values of the front angle γ and the mean angle in φ plan of the cutter are obtained for steel 45 and titanium alloy BT5.

С.С. ЧИБУХЧЯН, О.Л. АРУТЮНЯН,

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ МИКРОАВТОБУСОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В Г. ЕРЕВАНЕ

Приведены результаты исследования по улучшению топливной экономичности маршрутных микроавтобусов, эксплуатируемых в г. Ереване. Предложены конкретные меры, позволяющие снизить расход топлива до 5% и одновременно уменьшить загрязненность окружающей среды.

Ключевые слова: топливная экономичность, разгон, передаточные числа, режимы эксплуатации, динамические свойства.

В Армении за последние 10 лет значительно сократилось число автобусных парков. Это вызвано тем, что большая часть автобусов вышла из строя, а средств для приобретения новых автобусов недостаточно.

Как показывают статистические данные, основная часть пассажироперевозок как в республике в целом, так и в г. Ереване выполняется автомобильным транспортом (см. табл.), причем значительная часть микроавтобусами.

Таблица

Показатели пассажироперевозок по годам

Годы		1998	1999	2000	2001	2002	2003
Перевезено пассажиров, млн	Всего	159,5	137,7	131,7	151,9	156,8	159,6
	Автомоб. транспортом	117,5	97,8	100,4	121,9	129,7	133,4
Пассажирооборот, млн пассажиро-км	Всего	2585	2114	2063	2439	2621	2712
	Автомоб. транспортом	1478	1275	1308	1559	1716	1806
Средняя дальность перевозок, км		4,2	8,3	6,0	7,7	10,3	11,1

В настоящее время количество микроавтобусов, выполняющих пассажироперевозки в г. Ереване и в пригородах, составляет около 4000. Из них почти 60% - микроавтобусы модели РАФ 2203, 35% - модели ГАЗ 33212 (ГАЗель), остальные - других моделей. Отметим, что значительная часть микроавтобусов модели РАФ 2203 обновляется микроавтобусами ГАЗель. Однако процесс идет медленно, и по сей день эти микроавтобусы имеют большой удельный вес.

Необходимо отметить, что микроавтобусы, эксплуатируемые в настоящее время в г. Ереване, иногда по своим техническим параметрам, степени нагруженности и качеству пассажироперевозок не соответствуют реальным эксплуатационным условиям, за счет чего ухудшаются их динамические свойства, увеличивается расход топлива и снижается

безопасность движения. При этом часто мы становимся свидетелями простоя большого количества микроавтобусов на остановках, которые препятствуют движению других видов транспорта и создают серьезную экологическую проблему для окружающей среды. С точки зрения повышения эффективности работы микроавтобусов, снижения расхода топлива и уменьшения загрязнения окружающей среды, важное значение имеет выбор оптимального передаточного числа трансмиссии, исходя из конкретных реальных режимов эксплуатации.

Эксплуатационные условия г. Еревана отличаются весьма часто встречающимися подъемами и спусками (около 6%), частыми остановками (за один цикл около 30% времени общего пробега), относительно большой высотой над уровнем моря (в среднем 1000 м), сравнительно низкой средней пропускной способностью улиц.

Как показали наши исследования, средняя скорость движения не превышает 40 км/ч, используются в основном II и III передачи, сравнительно реже I и IV передачи. Практически не используется V передача.

В реальных условиях г. Еревана влияние передаточных чисел трансмиссии на топливную экономичность, динамические свойства и загрязненность окружающей среды изучено недостаточно.

Для оценки показателей топливной экономичности необходимо определить расход топлива автомобиля в различных режимах движения, в частности, на разгонах, так как разгон составляет до 20% общего времени цикла движения маршрутных микроавтобусов.

Расход топлива на разгонах определяется по формуле

$$Q = m_a \delta_{вр} \int_{V_1}^{V_2} \frac{a_{QC} V^2 + b_{QC} V + c_{QC}}{a_i V^2 + b_i V + c_i} dV, \quad [1], \quad (1)$$

где a_i, b_i, c_i - коэффициенты дифференциального уравнения, учитывающие конкретные условия и режим эксплуатации; a_{QC}, b_{QC}, c_{QC} - коэффициенты квадратного уравнения часового расхода топлива; V_1, V_2 - прирост скорости во время разгона, м/с; m_a - масса автомобиля, кг; $\delta_{вр}$ - коэффициент вращающихся масс.

Учитывая выражения пути и времени разгона и интегрируя (1), окончательно получим

$$Q = a_{QC} m_a \delta_{вр} \left[\frac{V_2 - V_1}{a_i} - \frac{b_i}{2a_i^2} \ln \left(\frac{a_i V_2^2 + b_i V_2 + c_i}{a_i V_1^2 + b_i V_1 + c_i} \right) + \tau \left(c_{QC} + a_{QC} \frac{b_i - 2a_i c_i}{2a_i} \right) \right] + b_{QC} S, \quad [2]$$

где τ - время разгона, с; S - путь разгона, м.

Для определения расхода топлива разработан алгоритм и составлена программа посредством программного пакета "MATLAB". Программа учитывает реальные условия дороги конкретного маршрута, в частности, угол наклона профиля, максимальную допустимую скорость движения, длину маршрута.

При расчетах дорога принималась сухой, асфальтобетонной, не учитывались циклы светофоров.

Расчеты показывают, что при уменьшении передаточных отношений II, III передач на 10% можно обеспечить экономию топлива до 5%, что, в свою очередь, снизит загрязненность окружающей среды.

Отметим, что вредные выбросы от автомобилей на разгонах резко возрастают, в частности, СО возрастает на 50...100%, по сравнению с выбросами при установившемся движении микроавтобусов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Литвинов А.С., Фаробин Я.Е.** Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. –М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
2. **Лукинский В.С.** Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели. –М.: Финансы и статистика, 2000. – 280 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.01.2004.

Ս.Ս. ՉԻԲՈՒԽՉՅԱՆ, Հ.Լ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔՈՒՄ ՇԱՀԱԳՈՐԾՎՈՂ ՄԻԿՐՈԱՎՏՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ՏՈՒՓԻ
ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ԹՎԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ**

Բերված են Երևան քաղաքում շահագործվող միկրոավտոբուսների վառելիքային շահավետության լավացմանը նվիրված ուսումնասիրությունների արդյունքները և առաջարկված են կոնկրետ միջոցառումներ, որոնք թույլ են տալիս մինչև 5% նվազեցնել վառելիքի ծախսը և, միաժամանակ, շրջակա միջավայրի աղտոտվածությունը:

S.S. CHIBUKHCHYAN, H.L. HAROUTYUNYAN

**OPTIMIZATION OF TRANSMISSION GEAR RATIOS FOR
MINIBUSES RUNNING IN YEREVAN**

Transmission gear ratios for improving fuel economical efficiency of fixed-route minibuses running in Yerevan are given. Actual measures allowing to decrease fuel rate to 5% and at the same time the pollution decrease of environment are proposed.

А.В. МАРКОВЕЦ, Л.С. МАЗИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИЖИМНОЙ ЛАПКИ ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТКАНИ

Исследована динамика дифференциальных реечных механизмов транспортирования ткани швейных машин. Получены динамическая и математическая модели движения прижимной лапки с учетом взаимодействия прижимной лапки с тканью и рейками. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение и выполнено моделирование на ЭВМ динамики исследуемой системы в зависимости от изменения параметров системы.

Ключевые слова: швейная машина, транспортирование ткани, прижимная лапка, рейка, динамическая модель, математическая модель.

На швейных машинах при пошиве материалов малой жесткости, например трикотажа, ткань в процессе транспортирования зубчатой рейкой может приобретать волнистость и складки. Для устранения этих дефектов в ряде швейных машин применяется рычажный реечный дифференциальный механизм [1]. В таком механизме транспортирование ткани осуществляется основной и дополнительной зубчатыми рейками (рис 1), которые дискретно перемещают ткани на величину одного стежка за каждый оборот главного вала. На рабочем ходу механизма транспортирования зубчатые рейки 3 вместе с тканями движутся над игольной пластиной по эллипсообразным шатунным кривым. Ткани в этот период удерживаются на зубчатых рейках с помощью подпружиненной прижимной лапки. На холостом ходу зубчатые рейки, продолжая движение по эллипсообразной кривой,

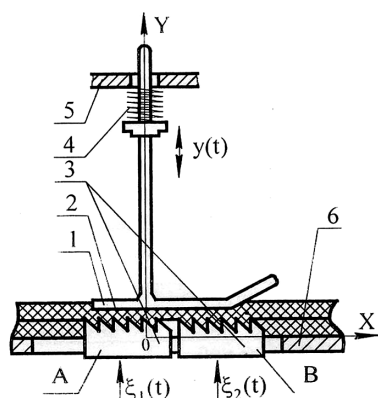


Рис. 1

опускаются под игольную пластину, а ткани неподвижны и удерживаются на игольной пластине прижимной лапкой. Основная зубчатая рейка А перемещает материал 2 на длину стежка T_1 , дополнительная В – на длину стежка T_2 . Тем самым осуществляется управление деформацией материалов под лапкой.

Конструкция прижимной лапки в упрощенном виде приведена на рис. 1, где 1 – прижимная лапка вместе со стержнем, 2 – стачиваемые ткани, 3 – зубчатые рейки (А – основная, В – дополнительная), 4 – пружина, 5 – направляющие стержня прижимной лапки в корпусе машины, 6 – игольная пластина. Связь между зубчатыми рейками, стачиваемыми тканями и прижимной лапкой

односторонняя (неудерживающая). В период транспортирования зубчатые рейки вместе со стачиваемыми тканями поднимаются над игольной пластиной, тем самым заставляя прижимную лапку вместе со стержнем перемещаться в направляющих относительно игольной пластины. С увеличением числа оборотов главного вала швейной машины из-за неудерживающего характера связи зубчатых реек через ткани с прижимной лапкой возможно появление отрывов прижимной лапки от тканей. Последнее может привести к проскальзыванию зубчатых реек относительно тканей в момент их транспортирования, смещению слоев стачиваемых тканей друг относительно друга (посадке) и т.д.

В дифференциальном реечном механизме транспортирования ткани швейной машины перемещение прижимной лапки вместе со стержнем относительно направляющих корпуса зависит от перемещений в вертикальной плоскости двух (основной и дополнительной) зубчатых реек. Из-за особенностей конструкции механизма транспортирования перемещения основной и дополнительной зубчатых реек в период их движения над игольной пластиной могут иметь различия в величинах подъема над игольной пластиной и в фазах начала и окончания транспортирования тканей.

Рассмотрим более подробно прижимную лапку, конструкция которой приведена на рис. 1. Введем неподвижную систему координат OXY , ось OX которой расположена на игольной пластине, а ось OY совпадает с осью стержня прижимной лапки. Обозначим через $\xi_1(t)$, $\xi_2(t)$ - перемещение основной и дополнительной зубчатых реек вдоль оси OY соответственно; $y(t)$ - перемещение стержня вместе с прижимной лапкой вдоль оси OY . Будем считать, что стержень вместе с прижимной лапкой (далее “лапка”) является абсолютно твердым телом массы m , которое может перемещаться в направлении оси OY на величину $y(t)$. Представим динамическую модель прижимной лапки в виде, приведенном на рис. 2.

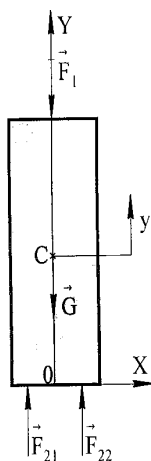


Рис. 2

Примем за обобщенную координату величину y . Будем считать, что на “лапку” действуют: F_1 - сила со стороны пружины 4 (рис. 1); F_{21} - равнодействующая распределенных сил, действующих на “лапку” в направлении оси OY со стороны основной зубчатой рейки; F_{22} - сила, физический смысл которой аналогичен F_{21} , но вызываемая дополнительной зубчатой рейкой; G - сила тяжести “лапки” ($G = mg$, m - масса “лапки”, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Обозначим через Δ_1 , Δ_2 - деформации стачиваемых материалов соответственно под основной и дополнительной зубчатыми рейками в направлении оси OY , причем

$$\Delta_1 = \xi_1 - y, \quad \Delta_2 = \xi_2 - y, \quad (1)$$

Отметим, что при $\Delta_1 \leq 0$ имеет место отрыв “лапки” от основной зубчатой рейки, а при $\Delta_2 \leq 0$ - от дополнительной зубчатой рейки.

Запишем аналитические выражения сил F_1 , F_{21} и F_{22} . Имея в виду малость y , приближенно можно записать

$$F_1 \approx F_{10} + c_1 y + b_1 \dot{y}, \quad (2)$$

где F_{10} – сила, соответствующая начальному поджатию пружины 4 (рис. 1) в установочном положении (под установочным будем понимать положение, при котором стачиваемые материалы свободно без деформации лежат на игольной пластине, а прижимная лапка лишь касается стачиваемых материалов); c_1 , b_1 – соответственно приведенные жесткость и коэффициент сопротивления.

Силы F_{2i} , $i = 1, 2$ приближенно могут быть записаны в виде

$$F_{2i} \approx \begin{cases} 0 & \text{при } \Delta_i \leq 0 \text{ или } c_2 \Delta_i + b_2 \dot{\Delta}_i \leq 0, \\ c_2 \Delta_i + b_2 \dot{\Delta}_i & \text{при } 0 < \Delta_i \leq \lambda, \quad i = 1, 2, \\ c_2 \lambda + c_{21}(\Delta_i - \lambda) + b_{21} \dot{\Delta}_i & \text{при } \Delta_i > \lambda, \end{cases} \quad (3)$$

где c_2 , b_2 – соответственно приведенные жесткость и коэффициент сопротивления тканей и зубчатых реек (с приводом) при $0 < \Delta_i \leq \lambda$, $i = 1, 2$; λ – приближенная величина деформации тканей и зубчатых реек (с приводом), при которой податливость тканей существенна и ее следует учитывать; c_{21} , b_{21} – соответственно приведенные жесткость и коэффициент сопротивления тканей и зубчатых реек (с приводом) при $\Delta_i > \lambda$, $i = 1, 2$.

В аналитические выражения сил F_{2i} входят (1) величины $\xi_i(t)$, $i = 1, 2$ перемещений вдоль оси ОУ основной и дополнительной зубчатых реек при их движении над игольной пластиной. На основании кинематического исследования механизмов транспортирования ткани [2] в первом приближении можно принять, что траектория движения среднего зуба основной и дополнительной зубчатых реек представляет собой эллипс. С учетом того, что взаимодействие зубчатых реек с тканью и прижимной лапкой происходит только на рабочем ходу, зависимости $\xi_i(t)$, $i = 1, 2$ при сделанном предположении можно представить в виде

$$\xi_i(t) = \begin{cases} \xi_{0i} + d_i \sin(\omega t + \varphi_{0i}) & \text{при } (j-1)t_{pi} \leq t < jt_{pi}, \\ 0 & \text{при } jt_{pi} < t < jt_k, \end{cases} \quad (4)$$

$$j = \overline{1, n}, \quad i = 1, 2,$$

где ξ_{0i} , d_i , φ_{0i} , $i = 1, 2$ – параметры вертикальной составляющей траектории движения среднего зуба основной и дополнительной зубчатых реек; ω – частота вращения главного вала швейной машины; t – время; t_{pi} , $i = 1, 2$ – время

рабочего хода основной и дополнительной зубчатых реек; $t_k = 2\pi/\omega$ – время одного оборота главного вала швейной машины; j , n – соответственно номер и общее количество оборотов главного вала швейной машины ($\xi_i = 0$ – соответствует уровню игольной пластины). Величины ξ_{0i} , d_i , φ_{0i} , $i=1,2$ могут быть определены исходя из технологических требований к перемещению зубчатой рейки вдоль оси ОУ при движении ее во время рабочего хода.

Запишем математическую модель “лапки” (рис. 2), движущейся под действием системы сил F_1 , F_{21} , F_{22} , G . Для этого в рассматриваемом случае удобно воспользоваться [3] методом кинестатики:

$$m\ddot{y} = -F_1 - G + F_{21} + F_{22}. \quad (5)$$

Математическая модель (5) представляет собой нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка. В случае $F_{2i} = 0$ при $\Delta_i > 0$, $i=1,2$ к (5) следует добавить уравнение $c_2\Delta_i^* + b_2\dot{\Delta}_i^* = 0$ и решать их совместно до тех пор, пока $\Delta_i^* < \Delta_i$, $i=1,2$. Так как математическая модель “лапки” записана относительно установочного положения, будем считать, что при $t=0$ $y|_{t=0} = 0$, $\dot{y}|_{t=0} = 0$.

Для решения математической модели рассматриваемой системы на ЭВМ была разработана программа численного интегрирования дифференциального уравнения (5) с учетом (1) – (4) методом Рунге-Кутты. С ее помощью можно вычислять и строить графики: $F_1(t)$, $F_{2i}(t)$, $\xi_i(t)$, $\dot{\xi}_i(t)$, $\ddot{\xi}_i(t)$, $\Delta_i(t)$, $\dot{\Delta}_i(t)$, $\ddot{\Delta}_i(t)$, $i=1,2$. С помощью разработанной программы на ЭВМ исследовалось влияние кинематического внешнего воздействия со стороны двух нижних зубчатых реек на колебания прижимной лапки со стержнем при следующих значениях исходных данных: $m = 0,063$ кг, $F_{10} = 30,0$ Н, $c_1 = 3,9 \cdot 10^3$ Н/м, $b_1 = 0,108$ Н/(м/с), $c_2 = 1,94 \cdot 10^5$ Н/м, $b_2 = 74,24$ Н/(м/с), $c_{21} = 5,00 \cdot 10^6$ Н/м, $b_{21} = 44,36$ Н/(м/с), $\lambda = 0,15 \cdot 10^{-3}$ м. Для получения режима установившихся колебаний прижимной лапки были подвергнуты анализу десять последовательных циклов транспортирования ткани одновременно, для чего в (4) принималось $n=10$. Графики исследуемых зависимостей строились на последнем (десятом) шаге транспортирования. Моделирование динамики прижимной лапки производилось в диапазоне изменения частоты вращения главного вала ω от 100 до 500 с⁻¹.

Прижимная лапка в рассматриваемой системе испытывает кинематические внешние воздействия со стороны двух (основной и дополнительной) зубчатых реек, законы $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ движения которых могут различаться. При моделировании на ЭВМ в программе для каждой из зубчатых реек устанавливались разные величины максимального подъема основной p_{11} и

дополнительной p_{12} зубчатых реек, а также углы рабочего хода основной φ_{p1} и дополнительной φ_{p2} зубчатых реек.

Полученные результаты сравнивались со случаем одинакового кинематического воздействия со стороны обеих зубчатых реек, т.е. $p_{12} = p_{11}$ и $\varphi_{p1} = \varphi_{p2}$.

На рис. 3 приведены графики зависимостей $\Delta_1(t)$ и $\Delta_2(t)$, полученные при $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$ для указанных выше случаев на десятом шаге транспортирования. Как видно из графиков, при $p_{12} = p_{11}$ и $\varphi_{p1} = \varphi_{p2}$ в период начала ($t \approx 0,000 \dots 0,001 \text{ с}$) и окончания ($t \approx 0,020 \dots 0,024 \text{ с}$) транспортирования тканей наблюдаются колебания деформаций $\Delta_1(t)$ и $\Delta_2(t)$, вызванные сначала ударом реек о прижимную лапку в начале транспортирования, а затем ударом лапки об игольную пластину в конце транспортирования. После окончания транспортирования тканей (холостой ход) колебания быстро затухают до величины статической деформации $\Delta_{1\text{ст}} = \Delta_{2\text{ст}} \approx 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

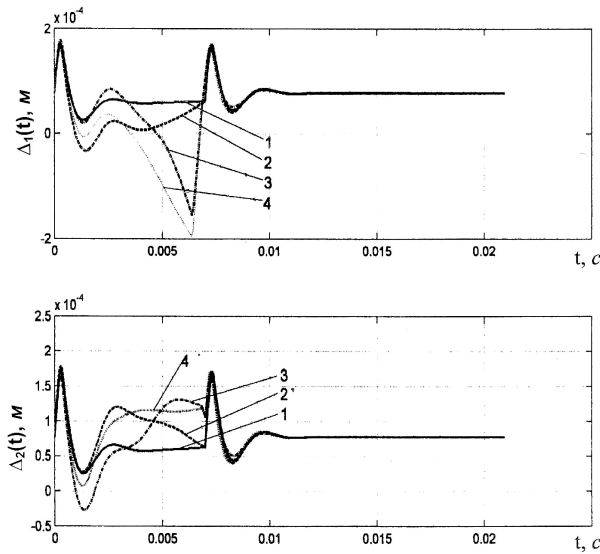


Рис. 3

Превышение в процессе транспортирования тканей величины подъема дополнительной зубчатой рейки над основной (случай $p_{12} > p_{11}$, $\varphi_{p1} = \varphi_{p2}$) приводит к тому, что деформация $\Delta_1(t)$ под основной зубчатой рейкой уменьшается, а деформация $\Delta_2(t)$ под дополнительной зубчатой рейкой возрастает, т.е. основная нагрузка при транспортировании тканей переключается на

дополнительную зубчатую рейку. В случае неравенства углов рабочего хода зубчатых реек, т.е. $\varphi_{p1} < \varphi_{p2}$ при $p_{12} = p_{11}$, ввиду того, что основная зубчатая рейка заканчивает транспортирование тканей раньше, чем дополнительная, происходит перераспределение нагрузки на дополнительную зубчатую рейку, что приводит к дополнительным колебаниям. В случае $p_{12} > p_{11}$ и $\varphi_{p1} < \varphi_{p2}$, т.е. одновременного действия на прижимную лапку исследуемых факторов, наблюдается перераспределение нагрузки в сторону увеличения амплитуды и длительности колебаний деформации $\Delta_2(t)$ под дополнительной зубчатой рейкой.

Как показали исследования, при увеличении частоты ω амплитуда колебаний возрастает, и при $\omega > 400 \text{ с}^{-1}$ начинаются отрывы прижимной лапки одновременно от обеих зубчатых реек. При дальнейшем увеличении частоты ω количество и длительность отрывов прижимной лапки от зубчатых реек возрастают настолько, что влияние разности величин подъема зубчатых реек и углов их рабочего хода оказывается уже несущественным. Исходя из сказанного, видно, что исследование динамики прижимной лапки является необходимой стадией процесса проектирования дифференциальных реечных механизмов транспортирования ткани швейных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Полухин В.П., Рейбарх Л.Б.** Швейные машины цепного стежка. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 352 с.
 2. **Мазин Л.С., Марковец А.В., Луганцева Т.А., Новоселов Г.А.** Анализ и оптимальный синтез параметров механизмов транспортирования ткани швейных машин: Учебное пособие / Под ред. Л.С. Мазина, СПГУТД. – СПб, 2000. – 188 с.
 3. **Бабак И.М.** Теория колебаний. 2-изд. – М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит.-ы, 1965. – 560 с.
- Санкт-Петербургский гос. ун-т технологии и дизайна. Материал поступил в редакцию 10.07.2004.

Ա.Վ. ՄԱՐԿՈՎԵՅ, Լ.Ս. ՄԱԶԻՆ

ԿՏՈՂԻ ՏԵՂԱՓՈԽՄԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՄԵԽԱՆԻԶՄՈՎ ԿԱՐԻ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՄԵՂՄՈՂ ԹԱԹԻԿԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Հետազոտվում է կարող մեքենայի՝ կտորի տեղափոխման դիֆերենցիալ ատամնաքանոնային մեխանիզմի դինամիկան: Ստացված են մեխանիզմի սեղմող թաթիկի շարժման դինամիկական և մաթեմատիկական մոդելները, որտեղ հաշվի է առնված սեղմող թաթիկի փոխազդեցությունը կտորի և ատամնաքանոնի հետ: Մշակված են էՀՄ-ի վրա համակարգի պարամետրերի փոփոխությունից կախված գործընթացի մոդելավորման ալգորիթմը և ծրագրային ապահովումը:

A.V. MARKOVETS, L.S. MAZIN

DYNAMICS RESEARCH OF SEWING MACHINE PRESSER FOOT WITH DIFFERENTIAL MECHANISM FOR FABRIC TRANSPORTATION

The dynamics of differential rack mechanisms for fabric transportation of sewing machines is studied. Dynamic and mathematical models of presser foot motion with fabric and racks are obtained. Algorithm and software are developed, and computerized modeling of system dynamics to be studied depending on system parameter change is performed.

А.О. АБОЯН, С.Г. АГБАЛЯН

ПРИЗНАКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ МУАРОВЫХ КАРТИН В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Разработана методика графического исследования условий возникновения рентгеновских муаровых картин и их наблюдения в кристаллических системах. Определены признаки возникновения муаровых картин при первичных плоских волнах. Показано, что для получения муаровых картин необходимо облучать отражающие плоскости последнего кристалла системы с обеих сторон в угловой области отражения под углами, отличающимися от точного угла Брэгга.

Ключевые слова: муар, двухкристальный и трехкристальный интерферометры, несовершенство кристаллов, ротационные и дилатационные искажения, отражающие плоскости, кинематическое и динамическое рассеяние, угол Брэгга.

1. Введение. Метод рентгеновского дифракционного муара является единственным прецизионным методом, позволяющим проводить прямые экспериментальные исследования структуры полей смещений, деформаций и напряжений дислокационных ансамблей, определения плотности дислокаций, величины и направления их векторов Бюргерса, плотности радиационных дефектов в монокристаллах. Рентгеновские двухкристальные и многокристальные интерференционные системы дают возможность определить относительные отклонения межплоскостных расстояний с точностью до 10^{-8} , а повороты - с точностью 10^{-7} рад [1-3].

В [4] методом рентгеновских дифракционных муаровых картин исследованы поперечные деформации, создаваемые имплантированными в кремнии ионами аргона с энергией 200 кэВ. Исходя из интерферометрических топограмм, определены относительные деформации и интегральные напряжения в зависимости от дозы облучения.

С момента получения из системы кристаллов первых электронных и рентгеновских муаровых картин и до настоящего времени предполагалось, что причиной их образования является отличие между кристаллами данной системы или в межплоскостных расстояниях, или в направлениях отражающих плоскостей, или и в тех и в других одновременно [2,5]. Видимо, это предположение заимствовано из оптики [6], где обычно муаровые картины создают с помощью двух сеток - сетки модели и эталонной сетки.

Однако, оказывается, рентгеновские муаровые картины образуются в случае, когда кристаллы не имеют вышеуказанных отличий. С другой стороны, нередки и случаи, когда эти отличия не приводят к образованию муаровых картин. В [7,8] даже предполагается, что причинами возникновения муаровых картин являются только ротационные и дилатационные искажения отражающих плоскостей.

Целью настоящей работы является детальное исследование вопросов возникновения и наблюдения рентгеновских муаровых картин, что является

весьма важной задачей рентгеновской диагностики несовершенств кристаллов и кристаллических систем.

2. Возникновение муаровых картин. Для однозначного толкования муаровых картин необходимо сначала рассмотреть условия их возникновения и наблюдения. При этом удобно применять графический метод исследования рас-положения волновых векторов в обратном пространстве.

При наложении друг на друга двух плоских монохроматических волн с амплитудами

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01} \exp i(\vec{K}_1 \vec{r} + \varphi_1), \quad \vec{E}_2 = \vec{E}_{02} \exp i(\vec{K}_2 \vec{r} + \varphi_2),$$

где φ_1 и φ_2 - начальные фазы, когда они σ - поляризованы и начальные амплитуды одинаковые ($\vec{E}_{01} = \vec{E}_{02} = \vec{E}_0$), интенсивность суммарного поля принимает следующий вид:

$$I = 4E_0^2 \cos^2 \left(\frac{\vec{K}_2 - \vec{K}_1}{2} \vec{r} + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right),$$

т.е. получается периодическое распределение интенсивности. Как видно из последнего, период этого распределения зависит от разности не начальных фаз налагающихся волн, а только волновых векторов. При равных абсолютных значениях волновых векторов период распределения зависит только от величины угла между этими векторами. Наблюдаемость этого распределения интенсивности (наблюдаемость полос) также зависит от угла между волновыми векторами: при больших углах период распределения мал, и практически полосы ненаблюдаемы, а при очень малых углах этот период получается больше сечения рентгеновского пучка, и полосы оказываются вне поля зрения. Поэтому для изучения ситуации возникновения и наблюдения муаровых картин в основном мы должны исследовать угол между волновыми векторами интерферирующих волн. Приведем один из полученных результатов и его доказательство, на котором будут основываться все наши

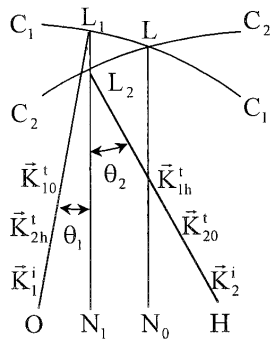


Рис. 1. Случай, когда сумма углов падения равна $\theta_1 + \theta_2 = 2\theta_B$

дальнейшие исследования. Этот результат может быть сформулирован следующим образом: в плосковолновом приближении для получения рентгеновских муаровых картин необходимо отражающие плоскости кристалла облучать с двух сторон под такими углами скольжения (в пределах угловой области отражения), сумма которых отличается от двойного угла Брэгга. При равенстве этой суммы удвоенному углу Брэгга муаровые картины не возникают. Доказательство этого утверждения можно разбить на две части. Во-первых, убедимся в том, что если сумма углов падения равна двойному углу Брэгга ($\theta_1 + \theta_2 = 2\theta_B$, рис.1), то муаровые картины не образуются.

Действительно, сумма углов θ_1 и θ_2 может равняться $2\theta_B$ только в случаях, когда или $\theta_1 = \theta_2 = \theta_B$, или насколько один из них больше угла Брэгга, другой настолько же меньше (рис.1). На рис.1 $\vec{K}_1^i$ и $\vec{K}_2^i$ - волновые векторы падающих волн; L_1 - двойная точка, являющаяся точкой падения для волны K_1^i и точкой отражения для волны K_2^i ; L_2 - также двойная точка, являющаяся точкой падения для волны K_2^i и точкой отражения для волны K_1^i . При $\theta_1 + \theta_2 = 2\theta_B$ точки L_1 и L_2 расположены на одной и той же нормали, поэтому волновые векторы $\vec{K}_{10}^t$ и $\vec{K}_{2h}^t$ волн, распространяющихся в направлении точки О обратной решетки за кристаллом, строго параллельны. По этой же причине строго параллельны и векторы $\vec{K}_{20}^t$ и $\vec{K}_{1h}^t$ волн, распространяющихся в направлении точки Н обратной решетки за кристаллом. Следовательно, в рассматриваемом случае не возникнут муаровые картины. Следует добавить, что в случае, когда волны падают точно под углом Брэгга, точки L_1 и L_2 совпадают с точкой Лауэ L , и опять муаровые картины не образуются.

Теперь покажем, что если сумма углов падения отличается от удвоенного угла Брэгга, то возникают муаровые картины. Расположение волновых векторов в этом случае показано на рис.2.

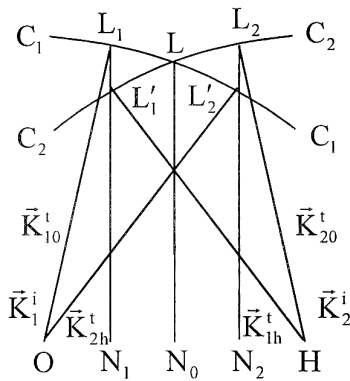


Рис. 2. Случай, когда сумма углов падения не равна $\theta_1 + \theta_2 \neq 2\theta_B$

Теперь точки падения L_1 и L_2 расположены не на одной нормали, следовательно, они не двойные. Проведем из этих точек нормали N_1 и N_2 и получим точки отражения L'_1 и L'_2 , соединением которых с точками Н и О обратной решетки получим волновые векторы $\vec{K}_{1h}^t$ и $\vec{K}_{2h}^t$ отраженных волн. Таким образом, в рассматриваемом случае волны K_{10}^t и K_{20}^t , дифрагированные в направлениях падения, не совпадают с волнами K_{2h}^t и K_{1h}^t , дифрагированными

в направлениях отражения. Следовательно, при выполнении условия $\theta_1 + \theta_2 \neq 2\theta_B$ за кристаллом возникают муаровые полосы, период которых определяется выражениями

$$\Delta_0 = 1/|\vec{K}_{10}^t - \vec{K}_{2h}^t|; \quad \Delta_h = 1/|\vec{K}_{20}^t - \vec{K}_{1h}^t|.$$

3. Случай, когда повороты отражающих плоскостей и разности межплоскостных расстояний не приводят к возникновению муаровых картин. Когда в двухкристальном интерферометре кристаллы толстые и первые поля полностью поглощаются, то в этой системе повороты отражающих плоскостей вокруг оси ОУ (оси, перпендикулярной к плоскости рассеяния) не создают муаровых картин. Действительно, если первый кристалл находится в положении симметричного отражения и отражающие плоскости второго кристалла повернуты вокруг оси ОУ на угол $\Delta\theta$ относительно отражающих плоскостей первого кристалла, то углы Брэгга во втором кристалле слева и справа принимают значения $\theta_B + \Delta\theta$ и $\theta_B - \Delta\theta$, соответствующие вращению вокруг оси ОУ по часовой стрелке (рис.3). Тогда сумма этих углов равна удвоенному углу Брэгга, поэтому как внутри, так и вне второго кристалла муаровые распределения не возникают.

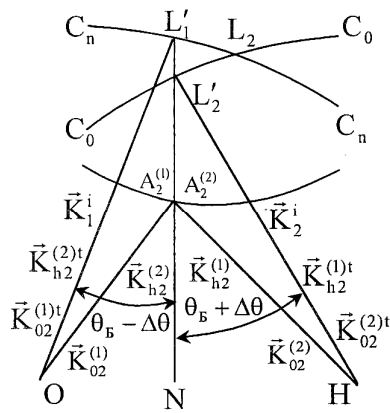


Рис. 3. Расположение волновых векторов, когда отражающие плоскости второго кристалла повернуты вокруг оси ОУ на угол $\Delta\theta$

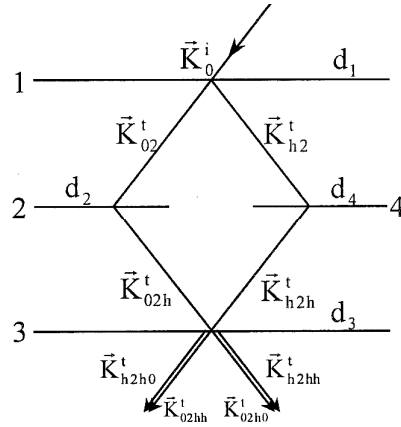


Рис. 4. Трехкристальный интерферометр, зеркальный блок которого состоит из двух частей (2 и 4)

Опишем случай, когда разности межплоскостных расстояний не приводят к возникновению муаровых картин. Рассмотрим четырехкристальный, вернее, трехкристальный интерферометр, второй кристалл которого состоит из двух частей (рис.4). Межплоскостные расстояния этих кристаллов обозначим через d_1 , d_2 , d_3 и d_4 соответственно, брэгговские углы этих кристаллов - через θ_{B1} , θ_{B2} , θ_{B3} и θ_{B4} соответственно. Допустим, межплоскостные расстояния такие,

что их брэгговские углы удовлетворяют следующим соотношениям: $\theta_{B1} = \theta_{B3} = \theta_B$; $\theta_{B2} = \theta_B + \Delta\theta$; $\theta_{B4} = \theta_B - \Delta\theta$. Если первичная волна K_0^i падает на первый кристалл точно под углом Брэгга θ_B , то волны K_{02}^t и K_{h2}^t , выходящие из первого кристалла, падают на отражающие плоскости второго и четвертого кристаллов под углами скольжения $\theta_{B1} = \theta_B$, т.е. под углами, отличающимися от углов Брэгга этих кристаллов. Имея в виду последнее, а также учитывая, что сумма углов падения и отражения остается равной двукратному углу Брэгга, для углов падения волновых векторов $\vec{K}_{02h}^t$ и $\vec{K}_{h2h}^t$ находим: $\theta_1 = \theta_B + \Delta\theta$; $\theta_2 = \theta_B - \Delta\theta$; $\theta_1 + \theta_2 = 2\theta_B$. Как видно, отражающие плоскости третьего кристалла облучаются с двух сторон под такими углами падения, сумма которых равна удвоенному углу Брэгга отражающих плоскостей этого кристалла. Следовательно, хотя межплоскостные расстояния кристаллов интерферометра отличаются друг от друга, муаровые картины не возникают.

4. Случай, когда муаровые картины возникают при одинаковых межплоскостных расстояниях и направлениях отражающих плоскостей. Покажем, что даже при строго одинаковых межплоскостных расстояниях и направлениях отражающих плоскостей могут возникнуть муаровые картины из-за непараллельности поверхностей кристаллов интерферометрической системы. Детально рассмотрим случай, когда поверхность выхода второго кристалла трехкристального интерферометра отклонена относительно остальных поверхностей. Из первого кристалла волны K_{02}^t и K_{h2}^t выходят под углом Брэгга и падают на отражающие плоскости второго кристалла под такими же углами (рис. 5).

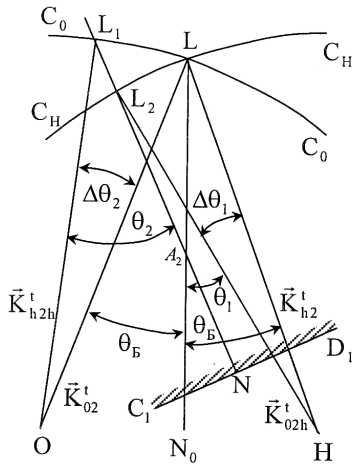


Рис. 5. Расположение волновых векторов в трехкристальном интерферометре между вторым и третьим кристаллами

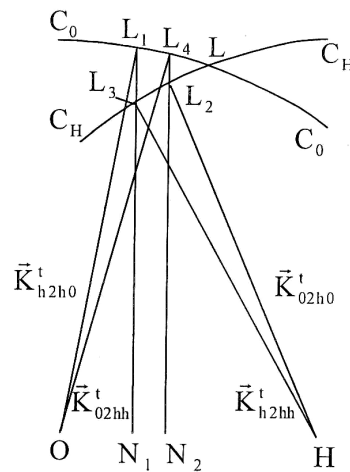


Рис. 6. Волновые векторы за третьим кристаллом

Для нахождения расположения волновых векторов между вторым и третьим кристаллами необходимо через точку распространения A_2 провести нормаль N к поверхности выхода второго кристалла. Соединив точки пересечения L_1 и L_2 этой нормали со сферами C_0C_0 и C_HC_H с точками обратной решетки O и H , найдем волновые векторы $\vec{K}_{02h}^t$ и $\vec{K}_{h2h}^t$ волн, облучающих отражающие плоскости третьего кристалла с двух сторон. Волновой вектор $\vec{K}_{02h}^t$ с отражающими плоскостями составляет угол $\theta_1 = \theta_B + \Delta\theta_1$, а вектор $\vec{K}_{h2h}^t$ с этими плоскостями - угол $\theta_2 = \theta_B - \Delta\theta_2$, следовательно, $\theta_1 + \theta_2 = 2\theta_B + (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2) \neq 2\theta_B$, т.е. выполняется условие возникновения муаровых картин. В конечном счете, вопрос возникновения муаровых картин решается нахождением направлений волн, выходящих из последнего кристалла интерферометра. Однако, как мы убедились, для решения этого вопроса дос-таточно найти сумму углов скольжения волн, падающих с двух сторон на отражающие плоскости последнего кристалла. Убедимся в том, что два подхода приводят к одним и тем же результатам. Для этого определим направления волновых векторов вне системы. Точки падения поверхности входа третьего кристалла на сферах падения можно найти, если через точки L_1 и L_2 (рис. 5) проведем нормали N_1 и N_2 к этой поверхности (рис. 6). Так как третий кристалл - плоскопараллельная пластина, то нормали N_1 и N_2 будут одновременно и нормальными к поверхности выхода. Поэтому точки пересечения L_3 и L_4 этих нормалей со сферами C_HC_H и C_0C_0 одновременно с точками L_1 и L_2 будут точками падения для поверхности выхода третьего кристалла. Соединив точки L_1 , L_2 , L_3 и L_4 с точками обратной решетки O и H , найдем волновые векторы $\vec{K}_{02hh}^t$, $\vec{K}_{h2h0}^t$, $\vec{K}_{02h0}^t$ и $\vec{K}_{h2hh}^t$. Как видно из рис. 6, как в направлении падения, так и в направлении отражения возникают муаровые полосы с периодами:

$$\Delta_0 = 1/\left|\left(\vec{K}_{02hh}^t - \vec{K}_{h2h0}^t\right)\right|; \Delta_h = 1/\left|\left(\vec{K}_{02h0}^t - \vec{K}_{h2hh}^t\right)\right|.$$

5. Зависимость угла отражения от угла падения при геометрии Лауэ. Как известно [9], при геометрии Лауэ в двухволновом приближении динамической теории рассеяния рентгеновских лучей угол скольжения падения максимального отражения совпадает с точным углом Брэгга кинематической теории и углы падения и отражения одинаковые. Интересно исследовать зависимость угла отражения от угла падения при геометрии Лауэ, когда первичная волна падает на отражающие плоскости под углом, отличным от точного угла Брэгга в пределах угловой области отражения. Для простоты рассмотрим случай поглощающего кристалла, в котором первое поле полностью поглощается, а поглощением второго поля можно пренебречь. На рис. 7 показан случай, когда угол падения отличается от точного угла Брэгга, причем угол θ_{01} меньше него. Как видно, в этом случае угол отражения больше угла Брэгга. Аналогичными построениями

можно показать, что если угол падения больше угла Брэгга, то угол отражения меньше него. Интересно отметить (рис. 7), что насколько угол падения меньше угла Брэгга, настолько же угол отражения больше угла Брэгга, и наоборот.

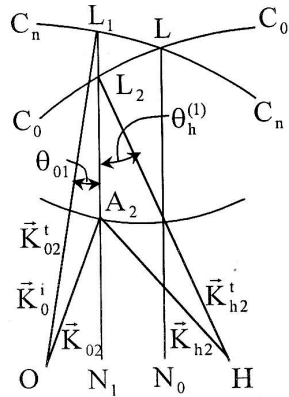


Рис. 7. Случай $\theta_{01} < \theta_B$

В этом легко можно убедиться, имея в виду, что: сферы падения $C_n C_n$ и отражения $C_0 C_0$ имеют одинаковые радиусы K_0^i ; при угле падения, равном углу Брэгга, точка L_1 совпадает с точкой Лауэ L и угол отражения также совпадает с углом Брэгга; увеличение (или уменьшение) углов падения и отражения определяется одной и той же дугой $L_1 L$ указанных сфер. Таким образом, мы приходим к важному выводу: при геометрии Лауэ в угловой области отражения изменение направления падения первичного пучка приводит к такому изменению направления отраженного пучка, при котором сумма углов падения и отражения остается

равной двукратному углу Брэгга: $\theta_{01} + \theta_h^{(1)} = \theta_{02} + \theta_h^{(2)} = 2\theta_B$. Нетрудно убедиться в том, что полученные результаты остаются в силе и для непоглощающих кристаллов.

На основании наших исследований приходим к следующим основным выводам:

1. Разработана методика графического исследования условий возникновения и наблюдения рентгеновских муаровых картин в отдельных кристаллах и кристаллических системах.
2. Показано, что насколько угол скольжения падения меньше угла Брэгга, настолько же угол скольжения отражения будет больше угла Брэгга, и наоборот. Дальнейшие исследования показали, что все выводы относительно образования рентгеновских муаровых картин, полученных в работе, являются результатом данного положения.
3. В двухкристальном интерферометре при одинаковых межплоскостных расстояниях и направлениях отражающих плоскостей образование муаровых картин обусловлено наклоном второй поверхности со стороны падения первичного пучка, а в трехкристальном интерферометре - наклонами второй и четвертой поверхностей со стороны падения первичного пучка. Отклонение остальных поверхностей в отдельности не приводит к образованию муаровых картин.
4. Рентгеновские муаровые картины возникают только в случае, когда на отражающие плоскости кристалла (последнего кристалла системы) с двух сторон падают волны в пределах угловой области отражения под такими углами скольжения, сумма которых отличается от удвоенного угла Брэгга.
5. Поворот отражающих плоскостей, облучающихся с двух сторон, вокруг оси, перпендикулярной плоскости рассеяния, не приводит к образованию муаровых картин.

С применением указанной методики проведено обширное исследование в области рентгенодифракционной диагностики несовершенств кристаллов, в частности, показано, что при асимметричных отражениях, когда угол отражения отличается от точного угла Брэгга, даже в идеальной геометрии двухкристального интерферометра получается муаровое распределение интенсивности, которое не исчезает даже тогда, когда второй кристалл - плоскопараллельная пластинка. В случае асимметричного отражения, когда межплоскостные расстояния первого и второго кристаллов отличаются друг от друга, плоскости муарового распределения за вторым кристаллом параллельны отражающим плоскостям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bonze U., Hart M.** // Appl. Phys. Letters. -1965. - Vol. 6. - P. 155-161.
2. **Абоян А.О.** Рентгеноинтерферометрический метод определения плотности радиационных дефектов в монокристаллах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. -2000.- Т.66, № 6. - С. 22-24.
3. **Абоян А.О.** Исследование видимости рентгеновских дифракционных муаровых картин трехкратным четырехкристальным интерферометром // Изв. НАН РА. Физика. -2003. - Т.38, № 5. - С. 326-334.
4. **Абоян А.О.** Исследование полей деформации в кристалле-анализаторе рентгеновского интерферометра, подвергнутого ионной имплантации // Изв. НАН РА. Физика. -2000.-Т.4, № 4. - С. 212-219.
5. **Пинскер З.Г.** Рентгеновская кристаллооптика. -М.: Наука, 1982.-389 с.
6. **Дюрелли А., Паркс В.** Анализ деформации с использованием муара. -М.: Мир, 1974.-359 с.
7. **Authier A., Milne A.D., Sauvage M.** // Phys. Stat.Sol. -1968. - Vol.26. - P. 469-480.
8. **Пинскер З.Г.** Проблемы современной кристаллографии. -М.: Наука, 1975.-350 с.
9. **James R.W.** // Solid State Phys.-1963. - Vol. 15. - P. 53-220.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 03.07.2004.

Ա.Հ. ԱԲՈՅԱՆ, Ս.Գ. ԱԴԲԱԼՅԱՆ ԲՅՈՒՂԵՂԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՄՈՒԱՐԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՀԱՅՏԱՆԻՇՆԵՐԸ

Մշակվել է բյուրեղական համակարգերում ռենտգենյան մուարի պատկերների առաջացման և դիտման պայմանների գրաֆիկական հետազոտությունների մեթոդ: Որոշվել են մուարի պատկերների առաջացման հայտանիշները առաջնային հարթ ալիքների դեպքում: Ցույց է տրված, որ մուարի պատկերներ ստանալու համար անհրաժեշտ է համակարգի վերջին բյուրեղի անդրադարձնող հարթությունները երկու կողմից ճառագայթել անդրադարձման անկյունային տիրույթի Բրեգի ճշգրիտ անկյունից տարբերվող անկյունների տակ:

A.H. ABOYAN, S.G. AGHBALYAN INDICATIONS OF ARISING X-RAY MOIRE PATTERNS IN CRYSTALLINE SYSTEMS

A method for graphical investigation of the condition for arising and observing the X-ray Moire patterns in crystalline systems is developed. Indications for arising Moire patterns at primary plane waves are defined. It is shown that to obtain Moire patterns, it is necessary to radiate the reflecting planes of the last crystalline of the system on two sides at different angles from the Breg's accurate angle of the reflection angular range.

Ս.Գ. ՄԱՍՅԱՆ, Ա.Վ. ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ

**ՄԵՏԱՂԱՓՈՇՈՒ ԴԻՍՊԵՐՍՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՄԱՔՐՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԶՄՄ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

Սահմանված է, որ եռակալված նախապատրաստվածքների բարձր ջերմաստիճանային ջերմամեխանիկական մշակման ժամանակ ամրացման էֆեկտը խիստ կախված է սկզբնափոշու մաքրությունից և դիսպերսությունից: Դիսպերսության մեծացման հաշվին (նույնիսկ միայն արտաքին շերտում) կարելի է արդյունաբերական մաքրության ПЖ1М փոշուց պատրաստված պողպատի հատկությունները մոտեցնել գերմաքուր պողպատի հատկություններին:

Առանցքային բառեր. ջերմամեխանիկական մշակում, մաքրություն, դիսպերսություն, հատիկայնություն, ներխառնուկներ, լարման կոնցենտրատորներ (համակենտրոնիչներ):

ԲԶՄՄ-ից հետո փոշու ցրվածության ազդեցությունը պողպատի հատկությունների վրա ուսումնասիրվել է բարձր մաքրություն ու դիսպերսություն ունեցող А2 կարբոնիլային ու ЦНИИЧМ և տեխնիկական մաքրության ու ոչ մեծ դիսպերսության ПЖ1М երկաթի փոշիներից ստացված պողպատների վրա: Նշված փոշիների բաղադրությունը և հատիկային կազմը բերված են աղյուսակ 1, 2-ում:

Մետաղափոշու չափերի, հետևաբար նաև ոչ մետաղական խառնուկների քանակի ու չափերի ազդեցությունը ջերմամեխանիկական մշակման արդյունավետության վրա հայտնաբերելու համար ընտրվել է հոգնածային սահմանի և հարվածային մածուցիկության ցուցանիշների փոփոխությունը, որոնք շատ ավելի զգայուն են նշված գործոնների նկատմամբ, քան ստատիկ փորձարկման ժամանակ ստացվող ցուցանիշները:

Աղյուսակ 1

Երկաթի փոշիների քիմիական բաղադրությունն ըստ զանգվածի

Փոշու մակնիշը	Տարրերի պարունակությունը, %								
	Fe	C	Si	Mn	Ni	Pb	S	P	O
ПЖ1М	98,50	0,08	0,2	0,5	-	-	0,02	0,02	0,5
А2	99,98	1,4(10 ⁻²)	4(10 ⁻⁴)	1(10 ⁻⁴)	4(10 ⁻³)	1(10 ⁻⁴)	-	-	-
ЦНИИЧМ	99,50	0,01	7(10 ⁻³)	0,01	-	-	8(10 ⁻³)	-	-

Երկաթի փոշիների բնութագրերը

Երկաթի փոշու մակնիշը	Հատիկաչափական կազմը (մկմ), %							Հոսու- նութ- յունը, գ/վրկ	Լցախտու- թյունը, γ գ/սմ ³
	-450 +315	-315 +180	-180 +160	-160 +100	-100 +63	-63 +50	-50		
1/Æ1/	1,4	1,2	6,60	30,2	42,3	8,6	9,6	4,31	2,66
Ä2	-	-	0,08	10,3	10,7	8,0	71,6	5,61	3,58
ÖIEE×/	-	0,2	6,20	21,3	39,0	14,3	18,9	3,11	2,02

Ոչ մետաղական խառնուկները լարման կոնցենտրատորներ են, որոնք նվազեցնում են ցիկլիկ ամրությունը, ինչպես նաև դիմադրողականությունը ճաքի տարածման նկատմամբ (KCT): Մետաղի զգայունությունը լարման նկատմամբ բնութագրելու համար մտցված է իրական կամ էֆեկտիվ գործակից հասկացությունը, որի մեծությունը հավասար է հարթ նմուշների հոգնածության սահմանի և կոնցենտրատոր ունեցող նմուշի հոգնածության սահմանի հարաբերությանը.

$$K_{\sigma} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1H} :$$

Պողպատի ամրության բարձրացմանը զուգընթաց, զգայունությունը լարման կոնցենտրատորի նկատմամբ աճում է: Հայտնի է, որ $K_{\sigma} = \sigma_{-1} / \sigma_B$ հարաբերությունը համաչափ աճում է մինչև ($b = 1500$ ՄՊա, այնուհետև նվազում է և, ($b = 2000$ ՄՊա-ից բարձր արժեքի դեպքում կարող է հասնել 0,25-ի:

Ամրության և ճաքի տարածման նկատմամբ դիմադրողականության ցուցանիշների համատեղ վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ փոշեպողպատների ջերմամեխանիկական մշակման ճանապարհով կարելի է հասնել լրացուցիչ ամրության բարձրացման 30...60%-ով (մինչև 2000 ... 2400 ՄՊա) առանց բեկուռ քայքայման վտանգի ընդունված ռեժիմներով ջերմամշակման համեմատ:

Սակայն փոշեպողպատների ջերմապլաստիկ մշակման ժամանակ համալիր մեխանիկական հատկությունների (σ_T , δ , ϕ , KCU, KCT, σ_{-1}) առավելագույն արժեքների ստացման լավարկված ռեժիմների սահմանումը կախված է բազմաթիվ գործոններից, որոնք արժանի են մանրամասն ուսումնասիրության:

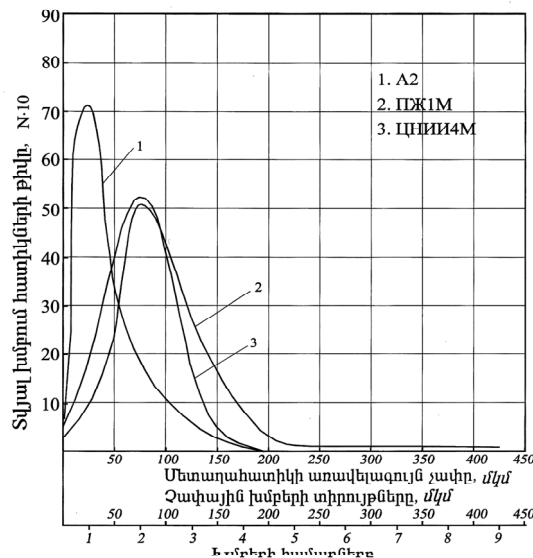
Հաշվի առնելով, որ ջերմամեխանիկական մշակմամբ ամրության բարձրացման արդյունավետությունը աճում է՝ կախված ածխածնի պարունակությունից, հիմնական ուսումնասիրություններն իրականացվել են П60 և ПУ8 պողպատների նկատմամբ, քանի որ բարձրամուր վիճակում պողպատի համալիր հատկությունների վրա սկզբնականության դիսպերսության և մաքրության ազդեցությունն անկասկած ավելի խիստ կդրսևորվի:

Մետաղափոշու հատիկային կազմը փոփոխելու համար մի դեպքում վերցրել ենք ստանդարտ A2 և ПЖ1М երկաթի փոշիներ, մյուս դեպքում՝ մանր մետաղափոշի ստանալու համար դրանք անց ենք կացրել 63 մկ տրամագծով անցքեր ունեցող մաղով: Դրանցից պատրաստված պողպատների մակնիշները նշանակենք, համապատասխանաբար, K և M տառերով: Տարբեր մակնիշի երկաթի փոշիների՝ ըստ հատիկի չափերի բաշխման կորերը՝ (հիստոգրամներ) բերված են նկ. 1-ում, իսկ համապատասխան մետաղափոշիներից ստացված պողպատների չխաձատված և խաձատված միկրոստրուկտուրները՝ նկ. 2, 3-ում:

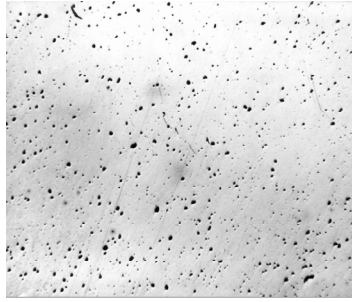
Ոչ մետաղական ներխառնուկների մետաղագրական ուսումնասիրությունն իրականացվել է ըստ ԳՕՍՏ 1778-70-ի: Օգտվելով չափանմուշային միկրոստրուկտուրաներից՝ համեմատական կարգով սահմանվել է տարբեր մակնիշի երկաթի փոշիներից ստացված պողպատների մաքրության աստիճանը՝ ըստ ոչ մետաղական խառնուկների պարունակության բալերի:

A2 - բալ N 0
 ЦННН4М - բալ N 1
 ПЖ1М - բալ N 5

Տարբեր մետաղափոշիներից պատրաստված պողպատների հոգնածային սահմանի (σ_s), հարվածային մածուցիկության (KCU), ճաքակայունության (KCT) ցուցանիշները, կախված սկզբնաձևի բնութագրից (ուստի և՛ աղտոտվածության աստիճանից), բերված են նկ. 4, 5-ում: Մեր ստացած տվյալները (նկ. 4, 5 և աղյուսակ 3) թույլ են տալիս եզրակացնել, որ փոշե ծակոտկեն նախապատրաստվածքներից ԲՋՄՄ բարձրամուր պատասխանատու դետալներ ստանալիս անհրաժեշտ է օգտագործել միայն մաքուր և դիսպերս մետաղափոշիներ: Ոչ այնքան մաքուր ПЖ1М փոշուց ստացված պողպատի դեպքում մետաղափոշին խոշոր և մանր չափամասերի բաժանելու եղանակով կարելի է հասնել հոգնածային ամրության և հարվածային մածուցիկության զգալի աճի: Ինչպես երևում է ստացված տվյալներից, մետաղափոշու մաքրությունը բարձրացնելիս հատիկայնության ազդեցությունն զգալիորեն նվազում է:



Նկ. 1. Տարբեր արտադրության երկաթե փոշիների հատիկների չափերի բաշխման կորերը

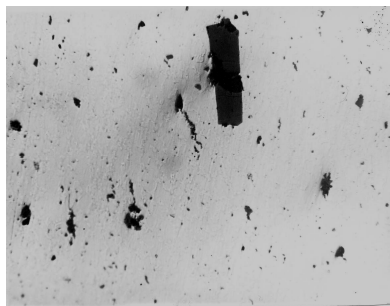


ա) x400

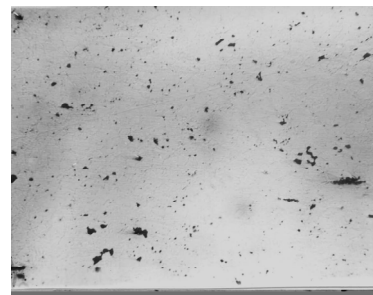


բ) x400

Նկ. 2. A2 երկաթափոշուց ստացված ПУ8А պողպատի ծակոտկեն (10%) նախապատրաստվածքների միկրոկառուցվածքը 1150°C-ում 1,5 ժ եռակալելուց հետո ա - առանց խաճատման, բ - պիկրինաթթվով խաճատված



ա) x340

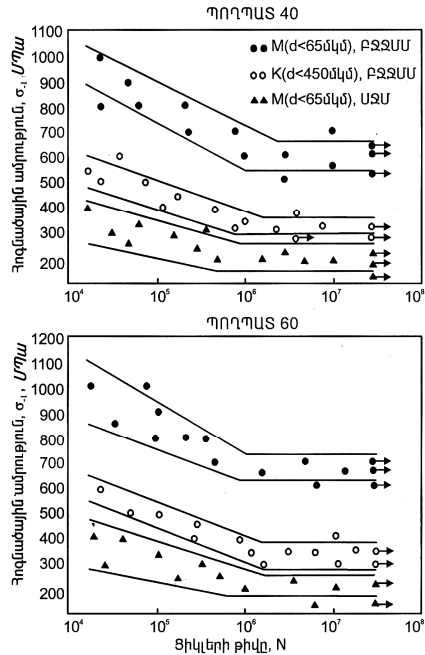


բ) x340



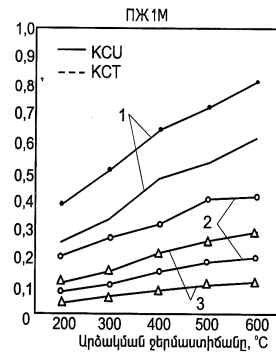
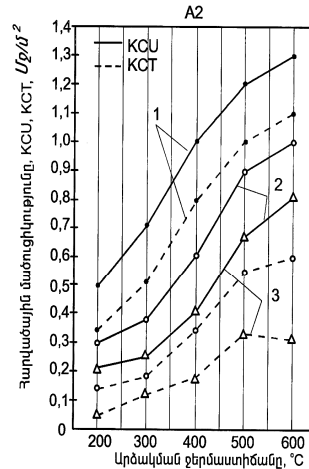
գ) x340

Նկ. 3. Վերականգնված ПЖ1М, ПЖ1М (М) և ЦНИИЧМ երկաթափոշիներից ստացված պողպատի չխաճատված ստրուկտուրան եռակալելուց հետո ա) ПЖ1М, բ) ПЖ1М (М), գ) ЦНИИЧМ



ԲԶՋՄՄ իրագործվել է արտամղմամբ
 $\lambda = 6$, $t_{\text{դեֆ}} = 900^\circ\text{C}$, $t_{\text{արձ}} = 250^\circ\text{C}$:
 Հոգնածային նմուշները՝ առանց լարման

կոնցենտրատորի կամ համակենտրոնիչի
 Նկ. 4. ՍՋ1Մ երկաթի սկզբնափոշու
 դիսպերսության և մաքրության
 ազդեցությունը կ40 և կ60 պողպատների
 հոգնածային ամրության վրա ԲԶՄՄ-ից և
 ՍԶՄ-ից հետո



1. ԲԶՋՄՄ, ՍՋ1Մ (d_{հոգ} < 60մկմ)
2. ԲԶՋՄՄ, ՍՋ1Մ (d_{հոգ} < 450մկմ)
3. ՍԶՄ

Նկ. 5 Պողպատի կ60-ի մեխանիկական
 հատկությունները ԲԶՄՄ-ից և ՍԶՄ-ից
 հետո՝ կախված սկզբնափոշու
 դիսպերսությունից և մաքրությունից

Ինչպես երևում է, որքան շատ են ներխառնուկները և մեծ են նրանց չափերը, այն-
 քան խիստ է դրանց ազդեցությունը մեխանիկական հատկությունների, հատկապես պլաս-
 տիկության ցուցանիշների (δ , φ , KCU, KCT) և հոգնածային ամրության (σ_{-1}) վրա: Այսպես
 օրինակ, ՍՋ1Մ փոշուց պատրաստված մետաղների համար (որում ներխառնուկների
 չափերը (նկ. 3), կարող են հասնել 100մկմ և ավելի) այդ ցուցանիշները շատ ցածր են.
 ՍՋ8(K)- ի համար՝ $\delta=1,5-2$, $\varphi=2-3$, $\sigma_{-1}=300 \text{ ՄՊա}$, KCU = 0,21 ՄՁ/մ^2 , KCT - հնարավոր չէ
 հայտնաբերել, ՍՋ6(K)-ի համար՝ $\delta=2$, $\varphi=4$, $\sigma_{-1}=350 \text{ ՄՊա}$, KCU=0,22 ՄՁ/մ^2 :

ԲՋՄՄ-ից հետո ստացված բարձրամուր պողպատների մեխանիկական հատկությունների վրա սկզբնափոշու հատիկայնության ազդեցությունը

Պողպատի մակնիշը	dm, մկմ	σ_b , ՄՊա	$\sigma_{0.2}$, ՄՊա	δ , %	φ , %	σ_{-1} , ՄՊա	KCU, ՄՋ/մ ²	KCT, ՄՋ/մ ²
ΠΥ8 (A2)	< 65	2150	1860	8	15	750	0,48	0,15
	< 180	2050	1730	6	12	650	0,35	0,09
ΠΥ8 (ΠЖ1М)	< 65	2000	1800	4	10	600	0,32	0,10
	< 450	1800	1600	2	3	300	0,21	-
Π60 (A2)	< 65	2300	2000	10	20	800	0,6	0,4
	< 180	2200	1970	8	15	700	0,4	0,18
Π60 (ΠЖ1М)	< 65	2150	1980	6	15	700	0,43	0,23
	< 450	1750	1600	2	4	350	0,22	-
Π60 (ЦНННЧМ)	< 65	2250	2000	8	14	760	0,53	0,28
	< 315	2050	1820	4	12	620	0,38	0,12
ΠΧ40ΧΗМ (A2)	< 65	2400	2190	6	20	800	0,52	0,28
	< 180	2200	1980	4	15	750	0,48	0,24

Մանր սկզբնափոշու օգտագործման ժամանակ (< -65մկմ) ստանում ենք.
 ΠΥ8(M)-ի համար՝ $\delta=4$, $\varphi=10$, $\sigma_{-1}=600$ ՄՊա, $KCU=0,32$ ՄՋ/մ², $KCT=0,1$ ՄՋ/մ²;
 Π60(M)-ի համար՝ $\delta=6$, $\varphi=15$, $\sigma_{-1}=700$ ՄՊա, $KCU=0,43$ ՄՋ/մ², $KCT=0,23$ ՄՋ/մ²

Հոգնածային փորձարկումների ժամանակ պողպատի երկարակեցությունը կախված է ներխառնուկների ձևից, միջին տրամագծից, ինչպես նաև նրանց մակերևույթից ունենցած հեռավորությունից:

Ինչպես ցույց են տալիս ուսումնասիրությունները [1-3], արդյունավետությունից ելնելով կարելի է նույնիսկ ստանդարտ մետաղափոշին բաժանել տարբեր չափամասերի և նախապատրաստվածքների միայն արտաքին շերտում օգտագործել բարձր դիսպերսության բաժնեմասը:

Գերմանր հատիկի կամ ենթահատիկի ստացման ժամանակ կոմպլեքս մեխանիկական հատկությունների ընդհանուր բարձրացման արդյունավետությունն առավել զգալի է համաձուլվածքների բարձրամուր վիճակում (միտումից և ցածր արձակումից հետո, երբ $\sigma_b > 1400$ ՄՊա), հատկապես ջերմամեխանիկական մշակման ժամանակ:

Այսպիսով, մետաղափոշու հատիկայնության փոքրացումը, ինչպես նաև ստացված բարձրամուր պողպատներում ԲՋՄՄ շնորհիվ հատիկների և ենթահատիկների ստրուկտուրայի խիստ մանրացումը հանգեցնում է պլաստիկության բարձրացմանը, սառնաբեկության շեմի նվազեցմանը և, միաժամանակ, ամրության ցուցանիշների աճին: Փաստորեն դիսպերսության մեծացման հաշվին կարելի է ΠЖ1М ոչ մաքուր փոշուց պատրաստված պողպատի հատկությունները մոտեցնել գերմաքուր պողպատի հատկություններին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Мамян С.Г., Аразян А.Р.** Способ изготовления конструкционных деталей из железного порошка // АСК 1509183. – М., 1987.
2. **Mamyan S.G.** Creation of high streanght quasi-composite steels and alloys of new class //Materials of the congress "New processes and application experience" международный конгресс. М., 1990.-12 p. (С.196-201).
3. **Мамян С.Г.** Технологические особенности получения слоистых сталей методом порошковой металлургии с применением ВТМО // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2003 – Т 56, N1. – С. 46-51.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 04.11.2003:

С.Г. МАМЯН, А.В. АНДРИАСЯН

ВЛИЯНИЕ ЧИСТОТЫ И ДИСПЕРСНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТМО

Установлено, что при высокотемпературной термомеханической обработке спеченных заготовок эффект упрочнения зависит от чистоты и дисперсности исходных порошков. За счет увеличения дисперсности в наружном слое деталей, изготовленных из порошков промышленной чистоты ПЖ1М, их свойства приближаются к свойствам сверхчистых сталей.

S.G. MAMYAN, A.V. ANDRIASYAN

METALLIC POWDER OF THE CLEANNESS AND DISPENSABILITY INFLUENCE ON THE EFFECT OF CONSTRUCTION HARDNESS USING TMT

It has been shown that during high temperature thermo-mechanical treatment of sintered bars the hardening phenomenon depends on cleanness and dispensability of initial powders. Due to increasing the dispensability in the external layer of the product made from powders of industrial cleans ПЖ1М, approach the properties of ultra-pure steels.

Г. Р. ДРМЕЯН

НОВЫЙ РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕСОВЕРШЕНСТВ В МАТЕРИАЛАХ

На основе кратных рентгеновских интерферометров предложен и опробован способ исследования полей деформации кристаллов. Показано, что двукратный рентгеновский интерферометр позволяет выявить линии сегрегации, полосы смещения и муаровые картины, обусловленные несовершенствами исследуемых кристаллических материалов.

Ключевые слова: муаровые топограммы, двукратный интерферометр, поле деформации кристаллов.

Основная задача рентгеноинтерферометрических методов исследования несовершенств кристаллических материалов сводится к получению интер-ферометрических дифракционных изображений несовершенств кристаллов с большим разрешением и их однозначной интерпретации. Следовательно, для повышения эффективности исследований необходимо разработать новые методы, облегчающие расшифровку дифракционных картин. С этой целью в настоящей работе приводятся результаты стереометрических исследований несовершенств кристаллов с применением кратных интерферометров [1]. Кратность интерферометра определяется числом семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей.

Очевидно, что интерферограммы, полученные от одного семейства отражающих плоскостей, не дают полной картины несовершенств исследуемого кристалла. Поэтому для более полного описания деформированного состояния кристаллов необходимо получить дефектограмму от одного и того же кристалла с помощью хотя бы двух или трех семейств плоскостей, отличающихся ориентациями. Итак, возникает острая необходимость разработки рентгеновской дифракционной стереометрической интерферографии несовершенств монокристаллов.

Известны различные рентгеноинтерферометрические способы исследования несовершенств кристаллов [2, 3]. Во всех этих работах использованы одинарные интерферометры – одно семейство отражающих плоскостей.

Интерферометрическое изображение несовершенств кристаллов в основном исследуется с помощью муаровых картин [4-6], возникающих в результате относительных различий в ориентациях и межплоскостных расстояниях частей кристаллов, через которые проходят интерферируемые волны, которые существенно зависят от ориентации отражающих плоскостей. Следовательно, картины, полученные от одного и того же интерферометра

при использовании различных семейств плоскостей, имеющих разные ориентации, в общем случае должны отличаться друг от друга.

Так как муаровые картины представляют собой интерференционные узоры, вызванные полем деформации нарушений кристаллической решетки, то они дают возможность судить о них. Действительно, как известно, дифракционные изображения фактически являются картинами таких дефектов (или их частей), которые приводят к смещениям в направлении нормалей отражающих плоскостей. Другими словами, рентгеновские рефлексy реагируют на структурные дефекты только в том случае, когда деформационные сдвиги атомов, вызванные этими дефектами, перпендикулярны к атомным плоскостям, отражением от которых образуется данный рефлекс.

Ясно, что однозначная интерпретация изображения дефектов значительно облегчается, когда рентгенограммы получены симметричным отражением от семейств, имеющих одинаковые межплоскостные расстояния, т. е. принадлежащих одной и той же совокупности плоскостей – комплексу симметрично – эквивалентных плоскостей.

Нами предложен новый рентгеноинтерферометрический способ, более полно описывающий поля деформации кристаллов. Указанная цель достигается с помощью кратных интерферометров.

Проведены исследования несовершенств кристаллов двухкристального и трехкристального двукратных интерферометров (рис. 1 а и б). Двухкристальный двукратный интерферометр состоит из двух параллелепипедальных блоков, разделенных воздушным зазором. Толщины блоков (равные 4,5 мм) таковы, что при этих значениях в кристалле кремния имеет место бормановское аномальное поглощение MoK_{α} излучения. Ширина зазора – 300 мкм.

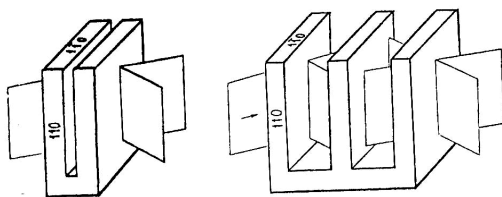


Рис. 1. Двукратные интерферометры:
а – двухкристальный, б – трехкристальный



Рис. 2. Интерферограммы от двукратного двухкристального интерферометра: а – отражение (220), б – отражение ($2\bar{2}0$)

Как видно из рис. 1а и б, семейства сильно отражающих плоскостей (110) и ($1\bar{1}0$) перпендикулярны друг другу, что создает условия для получения совершенно одинаковых интерференционных картин от двукратных двух- и трехкристального интерферометров. Это достигается только в случае, если блоки интерферометра являются почти идеальными кристаллами. Если же блоки (или исследуемый кристалл) содержат дефекты, ориентация которых относительно отражающих плоскостей разных семейств двукратного

интерферометра разная, то картины этих интерферометров будут отличаться, что даст возможность судить о пространственной ориентации дефектов и распределении деформации, вызванных этими дефектами.

На рис. 2а и б показаны интерферограммы, полученные от двукратного двухкристального интерферометра с отражениями (220) и $(\bar{2}\bar{2}0)$. Как видно, отражение (220) в двукратном двухкристальном интерферометре обнаруживает только линии смещения (рис. 2а), а отражение $(\bar{2}\bar{2}0)$ – как линии смещения, так и линии сегрегации. На рис. 2б картина получена в результате интерференционного наложения линий смещения и сегрегации. Как видно, при отражении от плоскостей (110) линии сегрегации не получаются, а от плоскостей $(\bar{1}\bar{1}0)$ – наоборот, следовательно, во-первых, дифракционный вектор отражения $(\bar{2}\bar{2}0)$ параллелен оси роста кристалла, а дифракционный вектор отражения (220) перпендикулярен к этой оси и, во-вторых, в кристаллах интерферометра в областях сегрегации выделения отсутствуют.

Для экспериментального исследования зависимости периодов муаровых картин (изображения несовершенств) от ориентации отражающих плоскостей были изготовлены специальные интерферометры, с помощью которых нами получены муаровые картины от отражающих плоскостей (110) и $(\bar{1}\bar{1}0)$.

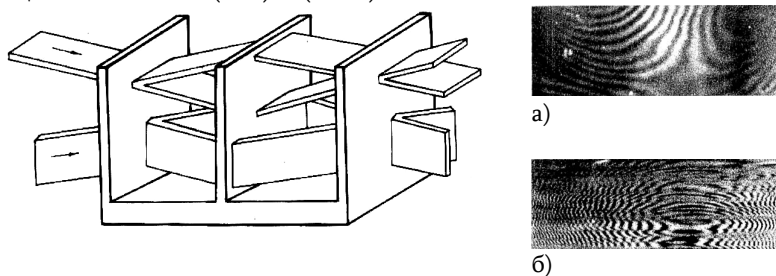


Рис. 3. Схема интерферометра и ход лучей в нем: а - муаровая топограмма при отражении $\bar{2}\bar{2}0$, б - муаровая топограмма при отражении (220)

Один из этих интерферометров показан на рис. 3. Как видно из рисунка, плоскости (110) перпендикулярны к большим поверхностям интерферометра и параллельны основанию интерферометра, а плоскости $(\bar{1}\bar{1}0)$ перпендикулярны как к большим поверхностям, так и к основанию интерферометра. Муаровые картины, полученные с помощью этого интерферометра от плоскостей $(\bar{1}\bar{1}0)$ и (110) с использованием вторых порядков отражений, приведены на рис. 3 а и 3 б соответственно. Как видно из этих рисунков, муаровые картины, полученные от одного и того же интерферометра, но с разными семействами отражающих плоскостей, совершенно не похожи друг на друга, что и можно было ожидать. При этом необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства: вначале снимались муаровые топограммы для отражения $(\bar{2}\bar{2}0)$ (рис. 3а), а для отражения (220) интерферометр поворачивался относительно оси $[001]$ на 90° . Однако при этом муаровая картина не получалась. Это объясняется тем, что под действием силы тяжести блоки интерферометра деформируются, следовательно,

или нарушается “условие идеальной геометрии” (равенство межблочных расстояний), или получаются муаровые узоры, периоды которых меньше величины зерен регистрирующей рентгеновской пленки (RM-1). Поэтому рентгенодифракционная камера поворачивалась на 90° , а интерферометр поворачивался в противоположном направлении на тот же угол, как это показано на рис 4.

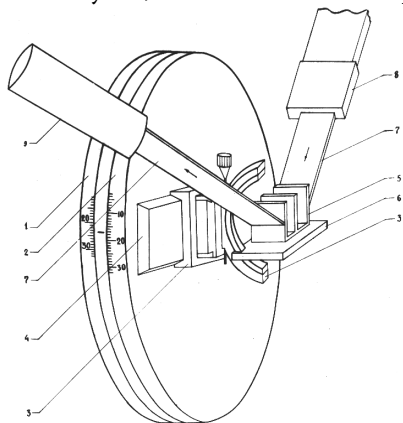


Рис. 4. Схема эксперимента для получения муаровых топограмм от отражения (220): 1 и 2 - лимбы рентгенодифракционной камеры КРС, 3 - гониометрическая головка, 4-держатель гониометрической головки, 5-интерферометр, 6-столик, 7-рентгеновский пучок, 8-коллиматор, 9-детектор

Тогда блоки интерферометра устанавливаются вертикально, и если при отражении ($2\bar{2}0$) направление сканирования было горизонтальным, то при (220) оно вертикально. При таком расположении камеры с интерферометром получалась муаровая топограмма, показанная на рис. 3б. Снимались муаровые топограммы (рис. 3а и б) со сканированием интерферометра. Микрофотометрирование картин показало, что контраст муаровых картин, полученных с помощью плоскостей ($1\bar{1}0$), лучше, чем от плоскостей (110). Это, видимо, объясняется тем, что при плоскостях ($1\bar{1}0$) интерферируют друг с другом лучи, проходящие через блоки на одинаковых высотах от основания, и так как состояние напряженности блоков меняется по высоте, то в этом случае интерферируют волны, содержащие почти одинаковые информации о деформациях. В случае же плоскостей (110) это условие нарушается, и поэтому контраст муаровых картин падает.

Таким образом, из наших экспериментов вытекает:

- в случае, когда блоки интерферометра вертикальны и отражающие плоскости перпендикулярны к основанию интерферометра, муаровые картины получаются с большим контрастом;
- интерферометрические топографические картины зависят от ориентации отражающих плоскостей.

На рис. 3 а и б показаны топографические интерферограммы, полученные от двукратного трехкристального интерферометра отражениями ($2\bar{2}0$) и (220).

Детальное исследование этих снимков позволяет сделать следующие выводы:

- на рис. 3а (отражение $2\bar{2}0$) видна интерферометрическая муаровая картина поля деформации дислокации, а на рис. 3 б (отражение 220) - картина,

полученная в результате когерентного наложения линий сегрегации и муара дислокации;

- интерферометрические топограммы, приведенные на рис. 3а и б, показывают, что распределения деформаций, вызванных линией дислокации, расположенной в кристалле двукратного трехкристального интерферометра, отличаются друг от друга – зависят от ориентации семейств симметрично эквивалентных плоскостей относительно линии дислокации. Это является экспериментальным доказательством того, что интерферометрические картины, полученные от одного и того же кристалла с помощью семейств симметрично эквивалентных плоскостей, будут одинаковыми только в том случае, когда кристаллы интерферометра идеальны. Действительно, при получении топограмм от отдельных кристаллов (блоков) двукратного трехкристального интерферометра в первом кристалле выявилась дислокация.

Таким образом, одним и тем же двукратным интерферометром можно обнаружить и линии сегрегации, и полосы смещения, и муаровые картины различных несовершенств.

Для более полного описания дефектной структуры необходимо увеличить кратность интерферометра – увеличить число семейств отражающих плоскостей, принадлежащих одному и тому же комплексу симметрично эквивалентных плоскостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абоян А. О., Хзарджян А. А., Сафарян М. А.** Кратные интерферометры // Тез. докл. III совещ. по Всес. прогр. “Рентген”. - Черновцы, 1989. - С. 106.
2. **Aboyan A. O., Tumasyan A. S.** Gryst. Res. Technol. – 1990. - V. 25. - P. 1210-1214.
3. **Gasparyan L. G., Bezirganyan P. H., Mkrtchyan V. P., Truni K. G., Toneyan A. G.** Phys. Stat. Sol. (a). –1991. – V.123. – P. –77-82.
4. **Christiansen G., Gerward L., Lindegaard A. A.** J. Appl. Gryst. –1971. – V.4. – P. 371.
5. **Gerward L., Christiansen G., Lindegaard A.A.** Physic. Letters. - 39 A. - P. 63.
6. **Абоян А. О.** Известия НАН РА. Физика. – 2000. – Т.35, ¹ 4. - С. 212-219.

Гюмр. пед. ин-т. Материал поступил в редакцию 12.02.2004.

Հ. Ռ. ԴՐՄԵՅԱՆ

ՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ԱՆԿԱՏԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՆՈՐ ՌԵՏԳԵՆՈՒՆԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԻԿ ՄԵԹՈԴ

Ռենտգենյան բազմապատիկ ինտերֆերոմետրերի հիման վրա առաջարկվել և փորձարկվել է բյուրեղների մեջ դեֆորմացիոն դաշտերի ուսումնասիրության նոր եղանակ: Ցույց է տրվել, որ կրկնապատիկ ռենտգենյան ինտերֆերոմետրը թույլ է տալիս բացահայտել ուսումնասիրվող բյուրեղական նյութերի անկատարելություններով պայմանավորված անմիասնեության և շեղման գծերը, մուարի պատկերները:

H.R. DRMEYAN

A NEW X-RAY INTERFEROMETRIC METHOD FOR INVESTIGATION OF IMPERFECTION IMAGES IN MATERIALS

A method for investigation of deformation fields in crystals based on multiple X-ray interferometers is suggested and tested. It is shown that a double X-ray interferometer permits to reveal segregation lines, shift bands and Moire patterns arising due to imperfections of crystalline materials under investigation.

Ա.Ա. ԱԼԱՅԱՆ, Ա.Ս. ԳԱՄՊԱՐՅԱՆ

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ՓԱՅԼԱԹԻԹԵՂՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲՅՈՒՐԵՂԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՑ

Ուսումնասիրվել է 8011 մակնիշի դեֆորմացված ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղի կառուցվածքազոյացման և հատկությունների փոփոխության գործընթացը՝ տարբեր ռեժիմներով վերաբյուրեղացման ընթացքում: Գիտականորեն հիմնավորված են նման հետազոտությունների արդիականությունն ու անհրաժեշտությունը: Կատարվել է քանակական մետաղագրական և ռենտգենակառուցվածքային անալիզներ, ինչպես նաև որոշված են փայլաթիթեղի՝ վերաբյուրեղացման աստիճանից կախված հատկությունները:

Ստանդարտային բառեր. փայլաթիթեղ, վերաբյուրեղացում, դիֆրակտագրեր, տեքստուրա, գլոցում, կլինետիկա, մետաղագրություն, ռենտգենագրություն:

Տեխնիկայի զարգացման հետ զուգընթաց օրըստօրե աճում են բարձր տեսակարար ամրությամբ օժտված նյութերի քանակը և վերջիններիս հատկություններին ներկայացվող պահանջները: Այս նյութերի թվին են պատկանում նաև ալյումինային համաձուլվածքները, որոնց տեսականին և կիրառման բնագավառները խիստ բազմազան են: Հատկապես մեծ է ալյումինային համաձուլվածքներից պատրաստված փայլաթիթեղների պահանջարկը, որոնց ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները կախված են համաձուլվածքների բաղադրությունից, երկրաչափությունից և կառուցվածքից:

Այս պահանջները բավարարելու նպատակով անհրաժեշտ է ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղի համար կատարել համալիր ուսումնասիրություններ և մշակել անհրաժեշտ տեխնոլոգիաներ:

Ալյումինային փայլաթիթեղի համար առավել կիրառական համաձուլվածքների (ըստ EN և DIN) բաղադրությունը բերված է աղյուսակում:

Աղյուսակ

Փայլաթիթեղների համար օգտագործվող համաձուլվածքների մակնիշները և բաղադրությունները

ՇՍՏ EN և DIN	NN	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AlFe1,5Mn	8006	0,40	1,2-2,0	0,30	0,30-1,0	0,10	-	0,10	-
AlFeSi (A)	8011A	0,5-0,9	0,6-1,0	0,1	0,20	0,05	0,05	0,10	0,08
AlFeSi (B)	8111	0,3-1,1	0,4-1,0	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,08
AlFe1Si	8079	0,05-0,30	0,7-1,3	0,05	-	-	-	0,1	-
Al99,5	1050	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	-	0,07	0,05
Եվրոպական դասակարգում	3003	0,17	0,6-0,7	0,057-0,075	1,0-1,1	0,2	-	0,028-0,039	-
Եվրոպական դասակարգում	8009	0,1-0,2	1,7	0,05-0,06	0,32	0,06	-	0,036	-
Եվրոպական դասակարգում	8011	0,6-0,7	0,8-0,9	0,06-0,18	0,03-0,07	0,02- -0,04	-	0,06-0,14	-
Եվրոպական դասակարգում	3003 EN AlMn1Cu 573-3	0,60	0,7	0,05-0,20	1,0-1,5	-	-	0,10	-

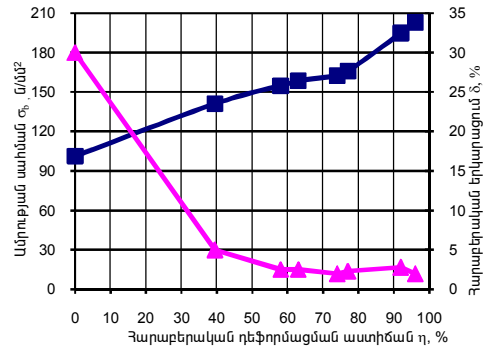
Հաստուկ ուշադրության է արժանացել 8011 մակնիշի համաձուլվածքը, որն առավել կիրառական է և վերամշակվում է «Արմենալ» ՓԲԸ-ում:

Այս համաձուլվածքից փայլաթիթեղի ստացման տեխնոլոգիան ներառում է. պահանջվող համաձուլվածքի բովանդակությունը ստացում, վառարանի (ИАТ-6) բեռնում բովանդակությունը (վառարանում հեղուկ մետաղի մնացորդը կազմում է 4 տ), հալում (ջերմաստիճանը՝ 730⁰10°C), վառարանում հալույթի գտում (ֆլյուսի պարունակությունը՝ 0,47KCl+0,30NaCl+0,23 կրիոլիտ (*կգ/տ*)), հեղուկ մետաղի լցում շերտի մեջ (~2 տ), նստվածքի հեռացում հալույթի մակերևույթից, շերտից հալույթի լցում կուտակիչի մեջ (ջերմաստիճանը՝ 700⁰10°C), հալույթի կուտակում կուտակիչում (9...13,5 տ), կուտակիչում հալույթի դեգազացիա (ազոտի ներմուծմամբ, պահման տևողությունը՝ 30...40 ր), ձուլի ստացում (ձուլակաղապարում հալույթի լցման արագությունը՝ 9...11 սմ/ր, լիզատուրայի մատուցման արագությունը՝ կախված ստացվող ալյումինային համաձուլվածքի բաղադրությունից, կազմում է 40...60 սմ/ր, ձուլի սառեցման համար տրվող ջրի ջերմաստիճանը 30 °C, ճնշումը՝ 1...1,2 մթնոլորտ), ստացված ձուլի մեխանիկական մշակում՝ պոչամասի հեռացում կտրմամբ, բազմաստիճան տաք զլոցում (ջերմաստիճանը՝ 500°C, 16...20 ժ պահմամբ), հաստությունների անցումների տարբերությունը՝ 180...0,6 մմ, դեֆորմացման գումարային աստիճանը՝ 99,6%, (զլոցումը կատարվել է հաջորդաբար՝ Трис-700, Дуго-650, Кварто-300 հաստոնների վրա՝ 1,4 մ/վ միջին արագությամբ), հոմոգենացնող թրծում (CH3X վառարանում՝ 500...550°C-ում 20 ժ պահմամբ), բազմաստիճան սառը զլոցում (զլոցումը կատարվել է HUNTER հաստոնների վրա՝ 450 մ/ր միջին արագությամբ, հաստությունների անցումների տարբերությունը՝ 0,6...0,012 մմ, դեֆորմացման գումարային աստիճանը՝ 98%), մեխանիկական կտրում, վերջնական հատկություններն ապահովող թրծում, պատրաստի արտադրանքի փաթեթավորում և առաքում:

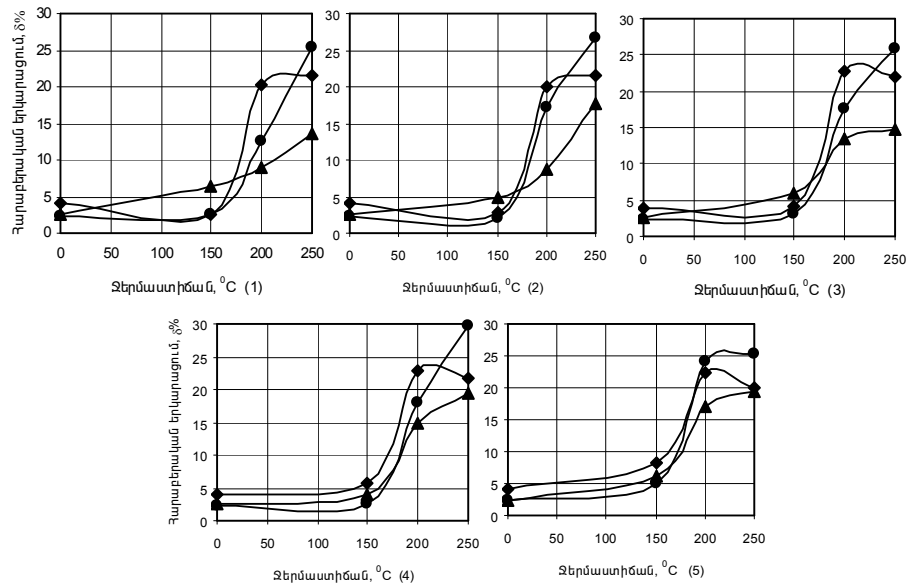
Քանի որ փայլաթիթեղի նախաառաքման ջերմամշակումը կատարվում է վերջնական զլոցումից հետո, ուսումնասիրվել է 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքի փայլաթիթեղների ամրության և պլաստիկության փոփոխությունը՝ կախված դեֆորմացման աստիճանից (նկ.1): Փայլաթիթեղի մեխանիկական հատկությունները որոշվել են մինչև 130 մկմ- HSK5, իսկ ավելի հաստերը՝ PMY-0,05 մակնիշների ձգման մեքենաների վրա:

Ինչպես երևում է ստացված արդյունքներից, բարձր ամրություն և ցածր հարաբերական երկարացում ստացվում է ավելի մեծ դեֆորմացման աստիճանի դեպքում, իսկ սկսած 55% և ավելի դեֆորմացման աստիճանի դեպքում հարաբերական երկարացումը մնում է հաստատուն (2...4%-ի սահմաններում):

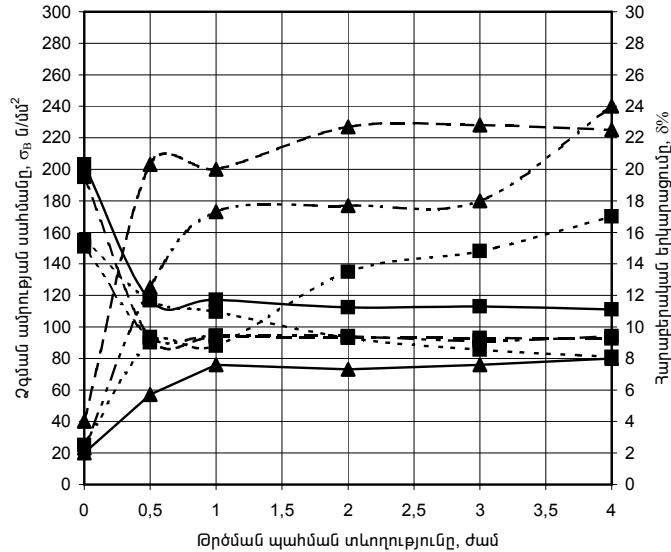
Հետազոտվել է նաև 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղների հատկությունների և կառուցվածքի փոփոխությունը տարբեր ռեժիմներով ջերմային մշակումից հետո, արդյունքները բերված են նկ.2-ում և 3-ում:



Նկ.1. 20-570 մկմ հաստությամբ 8011 պլումինային համաձուլվածքի փայլաթիթեղների ամրության և պլաստիկության կախվածությունը դեֆորմացման աստիճանից
(—■— σ, —▲— δ)



Նկ.2. 45, 130, 237 մկմ հաստությամբ 8011 մակնիշի պլումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղի հարաբերական երկարացման կախվածությունը թրծման ջերմաստիճաններից:
Պահման տևողությունը՝ 1-30 ր, 2-1 ժ, 3-2 ժ, 4-3 ժ, 5-4 ժ
(—◆— 45 մկմ, —●— 130 մկմ, —▲— 237 մկմ)

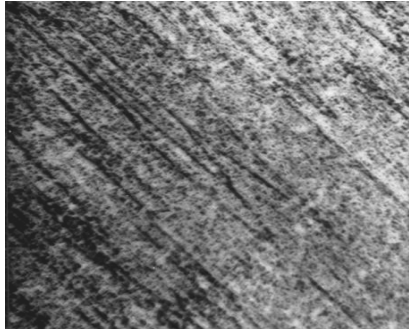


Նկ. 3. 20, 45, 130, 270 մկմ հաստությամբ 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղների ամրության և պլաստիկության կախվածությունը 200°C-ում թրծման տևողությունից (■ -σ, ▲ -δ; — 20 մկմ, -- 45 մկմ, ···-130 մկմ, -.-237 մկմ)

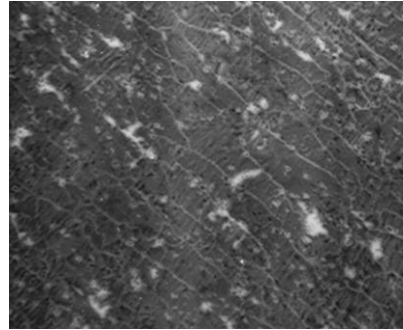
Ինչպես երևում է ստացված արդյունքներից, վերաբյուրեղացման ջերմային մշակման ընթացքում փոփոխվում են ամրության և պլաստիկության ցուցանիշները, ըստ որում՝ օրինաչափորեն նվազում է ամրությունը և աճում՝ պլաստիկությունը: Մակայն այս ցուցանիշների փոփոխության աստիճանը տարբեր հաստության փայլաթիթեղների համար տարբեր է: 20...45 մկմ հաստությամբ ալյումինային փայլաթիթեղների համար վերաբյուրեղացումն ընթանում է ավելի ցածր ջերմաստիճաններում՝ ~ 145...225°C-ում, իսկ 130 և 237 մկմ հաստությամբ փայլաթիթեղի համար այս ջերմաստիճանների միջակայքը սկսվում է համապատասխանաբար՝ ~ 170°C-ից՝ 237 մկմ-ի համար ու 160°C-ից՝ 130 մկմ-ի համար և չի ավարտվում նշված ռեժիմների դեպքում, այսինքն՝ անհրաժեշտ է պահման ավելի երկար տևողություն: Ինչպես երևում է գրաֆիկներից, ավելի մեծ հարաբերական երկարացում ունեն հաստ նմուշները և ընդհակառակն: Մինչդեռ վերաբյուրեղացումից հետո ձգման ամրության սահմանը գտնվում է 100°20 Ն/մմ² միջակայքում:

Տարբեր աստիճաններով դեֆորմացված և տարբեր ռեժիմներով թրծված 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղները ենթարկվել են մետաղագրական հետազոտության, որի համար անհրաժեշտ հղկուկները պատրաստվել են էլեկտրակոկմամբ՝ տարբեր էլեկտրոլիտներում և տարբեր ռեժիմներով: Մինչև 45 մկմ հաստությամբ ալյումինային փայլաթիթեղի համար օգտագործվել է հետևյալ բաղադրությամբ էլեկտրոլիտը. $100 \text{ սմ}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 400 \text{ սմ}^3 + 50 \text{ գր. CrO}_3 + 25 \text{ սմ}^3 \text{ H}_2\text{O}$ (0,6 Մ/դմ²), իսկ 130 մկմ և ավելի հաստերի համար՝ $400 \text{ սմ}^3 \text{ H}_3\text{PO}_4 + 380 \text{ սմ}^3$ էթիլային սպիրտ + $250 \text{ սմ}^3 \text{ H}_2\text{O}$ (5°1 p, 35 Մ/դմ², 50...60 °C, 42...45°C) [2]:

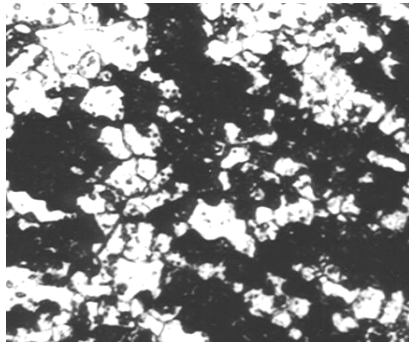
Նկ. 4-ում ցույց են տրված չդեֆորմացված, տարբեր աստիճաններով դեֆորմացված և տարբեր աստիճաններով վերաբյուրեղացված 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղների միկրոկառուցվածքները:



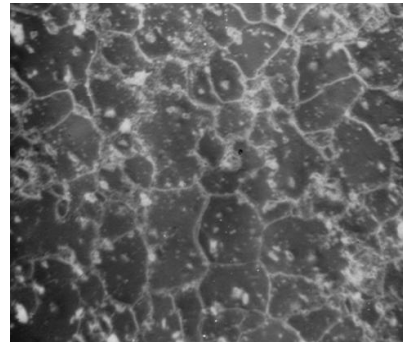
ա)



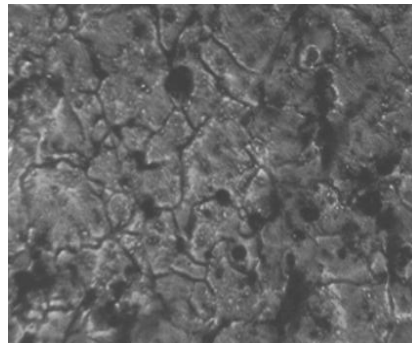
բ)



գ)



դ)



ե)

Նկ. 4. 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղների միկրոկառուցվածքները: ա- դեֆորմացված 45 *սկս*, ճ100; բ- դեֆորմացված 237 *սկս*, ճ100; գ- վերաբյուրեղացված 200°C, 30 *ր* պահմամբ 45 *սկս*, ճ250; դ- վերաբյուրեղացված 200°C, 4 *ժ* պահմամբ 45 *սկս*, ճ400; ե- հոմոգենացված 500°C, 20 *ժ* պահմամբ 570 *սկս*, ճ100

Կատարվել է միկրոկառուցվածքի քանակական հետազոտում Ա. Ա. Սալտիկովի «պատահական և ուղղորդված հատողների» և Ա. Գլազովի «դաշտերի» տեսության եղանակներով [3]: 570 մկմ հաստությամբ գլոցված և 500°C- 20 ժ պահամբ թրծված փայլաթիթեղի հավասարառանցք կառուցվածքի դեպքում հատիկի միջին չափը 40 մկմ է, իսկ առաջնային վերաբյուրեղացումից հետո հատիկի միջին տրամագիծը՝ 10 մկմ:

Որոշվել է նաև ուղղվածության α գործակիցը տարբեր դեֆորմացման աստիճաններից հետո [3]: Դեֆորմացված 45 մկմ հաստությամբ 8011 ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղի համար

$$\alpha = \frac{m_{\perp} - m_{\parallel}}{m_{\perp} + m_{\parallel}} = 0,84, \quad (1)$$

իսկ դեֆորմացված 237 մկմ հաստությամբ փայլաթիթեղի համար

$$\alpha = \frac{m_{\perp} - m_{\parallel}}{m_{\perp} + m_{\parallel}} = 0,54, \quad (2)$$

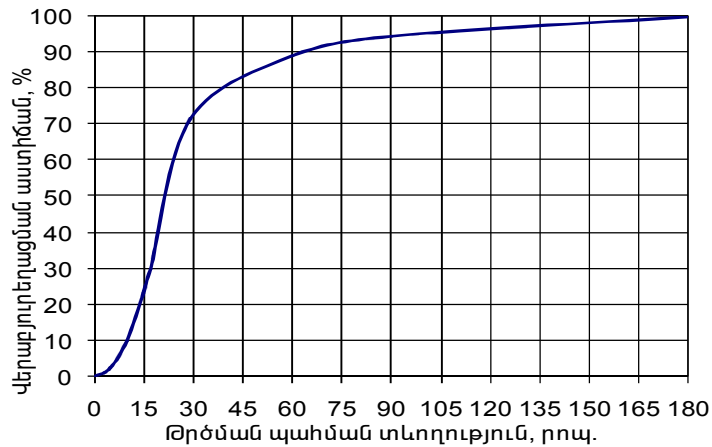
որտեղ $m_{\perp}$ -ը գլոցման ուղղությանը զուգահեռ հատույթների դեպքում հատումների քանակն է միավոր (1 մմ) երկարության վրա, $m_{\parallel}$ -ը՝ գլոցման ուղղությանը ուղղահայաց հատույթների դեպքում հատումների քանակը՝ միավոր (1 մմ) երկարության վրա:

Կատարվել է նաև 45 մկմ հաստությամբ տարբեր ռեժիմներով ջերմամշակված 8011 ալյումինային փայլաթիթեղի ռենտգենակառուցվածքային անալիզ Cu-ի α ճառագայթների օգնությամբ [4, 6]: Քանի որ 30...80 մկմ հաստությամբ փայլաթիթեղներից պատրաստում են փականներ, կոնտեյներներ, ֆինստոկներ և այլն, ապա սրանցից պահանջվում է համեմատաբար բարձր ամրություն և պլաստիկություն: Դիֆրակտագրերի ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ դեֆորմացված փայլաթիթեղը տեքստուրացված է, ըստ որում՝ գլոցման հարթությունը համընկնում է (220) բյուրեղագրական հարթության հետ [5, 6]: Գործող տեսության համաձայն առաջնային վերաբյուրեղացումից հետո կարող է դիտվել երեք դեպք՝

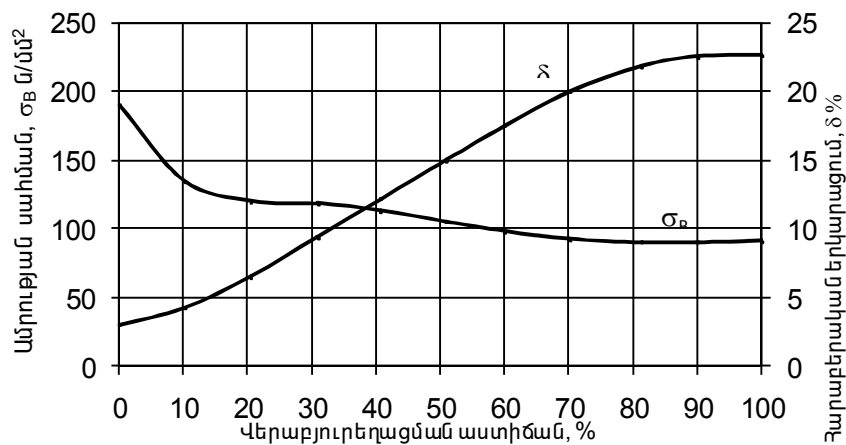
- ա) վերաբյուրեղացված կառուցվածքը չտեքստուրացված է;
- բ) վերաբյուրեղացման տեքստուրան համընկնում է դեֆորմացման տեքստուրայի հետ;
- գ) վերաբյուրեղացման տեքստուրան չի համընկնում դեֆորմացման տեքստուրայի հետ, այսինքն ուրույն է:

Գիտական հետազոտությունները ցույց են տվել, որ իրականացել է գ) դեպքը, այսինքն՝ առաջացել է վերաբյուրեղացման տեքստուրա և փայլաթիթեղի հարթությունը համընկնում է (200) բյուրեղագրական հարթության հետ: Այս հանգամանքը թույլ է տալիս կատարել վերաբյուրեղացման աստիճանի քանակական ռենտգենակառուցվածքային անալիզ, որի իրականացման շնորհիվ կառուցվել է ալյումինային փայլաթիթեղի վերաբյուրեղացման գործընթացի կինետիկ կորը: Նկ.5-ում բերված է 45 մկմ հաստությամբ 8011 ալյումինային համաձուլվածքի փայլաթիթեղի վերաբյուրեղացման գործընթացի կինետիկ կորը:

Նկ. 6-ում ցույց է տրված 45 մկմ հաստությամբ փայլաթիթեղի ամրության և պլաստիկության կախվածությունը վերաբյուրեղացման աստիճանից:



Նկ. 5. 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղների վերաբյուրեղացման աստիճանի և 200°-ում թրծման տևողության կախվածության կինետիկ կորը



Նկ. 6. 8011 ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված 45 մկմ հաստությամբ փայլաթիթեղի ամրության և պլաստիկության կախվածությունը վերաբյուրեղացման աստիճանից

Ինչպես ցույց են տալիս համալիր հետազոտությունները, կարելի է 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված փայլաթիթեղների համար ընտրել այնպիսի ջերմամշակման ռեժիմներ, որոնց միջոցով կորոշվեն վերաբյուրեղացման աստիճանը և նրանց համապատասխանող մեխանիկական հատկությունները: Այսպես, օրինակ, որպեսզի 8011 մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքից պատրաստված 45 մկմ հաստությամբ փայլաթիթեղը ունենա $\sigma_B=120$ Ն/մմ² ամրության սահման և $\delta=8,6\%$ հարաբերական երկարացում, վերաբյուրեղացման աստիճանը պետք է լինի 23%, իսկ 200°C ջերմաստիճանում թրծման պահման տևողությունը՝ 15 ր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Вайсман З., Имура Т., Хосокова Н.** Возврат и рекристаллизация металлов. -М.: Металлургия, 1966.-382 с.
2. **Смитлз К. Д.** Металлы. Справочник.- М.: Металлургия, 1980.-446 с.
3. **Салтыков С. А.** Стереометрическая металлография. - М.: Металлургия, 1976.-271 с.
4. **Уманский М. М.** Аппаратура рентгеноструктурных исследований. - М.: Гос. изд-во физ.- мат. лит-ры, 1960.-348 с.
5. **Миркин Л. И.** Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. - М.: Гос. изд-во физ.- мат. лит-ры, 1961.-863 с.
6. **Гиллер Я. Л.** Таблицы межплоскостных расстояний. Том. 2.- М.: Недра, 1966.- 360 с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.04.2004:

А. А. АЛАЯН, А. С. ГАСПАРЯН

ПРОЦЕСС РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФОЛЬГИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Изучены вопросы структурообразования и изменения свойств деформированной фольги из алюминиевого сплава 8011 в процессе рекристаллизации при различных режимах. Показана актуальность и необходимость этих исследований для составления научно обоснованной технологии. Применены количественные металлографические и рентгеноструктурные анализы, а также определены свойства фольги в зависимости от степени рекристаллизации.

A.A. ALAYAN, A. S. GASPARYAN

INVESTIGATION ON FOIL RECRYSTALLIZATION PROCESS FROM ALUMINIUM ALLOYS

The problems of structure formation and foil deformation change from aluminium alloy 8011 during recrystallization at different conditions are studied. The urgency and necessity of these investigations to compile scientifically grounded technology are shown. Quantitative metallographic and X-ray analyses as well as properties of a foil depending on an extent of recrystallization are used.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Է.Ա. ԵՂՈՅԱՆ

**ՉՈՐ ՏԻՊԻ ԱՇՏԱՐԱԿԱՀՈՎԱԳՈՒՑԻՑԻՉՆԵՐՈՎ ԿԱՀԱՎՈՐՎԱԾ ԱՏՈՄԱՅԻՆ
ԷՆԵՐԳԱԲԼՈՎԿԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ուսումնասիրվում է չոր աշտարակահովացուցիչներով կահավորված ատոմային էներգաբլոկների ցածրպոտենցիալային մասի տարբեր պարամետրերի ազդեցությունը հովացման համակարգի և շոգետուրբինային տեղակայանքի աշխատանքային ցուցանիշների վրա:

Առանցքային բառեր. չոր աշտարակահովացուցիչ, կոնդենսատոր, շոգետուրբին, հովացնող պոմ, մաթեմատիկական մոդել:

Սակավաջուր շրջաններում կառուցվող ջերմային (ինչպես նաև որոշ միջուկային) էլեկտրակայաններում հաճախ կիրառվում են չոր հովացման համակարգեր, որոնց ակնհայտ առավելություններից են ոչ միայն հովացնող ջրի անվերադարձ կորուստների բացակայությունը և էլեկտրակայանի կառուցման վայրի ընտրության անկախությունը ջրամատակարարման աղբյուրից, այլ նաև բնապահպանական տեսանկյունից համեմատաբար անբասիր լինելու պարագան:

Մասնավորապես, ատոմային էլեկտրակայաններում «թաց» աշտարակահովացուցիչների կիրառման դեպքում քամու որոշակի ուղղության պայմաններում հնարավոր է օդաքարշ աշտարակից հեռացող գոլորշու և կայանի հատուկ օդափոխման համակարգի խողովակից դուրս եկող ռադիոակտիվ գազերի խառնում, ինչի արդյունքում ռադիոակտիվ գազերը մթնոլորտում ցրվելու փոխարեն ջրի կաթիլների հետ կարող են նստել հողածածկույթին: Չոր համակարգերը զերծ են վերոհիշյալ բացասական երևույթից:

Ներկայումս աշխարհում «չոր» աշտարակահովացուցիչներով կահավորված էներգաբլոկների գումարային հզորությունը կազմում է ավելի քան 22000 ՄՎտ, որոնցից մոտ 16000 ՄՎտ-ը՝ Հելլերի համակարգերով:

Նկատի ունենալով էներգետիկայի զարգացման ներկա փուլում ջրա-ջրային ռեակտորներով կահավորվող նոր ԱԷԿ-ներում չոր աշտարակահովացուցիչների կիրառման միտումը, շատ արդիական է նման հովացման համակարգերով և խառնման տիպի կոնդենսատորով կահավորված հագեցած շոգիով աշխատող շոգետուրբինի ցածր-պոտենցիալային մասի աշխատանքային ռեժիմների հետազոտությունը: Այս նպատակով մշակվել են մաթեմատիկական մոդել և հաշվարկային ալգորիթ, որոնք տեղայնացվել են կոնկրետ տեսակի տեղակայանքի համար: Որպես հետազոտման օբյեկտ ընտրվել է K-220-44 տիպի շոգետուրբինը, որի աշխատանքի ուսումնասիրությունը հետաքրքրություն է ներկայացնում համարժեք հզորության տեղակայանքների նախագծման ժամանակ որոշակի նախնական տվյալներ և հաշվարկի մեթոդիկա ունենալու տեսանկյունից: Հետազոտություններում կիրառվել է հաշվարկի հետևյալ մեթոդիկան:

Խառնման տիպի կոնդենսատորում հագեցման ջերմաստիճանը որոշվում է

$$t_q'' = t_{on} + \theta + \delta t_q, ^\circ C \quad (1)$$

արտահայտությունից, որտեղ t_{on} -ը արտաքին օդի ջերմաստիճանն է, $^{\circ}\text{C}$, θ -ն՝ ջերմաստիճանային էջքը ռադիատորային հովացման աշտարակում, $^{\circ}\text{C}$, δt_k -ն՝ ջերմաստիճանային էջքը կոնդենսատորում, $^{\circ}\text{C}$:

Ջերմաստիճանային էջքը ռադիատորային հովացման աշտարակում (ՌՀԱ) վերջինիս աշխատանքի արդյունավետության գնահատման հիմնական չափանիշներից մեկն է, որի մեծությունը պայմանավորված է ինչպես հովացման պրոցեսի ինտենսիվությամբ, այնպես էլ տեղակայանքի ջերմային բեռնվածությամբ և որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\theta = Q_u / q_1, \text{ } ^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

որտեղ Q_u -ն մեկ հովացնող սյան ջերմային բեռնվածությունն է, Vտ , q_1 -ը՝ միավոր ջերմաստիճանային էջքի դեպքում մեկ հովացնող սյան ջերմահեռացումը, $\text{Vտ}/^{\circ}\text{C}$:

ՌՀԱ-ի աշխատանքը բնութագրող q_1 մեծությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է ունենալ հովացնող սյուներում ջերմափոխանակության և հովացման աշտարակի աերոդինամիկական բնութագրերը: Այս մեծության որոշման համար օգտագործվում է

$$q_1 = W_1 \Phi \quad (3)$$

արտահայտությունը, որտեղ Φ -ն Բոշնյակովիչի գործակիցն է, W_1 -ը՝ օդի կողմից ջրային համարժեքը, Vտ :

Բոշնյակովիչի գործակիցի որոշման համար պետք է գնահատվեն ջերմատվության գործակիցները հովացվող ջրի և արտաքին օդի կողմից: Վերջիններս կախված են հովացնող սյան տեսակից և ՌՀԱ-ի աշխատանքային ռեժիմից: Հետազոտության համար ընտրվել են L-60 տիպի հովացնող սյուները, որոնց համար, ըստ [1]-ի, ջերմատվության գործակիցները կարող են որոշվել հետևյալ արտահայտություններից:

Ջերմատվության գործակիցը օդի կողմից՝

$$\alpha_1 = 1778 \left(G_{\text{on h}} \right)^{0.676}, \text{ } \text{Vտ}/\text{մ}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}, \quad (4)$$

որտեղ $G_{\text{on h}}$ -ը սյան ճակատային միավոր մակերեսին ընկնող օդի հաշվարկային ծախսն է, $\text{կգ}/\text{վ}$:

$$G_{\text{on h}} = G_{\text{on p}} C_p^{1.14} / 33.45, \text{ } \text{կգ}/\text{վ}, \quad (5)$$

որտեղ $G_{\text{on p}}$ -ը մեկ հովացնող սյան վրա ընկնող օդի ծախսն է, $\text{կգ}/\text{վ}$, C_p -ը՝ բերման գործակից, որը հաշվի է առնում օդի խտության իրական արժեքը:

Ջերմատվության գործակիցը ջրի կողմից՝

$$\alpha_2 = (1203.2 + 21.38 t_{\text{d}}) G_0^{0.8}, \text{ } \text{Vտ}/\text{մ}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}, \quad (6)$$

որտեղ G_0 -ն՝ հովացվող ջրի ծախսն է մեկ սյունով, $\text{կգ}/\text{վ}$, t_{d} -ը՝ ջրի միջին ջերմաստիճանը, $^{\circ}\text{C}$:

Հովացնող սյուներում օդի ծախսը ստանալու համար պետք է համատեղ լուծվեն օդաքարշ աշտարակի քարշը և սյուների ու աշտարակի աերոդինամիկ կորուստները բնութագրող հավասարումները: Ըստ [1]-ի, L-60 տիպի հովացնող սյուների համար աերոդինամիկ կորուստները կարելի է որոշել հետևյալ արտահայտություններից

$$dP_1 = 0.2534 \left(G_{\text{on p}} \right)^{1.555} - 0.005478 \left(G_{\text{on p}} \right)^2, \text{ } \text{Պա}, \quad (7)$$

$$G_{\text{on p}} = G_{\text{on p}}^{0.5} / 33.45, \text{ } \text{կգ} / \text{վ} \cdot \text{մ}^2: \quad (8)$$

Օդի ելքի արագության հետ կապված կորուստները որոշվում են

$$dP_2 = (\gamma_1 - \Delta\gamma)w^2 / 2g, \text{ Պա}, \quad (9)$$

արտահայտությամբ, որտեղ w -ն օդի էլքի արագությունն է, u/v :

Հովացնող սյունում օդի ծախսը որոշելու համար իրականացվում է իտերացիոն (աստիճանական մոտարկման) ցիկլ: Ցիկլի առաջին քայլում ծախսին տրվում է որոշակի սկզբնական արժեք, իսկ յուրաքանչյուր հաջորդ քայլում՝ կախված աշտարակի քարշի և աերոդինամիկական կորուստների մեծություններից, նրան վերագրվում է ճշգրտված արժեք:

$$G_{on}^n = G_{on}^{n-1} + k(H_p - dP_1 - dP_2), \quad (10)$$

որտեղ k -ն իտերացիոն ցիկլի գործակիցն է, H_p -ն՝ քարշի մեծությունը աշտարակում:

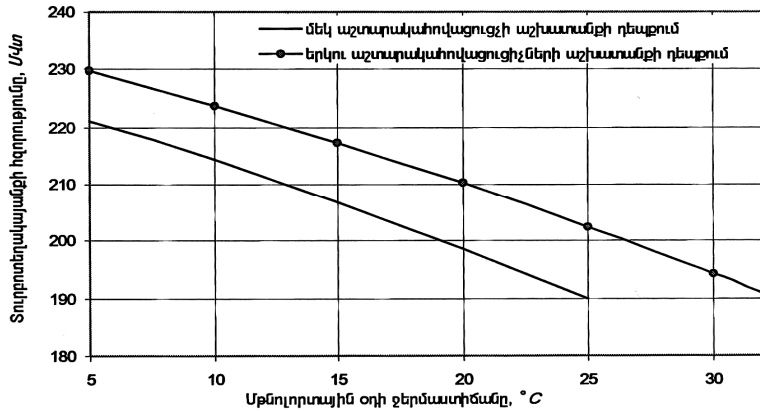
Իտերացիոն ցիկլն ավարտվում է երբ բավարարվում է $|G_{on}^n - G_{on}^{n-1}| \leq \varepsilon$ առնչությունը:

Նկարագրված հաշվարկի մեթոդի կիրառմամբ գնահատվել է ցածրպոտենցիալային մասի որոշ պարամետրերի ազդեցությունը էներգաբոլի (մասնավորապես K-220-44 տուրբինի) աշխատանքային ցուցանիշների վրա: Այդ մեծություններից են չոր տիպի աշտարակահովացուցչի հովացնող սյունների քանակը և հովացվող ջրի ծախսը նրանցում, շոգետուրբինների կոնդենսատորներում հովացման բազմապատիկի մեծությունը և այլն:

Կատարված հետազոտություններից պարզվել է, որ հովացման բազմապատիկի մեծության ազդեցությունը ռադիատորային հովացնող աշտարակում ջերմաստիճանային էջքի մեծության վրա կախված չէ հովացնող սյունների քանակից: Վերջինիս տարբեր արժեքների դեպքում հովացման բազմապատիկի մեծացումը 48-ից մինչև 65 կգ/կգ-ի հանգեցնում է ջերմաստիճանային էջքի նվազման՝ 1,7°C-ի չափով: Հետազոտվող K-220-44 տուրբինի դեպքում, դիտարկված տիրույթում հովացման բազմապատիկի փոփոխության արդյունքում տեղի ունի տուրբոտեղակայանքի հզորության փոփոխություն 2,25...2,4 ՄՎտ-ի չափով [2]:

Չոր տիպի հովացման համակարգի դեպքում արտաքին օդի ջերմաստիճանի մեծությունն ավելի կտրուկ է ազդում կոնդենսատորում նոսրացման մեծության վրա, որի փոփոխության արագությունն օդի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթում հասնում է 0,64 կՊա/°C-ի, իսկ գոլորշացման տիպի աշտարակահովացուցիչների դեպքում այն կազմում է մոտ 0,23 կՊա/°C: Թաց և չոր տիպի հովացման համակարգերի դեպքում շոգետուրբինային տեղակայանքի հզորության թերարտադրության չափը, կապված մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանի աճի հետ, զգալիորեն տարբեր է: Ըստ հաշվարկի արդյունքների, դրանք համապատասխանաբար կազմում են 0,55...0,65 ՄՎտ/°C [3] և 1,25...1,65 ՄՎտ/°C:

Մշակված մաթեմատիկական մոդելի միջոցով գնահատվել է աշտարակահովացուցիչների աշխատանքի արդյունավետությունը վերջիններիս զուգահեռ աշխատանքի դեպքում: Մասնավորապես, գնահատվել է հնարավոր լրացուցիչ ջրահովացուցչի զուգահեռ աշխատանքի միացման արդյունքում ստացվող շահավետությունը: Հետազոտությունների արդյունքները վկայում են, որ երկրորդ ՌՀԱ-ի միացման հետևանքով կոնդենսատորներ տրվող հովացնող ջրի ջերմաստիճանի նվազումը կկազմի 7,15...8,35°C-ով, ինչը գոլորշացման տիպի աշտարակահովացուցիչների դեպքում կազմում է մոտ 4,2...5,6°C [3]: Նկարում բերված է K-220-44 տուրբոտեղակայանքի զարգացրած հզորության կախվածությունը մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանից մեկ և երկու ռադիատորային հովացման աշտարակների աշխատանքի դեպքում (թարմ շոգու անվանական ծախսի պայմաններում):



Նկ. Տուրբոտեղակայանքի զարգացրած հզորության կախվածությունը մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանից մեկ և երկու զուգահեռ աշխատող աշտարակների դեպքում

Եզրակացություններ.

- Շոգետուրբինային տեղակայանքի հզորության թերադրության չափը, կապված մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանի աճի հետ, չոր տիպի հովացման համակարգերի դեպքում մոտ 2,2...2,5 անգամ ավելի մեծ է, քան գոլորշացման տիպի ջրահովացուցիչների դեպքում: Մասնավորապես, K-220-44 շոգետուրբինի դեպքում այն հասնում է 1,65 $U^{\circ}C$ -ի:
- Ռադիատորային հովացման աշտարակների դեպքում լրացուցիչ միացվող ջրահովացուցիչն ապահովում է հովացման համակարգի արդյունավետության զգալիորեն ավելի մեծ (1,8...2,2 անգամ) աճ՝ համեմատած թաց տիպի աշտարակահովացուցիչների հետ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Марухян В. З.** Исследование конденсационно-охладительных установок и разработка методов оптимизации и интенсификации режимов их работы: Дис. ... канд. техн. наук. - Ереван - 1982. - 205 с.
2. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата K-220-44 ХТГЗ. - М.: Союзтехэнерго, 1981. - 43 с.
3. **Եղոյան Է.Ա.** Տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգերի աշխատանքային ռեժիմների հետազոտում և լավարկում (Հայկական ԱԷԿ-ի օրինակի վրա) // ՀԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սեր. - 2003. - Հ. 56, № 3.- էջ 445-450:

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.07.2004:

В.З. МАРУХЯН, Э. А. ЕГОЯН ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АТОМНЫХ ЭНЕРГООБЛОКОВ, УКОМПЛЕКТОВАННЫХ СУХИМИ ГРАДИРНЯМИ

Исследуется влияние различных параметров низкопотенциальной части атомных энергоблоков, укомплектованных сухими градирнями, на показатели работы системы охлаждения и паротурбинной установки.

V. Z. MARUKHYAN, E. A. YEGHOYAN STUDY OF NUCLEAR POWER UNIT OPERATION COMPLETED WITH DRY COOLING TOWERS

The low-potential part of various parameter influence on operation factors of cooling system and steam turbine of nuclear power units completed with dry cooling towers is studied.

Л.А. ГРИГОРЯН, Г.Г. ДЕМИРЧЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ МАЛЫХ ГЭС (МГЭС) С УЧЕТОМ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕК

Выбрана оптимальная мощность МГЭС с учетом рационального использования водного потока реки. Вводится плавающий тариф на использованный водный сток. Предлагается методика, позволяющая на основании годового графика свободного расхода воды реки определить оптимальную мощность МГЭС с учетом стоимости 1 кВт установленной мощности, эксплуатационных издержек и стоимости 1 кВт.ч электроэнергии, выработанной тепловой электростанцией.

Ключевые слова: МГЭС, плавающий тариф воды, хронологический график.

Выбор мощности ГЭС осуществляется с учетом рационального использования годового водного стока реки. Для удобства анализа и расчетов обычный хронологический график среднемесячного свободного расхода воды преобразуется в нарастающий график при условии сохранения месячного стока (рис. 1 и 2), который можно представить функцией (рис.3)

$$q_1 = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t^3, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1)$$

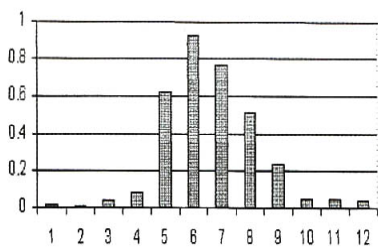


Рис. 1

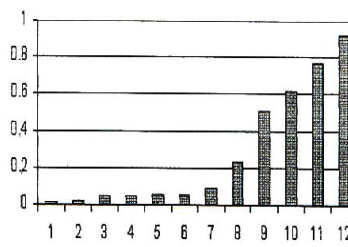


Рис. 2

Задаваясь расчетным расходом воды, тем самым определяется и мощность МГЭС:

$$P_{\text{СТ}} = \eta g H_p q_p, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где η - КПД агрегата; g - 9,81; H_p - расчетный напор; q_p - расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

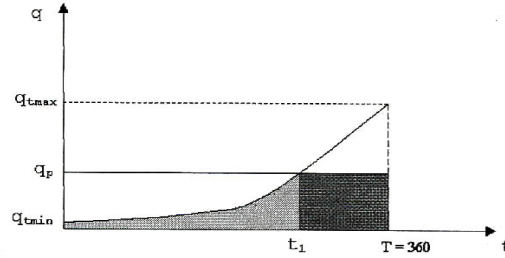


Рис.3

Точка пересечения функции (1) с прямой $q_p = \text{const}-t_1$ делит весь период времени годового функционирования МГЭС на два этапа:

1. $0 - t_1$ - МГЭС работает в режиме водотока реки.
2. $t_1 - T$ - МГЭС работает с номинальной мощностью.

Соответственно годовой сток МГЭС определяется выражением

$$Q_{rc} = 8,64 \cdot 10^4 \left[\int_0^{t_1} q_t dt + q_p (T - t_1) \right] M^3, \quad (3)$$

годовой сток реки:

$$Q_{rp} = 8,64 \cdot 10^4 \int_0^T q_t dt M^3, \quad (4)$$

годовая выработка электрической энергии МГЭС, кВт. ч.

$$W_r = 2,78 \cdot 10^{-4} \eta g H_p Q_r, \text{ кВт. ч.} \quad (5)$$

где H_p измеряется в м и Q_r – в M^3 .

Принимая ориентировочно $\eta g = 7,5$, получим

$$W_r = 20,83 \cdot 10^{-4} \cdot H_p Q_{rc}. \quad (6)$$

Для оценки эффективности работы МГЭС введем следующие коэффициенты:

- коэффициент использования установленной мощности МГЭС:

$$K_u = \frac{W_r}{8,64 \cdot 10^3 \cdot P_{CT}} = \frac{Q_{rc}}{31,1 \cdot 10^6 \cdot q_p}; \quad (7)$$

- коэффициент использования водного стока реки:

$$K_{Qu} = Q_{rc} / Q_{rp}; \quad (8)$$

- коэффициент потерь водного стока реки:

$$K_{Qn} = Q_m / Q_{rp}, \text{ где } Q_m = Q_{rp} - Q_{rc}, \quad (9)$$

соответственно

$$K_{Qn} = 1 - K_{Qu}. \quad (10)$$

На рис.4 показаны зависимости указанных коэффициентов от q_p , а следовательно, и от установленной мощности МГЭС – P_{CT} . Как видно из рис. 3 и 4, при

$q_p \leq q_{t \min}$ МГЭС работает в течение всего года полной мощностью с высокой эффективностью и $K_u=1$. С другой стороны, эффективность использования водного ресурса (K_{qu}) будет минимальной, а потери водного стока (K_{qp}) максимальными.

С увеличением $q_p \leq q_{t \min}$ снижается эффективность использования МГЭС, вместе с этим наблюдается тенденция снижения его экономических показателей, например, снижается относительная прибыль и повышается себестоимость 1 кВт.ч выработанной электроэнергии. Для решения данной задачи предлагается включить в выражение для определения себестоимости 1 кВт.ч электроэнергии также стоимость израсходованной воды, т.е.

$$Y_1 = I_r + C_Q / W_r, \quad (11)$$

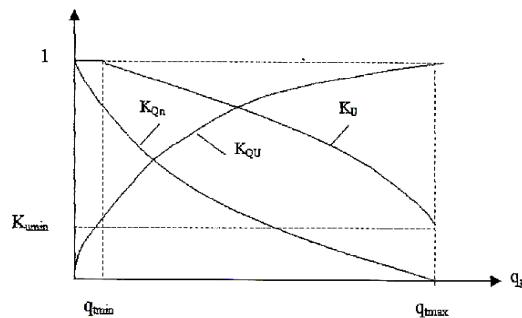


Рис. 4

где I_r - годовые издержки, включающие в себя все расходы по эксплуатации МГЭС; C_Q - стоимость израсходованной воды МГЭС в течение года.

Принимаем

$$I_r = \alpha K, \quad (12)$$

где K - стоимость МГЭС:

$$K = \gamma P_{CT}; \quad (13)$$

γ - стоимость 1 кВт установленной мощности:

$$C_Q = \beta N_p Q_r. \quad (14)$$

С целью рационального использования водных ресурсов реки предлагается ввести плавающий тариф воды - β в зависимости от коэффициента использования установленной мощности K_u :

$$\beta = A K_u. \quad (15)$$

Решая совместно (6), (7), (12)-(16), получим

$$Y_1 \frac{\alpha \gamma}{8,64 \cdot 10^3 \cdot K_u} + \frac{A \cdot K_u}{20,84 \cdot 10^{-4}}. \quad (16)$$

В результате получим функциональную зависимость (рис.5)

$$Y_1 = f(K_u). \quad (17)$$

Для построения функции (17) примем следующие значения постоянных в выражении (16):

$$\alpha = 0,03 \quad \gamma = 1000 \text{ дол.США/кВт.}$$

Коэффициент А выбирается, исходя из следующих соображений:

Как видно из рис. 3, при $q_p \leq q_{t\min}$ коэффициент $K_u=1$, т. е. станция в течение всего года работает полной мощностью, отдавая электроэнергию в сеть. В этом случае режим работы МГЭС аналогичен режиму работы ТЭЦ, не зависящей от водного режима реки.

Исходя из вышеизложенного, тариф выработанной электроэнергии МГЭС в этих условиях можно приравнять тарифу электроэнергии, выработанной ТЭЦ, что по нашей республике примерно равно $Y_5=0,04$ дол.США. Таким образом, принимая $Y_1 = Y_5 = 0,04$, а также учитывая указанное выше значение постоянных, и $K_u=1$, из уравнения (17) получим значение $A = 0,76 \cdot 10^{-4}$.

Подставляя эти значения в (17), получим

$$Y_1 = \frac{0,00347}{K_u} + 0,036K_u. \quad (18)$$

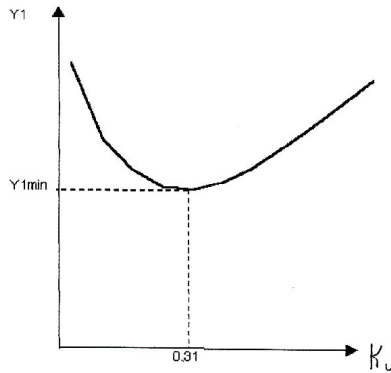


Рис. 5

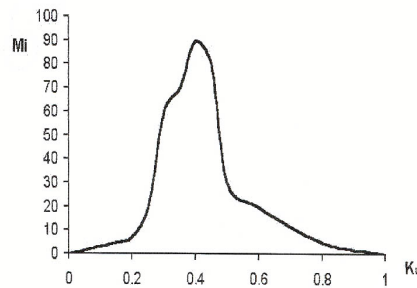


Рис. 6

На рис. 4 показан график указанной функции, экстремальными точками которой (из условия $\partial Y_1 / \partial K_u = 0$) являются $K_u=0,3$ и $Y_{t\min}=0,022$.

Принимая допустимое отклонение Y_1 от экстремума 10%, получим допустимые пределы изменения в сторону увеличения $K_u=0,31 \dots 0,58$, что достаточно хорошо совпадает с аналогичными данными в мировой практике [1] и данными нашей республики (рис. 6).

При проектировании МГЭС [2], имея конкретные данные и пользуясь выражением (17), можно получить более точные значения для K_u и соответственно с этим определить установленную мощность станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карелин В. Я., Волшаник В. В.** Сооружения и оборудования малых гидроэлектростанций.- М.:Энергоатомиздат, 1986.- 198с.
2. **Батищев Д. И.** Методы оптимального проектирования.- М.: Радио и связь, 1984. -235с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20. 07.2000.

Լ. Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Հ. Գ. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ

ՓՀԷԿ-ի ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՀՄԱՆՈՒՄԸ՝ ԳԵՏԻ ՌԵՍՈՒՐՍԻ ՌԱՅԻՈՆԱԼ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ

ՓՀԷԿ-ի օպտիմալ հզորության ընտրությունն իրականացվում է՝ հաշվի առնելով գետի ջրային հոսանքի ռաջիոնալ օգտագործումը, ներմուծվում է օգտագործված ջրի հոսքի վրա լողացող սակագինը, առաջարկվում է մեթոդիկա, որով կարելի է գետի ջրի ազատ սպառման տարեկան գրաֆիկի հիման վրա սահմանել ՓՀԷԿ-ի օպտիմալ հզորությունը՝ հաշվի առնելով հաստատված հզորության մեկ կՎտ-ի արժեքը, շահագործման ծախսերը և մեկ կՎտժամ էլեկտրաէներգիայի արժեքը:

L. A. GRIGORYAN, H. G. DEMIRCHYAN

DETERMINATION OF OPTIMUM POWER OF SHES BY TAKING INTO ACCOUNT THE RATIONAL USE OF THE WATER RESOURCES OF THE RIVER

Taking into account the rational use of the river stream water optimum power of SHES is chosen. A floating tariff on water-flow used is introduced. A method permitting to determine the optimum power of SHES based on annual graphics of free river water consumption and the price of 1 kWt designed power, maintenance expenses, the cost of electricity per hour kWt produced by the thermal power plant is proposed.

К.В. ХАЧАТРЯН

НОВАЯ ДИАКОПТИЧЕСКАЯ ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКЦИИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается новый метод коррекции установившегося режима сложной электроэнергетической системы при P-Q и P-U типах станционных узлов, основанный на идее диакоптики, т.е. на ее представлении в виде совокупности радиально связанных подсистем.

Ключевые слова: метод, матрица, модель, коррекция, мощность, станция, система, узел, уравнение, нагрузка.

В настоящее время единственным и перспективным направлением для решения режимных вопросов сложной электроэнергетической системы (СЭЭС) является направление диакоптики, т.е. представление ее в виде совокупности радиально связанных подсистем [1-3].

Настоящая статья посвящена решению задачи коррекции установившегося режима СЭЭС с применением идеи ее представления в виде совокупности радиально связанных подсистем.

Рассматривается СЭЭС, состоящая из $M+1$ узлов, которую после удаления определенного количества ветвей можно представить в виде совокупности радиально связанных N подсистем. Полученные подсистемы состоят соответственно из $M_1, M_2, \dots, M_N$ независимых узлов так, что $M_1 + M_2 + \dots + M_N = \dot{I}$.

Предполагалось, что один из станционных узлов был выбран в качестве базисного. В результате исходная Z диакоптическая математическая модель представляется в виде [1, 3]

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{i_1} \\ \dot{U}_{i_2} \\ \dots \\ \dot{U}_{i_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{\dot{A}i_1} \\ \dot{U}_{\dot{A}i_2} \\ \dots \\ \dot{U}_{\dot{B}i_N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{i_1j_1} & & & \\ & Z_{i_2j_2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & Z_{i_Nj_N} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{j_1} \\ \dot{I}_{j_2} \\ \dots \\ \dot{I}_{j_N} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В развернутой форме (1) имеет вид

(2)

Из (1) и (2) можно заметить, что была принята следующая система индексов:

(3)

- для первой подсистемы:

(4)

(5)

(6)

77

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{m_1} \\ \dot{I}_{k_1} \\ \dot{U}_{t_1} \\ \dots \\ \dot{I}_{m_N} \\ \dot{I}_{k_N} \\ \dot{U}_{t_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{m_1Б} \\ \dot{I}_{k_1Б} \\ \dot{U}_{t_1Б} \\ \dots \\ \dot{I}_{m_NБ} \\ \dot{I}_{k_NБ} \\ \dot{U}_{t_NБ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{m_1,n_1} & Y_{m_1,\ell_1} & \dot{A}_{m_1,\tau_1} & & & \\ Y_{k_1,n_1} & Y_{k_1,\ell_1} & \dot{A}_{k_1,\tau_1} & & & \\ B_{t_1,n_1} & B_{t_1,\ell_1} & Z_{t_1,\tau_1} & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & Y_{m_N,n_N} & Y_{m_N,\ell_N} & \dot{A}_{m_N,\tau_N} \\ & & & & Y_{k_N,n_N} & Y_{k_N,\ell_N} & \dot{A}_{m_N,\tau_N} \\ & & & & B_{t_N,n_N} & B_{t_1,\ell_N} & Z_{t_N,\tau_N} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_{n_1} \\ \dot{U}_{\ell_1} \\ \dot{I}_{\tau_1} \\ \dots \\ \dot{U}_{n_1} \\ \dot{U}_{\ell_1} \\ \dot{I}_{\tau_1} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Если из формы “ток-напряжение” (7) перейти к форме “активная-реактивная” мощности, то получим

$$\left[\begin{array}{l} \Phi_{pm_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1})=0, \\ \Phi_{qm_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1})=0, \\ \Phi_{pk_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1})=0, \\ \Phi_{qk_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1})=0, \\ \Phi_{p\ell_1}(I'_{\tau_1}, I''_{\tau_1})=0, \\ \Phi_{q\ell_1}(I'_{\tau_1}, I''_{\tau_1})=0, \\ \dots \\ \Phi_{pm_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N})=0, \\ \Phi_{qm_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N})=0, \\ \Phi_{pk_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N})=0, \\ \Phi_{qk_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N})=0, \\ \Phi_{p\ell_N}(I'_{\tau_N}, I''_{\tau_N})=0, \\ \Phi_{q\ell_N}(I'_{\tau_N}, I''_{\tau_N})=0. \end{array} \right] \cdot \quad (8)$$

Аналитические выражения функций, входящие в (8), подробно приводятся в [4]. Искомые переменными для станционных узлов типа P-Q являются модули и аргументы комплексных напряжений; для станционных узлов типа P-U – реактивные мощности и аргументы комплексных напряжений.

Для определения реактивных мощностей станционных узлов типа P-U с индексами $k(\ell) = \{k_1(\ell_1); k_2(\ell_2); \dots; k_N(\ell_N)\}$ достаточно иметь только аргументы комплексных напряжений. В силу этого форма (8) принимает вид

$$\left[\begin{array}{c|c|c} \begin{array}{l} \Phi_{pm_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1}) = 0, \\ \Phi_{qm_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1}) = 0, \\ \Phi_{pk_1}(U_{n_1}, \Psi_{un_1}; U_{\ell_1}, \Psi_{u\ell_1}) = 0, \end{array} & \begin{array}{l} \Phi_{pt_1}(I'_{\tau_1}, I''_{\tau_1}) = 0, \\ \Phi_{qt_1}(I'_{\tau_1}, I''_{\tau_1}) = 0, \end{array} & \dots \\ \hline & \dots & \begin{array}{l} \Phi_{pm_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N}) = 0, \\ \Phi_{qm_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N}) = 0, \\ \Phi_{pk_N}(U_{n_N}, \Psi_{un_N}; U_{\ell_N}, \Psi_{u\ell_N}) = 0, \end{array} \\ \hline & & \begin{array}{l} \Phi_{pk_N}(I'_{\tau_N}, I''_{\tau_N}) = 0, \\ \Phi_{qk_N}(I'_{\tau_N}, I''_{\tau_N}) = 0. \end{array} \end{array} \right] \cdot (9)$$

Как видно, системы нелинейных алгебраических уравнений отдельных подсистем, полученных для нагрузочных узлов, остаются без изменения.

Математические подмодели, полученные в диакоптической математической модели, реализуются методом Ньютона-Рафсона. Соответствующие рекуррентные выражения имеют вид

- для верхней левой подмодели первой подсистемы:

$$\begin{bmatrix} U_{n_1} \\ \vdots \\ \Psi_{Un_1} \\ \vdots \\ \Psi_{u\ell_1} \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} U_{n_1} \\ \vdots \\ \Psi_{Un_1} \\ \vdots \\ \Psi_{u\ell_1} \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_{pm_1} \\ \vdots \\ \Phi_{qm_1} \\ \vdots \\ \Phi_{pk_1} \end{bmatrix}; \quad (10)$$

- для нижней правой подмодели первой подсистемы:

$$\begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ \vdots \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ \vdots \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_{pt_1} \\ \vdots \\ \Phi_{qt_1} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Аналогичные выражения получаются для последующих подсистем:

- для верхней левой подмодели N-й подсистемы:

$$\begin{bmatrix} U_{n_N} \\ \vdots \\ \Psi_{Un_N} \\ \vdots \\ \Psi_{u\ell_N} \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} U_{n_N} \\ \vdots \\ \Psi_{Un_N} \\ \vdots \\ \Psi_{u\ell_N} \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_{pm_N} \\ \vdots \\ \Phi_{qm_N} \\ \vdots \\ \Phi_{pk_N} \end{bmatrix}; \quad (12)$$

- для нижней правой подмодели N-й подсистемы:

$$\begin{bmatrix} I'_{t_N} \\ \vdots \\ I''_{t_N} \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} I'_{t_N} \\ \vdots \\ I''_{t_N} \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_{pt_N} \\ \vdots \\ \Phi_{qt_N} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Частные производные, входящие в вышеприведенные рекуррентные выражения, определяются аналитическими выражениями (11)-(14) с учетом соответствующих индексов, приведенных в [4].

В качестве критериев сходимости решения системы нелинейных алгебраических уравнений выбираются вытекающие соответствующие математические подмодели так же, как в [3].

Пользуясь понятием векторов X, U, W, которые были приняты в [5, 6], можем написать

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}, \quad (14)$$

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}, \quad (15)$$

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_N\}. \quad (16)$$

При этом вышеприведенные векторы для первой подсистемы имеют вид

$$[X_1] = \left[\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} P_0 \\ Q_0 \end{array} \right\} \text{ для базисного (балансирующего) узла типа } U - \Psi_u, \\ \left. \begin{array}{l} U_{n1} \\ \Psi_{Un1} \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа } P - Q, \\ \left. \begin{array}{l} Q_{\ell_1} \\ \Psi_{U\ell_1} \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа } P - U; \end{array} \right] \quad (17)$$

$$[U_1] = \left[\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} U_0 \\ \Psi_{u0} \end{array} \right\} \text{ для базисного (балансирующего) узла типа U - } \Psi_u, \\ \left. \begin{array}{l} P_1 \\ Q_1 \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа P - Q,} \\ \left. \begin{array}{l} P_1 \\ U_1 \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа P - U;} \end{array} \right] \quad (18)$$

$$[W_1] = \left[\begin{array}{l} P_1 \\ Q_1 \end{array} \right\} \text{ для нагруз. узлов типа P - Q.} \quad (19)$$

Аналогичным образом устанавливаются структуры этих векторов для последующих подсистем.

Для N-й подсистемы имеем векторы X_N , U_N , W_N :

$$[X_N] = \left[\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} U_{n_N} \\ \Psi_{Un_N} \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа P - Q,} \\ \left. \begin{array}{l} Q_{\ell_N} \\ \Psi_{U\ell_N} \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа P - U;} \end{array} \right] \quad (20)$$

$$[U_N] = \left[\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} P_N \\ Q_N \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа P - Q,} \\ \left. \begin{array}{l} P_N \\ U_N \end{array} \right\} \text{ для независимых станционных узлов типа P - U;} \end{array} \right] \quad (21)$$

$$[W_N] = \left[\begin{array}{l} P_N \\ Q_N \end{array} \right\} \text{ для нагруз. узлов типа P - Q.} \quad (22)$$

В связи с применением векторов X, U и W вышеприведенная форма (9) представляется в виде

$$\left[\begin{array}{c|c|c|c|c} \Phi_{Y_1(Z_1)}(X_1, U_1, W_1)=0, & & & & \\ \hline & \Phi_{Z_1(Y_1)}(X_1, U_1, W_1)=0, & & & \\ & & \dots & & \\ & & & \Phi_{Y_N(Z_N)}(X_N, U_N, W_N)=0, & \\ & & & & \Phi_{Z_N(Y_N)}(X_N, U_N, W_N)=0. \end{array} \right] \quad (23)$$

В дальнейшем необходимые преобразования будут осуществляться только относительно математической подмодели первой подсистемы, а полученные результаты будут распространены относительно других подсистем.

В данном случае рассматриваемая математическая подмодель первой подсистемы будет

$$\Phi_{Y_1(Z_1)}(X_1, U_1, W_1) = 0, \quad (24)$$

$$\Phi_{Z_1(Y_1)}(X_1, U_1, W_1) = 0. \quad (25)$$

При соответствующих приращениях векторные уравнения (24) и (25) можно представить в виде

$$\Phi_{Y_1(Z_1)}(X_1^p + \Delta X_1, U_1^0 + \Delta U_1; W_1^0 + \Delta W_1) = 0, \quad (26)$$

$$\Phi_{Z_1(Y_1)}(X_1^p + \Delta X_1, U_1^0 + \Delta U_1; W_1^0 + \Delta W_1) = 0, \quad (27)$$

где X_1^p - вектор состояния в точке решения; U_1^0, W_1^0 - заданные значения векторов управления и возмущения.

Разлагая (26) и (27) в ряд Тейлора и пренебрегая частными производными второго порядка и выше, получим

$$\Delta X_{Y_1(Z_1)} = S_{Y_1(Z_1)}^{U_1} \Delta U_{Y_1(Z_1)} + S_{Y_1(Z_1)}^{W_1} \Delta W_{Y_1(Z_1)}, \quad (28)$$

$$\Delta X_{Z_1(Y_1)} = S_{Z_1(Y_1)}^{U_1} \Delta U_{Z_1(Y_1)} + S_{Z_1(Y_1)}^{W_1} \Delta W_{Z_1(Y_1)}, \quad (29)$$

где

$$S_{Y_1(Z_1)}^{U_1} = \left(\frac{\partial \Phi_{Y_1(Z_1)}}{\partial X_1} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Y_1(Z_1)}}{\partial U_1}, \quad (30)$$

$$S_{Y_1(Z_1)}^{W_1} = \left(\frac{\partial \Phi_{Y_1(Z_1)}}{\partial X_1} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Y_1(Z_1)}}{\partial W_1} \quad (31)$$

и

$$S_{Z_1(Y_1)}^{U_1} = \left(\frac{\partial \Phi_{Z_1(Y_1)}}{\partial X_1} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Z_1(Y_1)}}{\partial U_1}, \quad (32)$$

$$S_{Z_1(Y_1)}^{W_1} = \left(\frac{\partial \Phi_{Z_1(Y_1)}}{\partial X_1} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Z_1(Y_1)}}{\partial W_1}, \quad (33)$$

которые являются матрицами чувствительностей.

Векторы $\Delta X_{Y_1(Z_1)}$ и $\Delta X_{Z_1(Y_1)}$, выраженные через режимные параметры ЭЭС, можно представить в виде

$$\Delta X_{Y_1(Z_1)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta U_{n_1}}{\Delta \Psi_{un_1}} \\ \frac{\Delta \Psi_{un_1}}{\Delta \Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}, \quad \Delta X_{Z_1(Y_1)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta I'_{t_1}}{\Delta I''_{t_1}} \end{bmatrix}. \quad (34)$$

Скорректированные режимные параметры определяются в виде

$$\begin{bmatrix} \frac{U_{n_1}}{\Psi_{un_1}} \\ \frac{\Psi_{un_1}}{\Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}^H = \begin{bmatrix} \frac{U_{n_1}}{\Psi_{un_1}} \\ \frac{\Psi_{un_1}}{\Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}^{\hat{O}} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta U_{n_1}}{\Delta \Psi_{un_1}} \\ \frac{\Delta \Psi_{un_1}}{\Delta \Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^H = \begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^{\hat{O}} + \begin{bmatrix} \Delta I'_{t_1} \\ \Delta I''_{t_1} \end{bmatrix}, \quad (35)$$

где Н и Φ – соответственно новый и исходный или функционирующий установившиеся режимы.

В развернутой форме выражения (35) принимают следующий вид:

$$\begin{bmatrix} U_{n_1} \\ \Psi_{un_1} \\ \Psi_{u\ell_1} \end{bmatrix}^{\hat{I}} = \begin{bmatrix} U_{n_1} \\ \Psi_{un_1} \\ \Psi_{u\ell_1} \end{bmatrix}^{\hat{O}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial P_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial Q_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial P_{\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial P_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial Q_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial P_{\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial P_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial Q_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial P_{\ell_1}} \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \Delta P_{n_1} \\ \Delta Q_{n_1} \\ \Delta P_{\ell_1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial I'_{t_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial I''_{t_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial I'_{t_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial I''_{t_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial I'_{t_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial I''_{t_1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta I'_{t_1} \\ \Delta I''_{t_1} \end{bmatrix}, \quad (36)$$

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^i &= \begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^{\hat{o}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial \Psi_{un_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial \Psi_{un_1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_{n_1} \\ \Delta \Psi_{un_1} \end{bmatrix} - \\
&- \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial P_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial Q_{\tau_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial P_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial Q_{\tau_1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_{\tau_1} \\ \Delta Q_{\tau_1} \end{bmatrix}.
\end{aligned} \quad (37)$$

В случае, когда учитывается только изменение вектора возмущения W_1 , выражения (36) и (37) принимают вид

$$\begin{bmatrix} U_{n_1} \\ \Psi_{un_1} \\ \Psi_{u\ell_1} \end{bmatrix}^i = \begin{bmatrix} U_{n_1} \\ \Psi_{un_1} \\ \Psi_{u\ell_1} \end{bmatrix}^{\hat{o}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{un_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial \Psi_{u\ell_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial P_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial Q_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pm_1}}{\partial P_{\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial P_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial Q_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qm_1}}{\partial P_{\ell_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial P_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial Q_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pk_1}}{\partial P_{\ell_1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_{n_1} \\ \Delta Q_{n_1} \\ \Delta P_{\ell_1} \end{bmatrix}, \quad (38)$$

$$\begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^i = \begin{bmatrix} I'_{t_1} \\ I''_{t_1} \end{bmatrix}^{\hat{o}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I'_{\tau_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial I''_{\tau_1}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial \Psi_{un_1}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial U_{n_1}} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial \Psi_{un_1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_{n_1} \\ \Delta \Psi_{un_1} \end{bmatrix}. \quad (39)$$

Частные производные $\partial \Phi_{pm_1} / \partial I'_{t_1}$, $\partial \Phi_{pm_1} / \partial I''_{t_1}$, $\partial \Phi_{pm_1} / \partial I'_{\tau_1}$; $\partial \Phi_{qm_1} / \partial I'_{t_1}$, $\partial \Phi_{qm_1} / \partial I''_{t_1}$, $\partial \Phi_{qm_1} / \partial I'_{\tau_1}$; $\partial \Phi_{pk_1} / \partial I'_{t_1}$, $\partial \Phi_{pk_1} / \partial I''_{t_1}$ и $\partial \Phi_{pk_1} / \partial I'_{\tau_1}$ определяются на основании аналитических выражений функций Φ_{pm_1} , Φ_{qm_1} , Φ_{pk_1} .

Другие типы частных производных определяются соответствующим образом. Частные производные $\partial \Phi_{pt_1} / \partial P_{\tau_1}$, $\partial \Phi_{pt_1} / \partial Q_{\tau_1}$, $\partial \Phi_{qt_1} / \partial P_{\tau_1}$ и $\partial \Phi_{qt_1} / \partial Q_{\tau_1}$ определяются в виде

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial P_{\tau_1}} &= \begin{cases} 1 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau; \end{cases} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial P_{\tau_1}} &= \begin{cases} 0 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau; \end{cases} \\ \frac{\partial \Phi_{pt_1}}{\partial Q_{\tau_1}} &= \begin{cases} 0 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau; \end{cases} & \frac{\partial \Phi_{qt_1}}{\partial Q_{\tau_1}} &= \begin{cases} 1 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau. \end{cases}\end{aligned}\quad (40)$$

Полученные матричные выражения (38) и (39) позволяют установить численные значения скорректированного установившегося режима первой подсистемы на основании функционирующего установившегося режима.

Аналогичные выражения можно написать для последующих подсистем.

Математическая модель последней N-й подсистемы имеет вид

$$\Phi_{Y_N(Z_N)}(X_N, U_N, W_N) = 0, \quad (41)$$

$$\Phi_{Z_N(Y_N)}(X_N, U_N, W_N) = 0. \quad (42)$$

При соответствующих приращениях векторные уравнения (41) и (42) можно представить в виде

$$\Phi_{Y_N(Z_N)}(X_N^p + \Delta X_N, U_N^0 + \Delta U_N; W_N^0 + \Delta W_N) = 0, \quad (43)$$

$$\Phi_{Z_N(Y_N)}(X_N^p + \Delta X_N, U_N^0 + \Delta U_N; W_N^0 + \Delta W_N) = 0, \quad (44)$$

где X_N^p - вектор состояния в точке решения; U_N^0, W_N^0 - заданные значения векторов управления и возмущения.

Разлагая (43) и (44) в ряд Тейлора и пренебрегая частными производными второго порядка и выше, получим

$$\Delta X_{Y_N(Z_N)} = S_{Y_N(Z_N)}^{U_N} \Delta U_{Y_N(Z_N)} + S_{Y_N(Z_N)}^{W_N} \Delta W_{Y_N(Z_N)}, \quad (45)$$

$$\Delta X_{Z_N(Y_N)} = S_{Z_N(Y_N)}^{U_N} \Delta U_{Z_N(Y_N)} + S_{Z_N(Y_N)}^{W_N} \Delta W_{Z_N(Y_N)}, \quad (46)$$

где

$$S_{Y_N(Z_N)}^{U_N} = \left(\frac{\partial \Phi_{Y_N(Z_N)}}{\partial X_N} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Y_N(Z_N)}}{\partial U_N}, \quad (47)$$

$$S_{Y_N(Z_N)}^{W_N} = \left(\frac{\partial \Phi_{Y_N(Z_N)}}{\partial X_N} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Y_N(Z_N)}}{\partial W_N} \quad (48)$$

и

$$S_{Z_N(Y_N)}^{U_N} = \left(\frac{\partial \Phi_{Z_N(Y_N)}}{\partial X_N} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Z_N(Y_N)}}{\partial U_N}, \quad (49)$$

$$S_{Z_N(Y_N)}^{W_N} = \left(\frac{\partial \Phi_{Z_N(Y_N)}}{\partial X_N} \right)^{-1} \frac{\partial \Phi_{Z_N(Y_N)}}{\partial W_N}, \quad (50)$$

которые также являются матрицами чувствительностей.

Векторы $\Delta X_{Y_N(Z_N)}$ и $\Delta X_{Z_N(Y_N)}$, выраженные через режимные параметры ЭЭС, можно представить в виде

$$\Delta X_{Y_N(Z_N)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta U_{n_N}}{\Delta \Psi_{un_N}} \\ \frac{\Delta \Psi_{u\ell_N}}{\Delta \Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}, \quad \Delta X_{Z_N(Y_N)} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta I'_{t_N}}{\Delta I''_{t_N}} \end{bmatrix}. \quad (51)$$

Скорректированные режимные параметры определяются в виде

$$\begin{bmatrix} \frac{U_{n_N}}{\Psi_{un_N}} \\ \frac{\Psi_{u\ell_N}}{\Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}^H = \begin{bmatrix} \frac{U_{n_N}}{\Psi_{un_N}} \\ \frac{\Psi_{u\ell_N}}{\Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}^{\hat{O}} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta U_{n_N}}{\Delta \Psi_{un_N}} \\ \frac{\Delta \Psi_{u\ell_N}}{\Delta \Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \frac{I'_{t_N}}{I''_{t_N}} \end{bmatrix}^H = \begin{bmatrix} \frac{I'_{t_N}}{I''_{t_N}} \end{bmatrix}^{\hat{O}} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta I'_{t_N}}{\Delta I''_{t_N}} \end{bmatrix}, \quad (52)$$

где H и $\hat{O}$ – соответственно новый и исходный или функционирующий установившиеся режимы.

В развернутой форме выражения (52) принимают следующий вид:

$$\begin{bmatrix} U_{n_N} \\ \Psi_{un_N} \\ \Psi_{u\ell_N} \end{bmatrix}^{\hat{I}} = \begin{bmatrix} U_{n_N} \\ \Psi_{un_N} \\ \Psi_{u\ell_N} \end{bmatrix}^{\hat{O}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial P_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial Q_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial P_{\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial P_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial Q_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial P_{\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial P_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial Q_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial P_{\ell_N}} \end{bmatrix} \times \quad (53)$$

$$\times \begin{bmatrix} \Delta P_{n_N} \\ \Delta Q_{n_N} \\ \Delta P_{\ell_N} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial I'_{t_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial I''_{t_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial I'_{t_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial I''_{t_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial I'_{t_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial I''_{t_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I'_{t_N} \\ \Delta I''_{t_N} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} \frac{I'_{t_N}}{I''_{t_N}} \end{bmatrix}^{\hat{I}} = \begin{bmatrix} \frac{I'_{t_N}}{I''_{t_N}} \end{bmatrix}^{\hat{O}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial \Psi_{un_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial \Psi_{un_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_{n_N} \\ \Delta \Psi_{un_N} \end{bmatrix} -$$

$$- \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial P_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial Q_{\tau_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial P_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial Q_{\tau_N}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{\tau_N} \\ \Delta Q_{\tau_N} \end{bmatrix}. \quad (54)$$

В случае, когда учитывается только изменение вектора возмущения W_N , выражения (53) и (54) принимают вид

$$\begin{bmatrix} U_{n_N} \\ \Psi_{un_N} \\ \Psi_{u\ell_N} \end{bmatrix}^{\dot{I}} = \begin{bmatrix} U_{n_N} \\ \Psi_{un_N} \\ \Psi_{u\ell_N} \end{bmatrix}^{\dot{O}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{un_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial \Psi_{u\ell_N}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial P_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial Q_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pm_N}}{\partial P_{\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial P_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial Q_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qm_N}}{\partial P_{\ell_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial P_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial Q_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pk_N}}{\partial P_{\ell_N}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P_{n_N} \\ \Delta Q_{n_N} \\ \Delta P_{\ell_N} \end{bmatrix}, \quad (55)$$

$$\begin{bmatrix} I'_{t_N} \\ I''_{t_N} \end{bmatrix}^{\dot{I}} = \begin{bmatrix} I'_{t_N} \\ I''_{t_N} \end{bmatrix}^{\dot{O}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I'_{\tau_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial I''_{\tau_N}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial \Psi_{un_N}} \\ \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial U_{n_N}} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial \Psi_{un_N}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_{n_N} \\ \Delta \Psi_{un_N} \end{bmatrix}. \quad (56)$$

Частные производные $\partial \Phi_{pm_N} / \partial I'_{t_N}$, $\partial \Phi_{pm_N} / \partial I''_{t_N}$, $\partial \Phi_{pm_N} / \partial I'_{\tau_N}$; $\partial \Phi_{qm_N} / \partial I'_{t_N}$, $\partial \Phi_{qm_N} / \partial I''_{t_N}$, $\partial \Phi_{qm_N} / \partial I'_{\tau_N}$; $\partial \Phi_{pk_N} / \partial I'_{t_N}$, $\partial \Phi_{pk_N} / \partial I''_{t_N}$ и $\partial \Phi_{pk_N} / \partial I'_{\tau_N}$ определяются на основании аналитических выражений функций Φ_{pm_N} , Φ_{qm_N} , Φ_{pk_N} . Частные производные $\partial \Phi_{pt_N} / \partial P_{\tau_N}$, $\partial \Phi_{pt_N} / \partial Q_{\tau_N}$, $\partial \Phi_{qt_N} / \partial P_{\tau_N}$ и $\partial \Phi_{qt_N} / \partial Q_{\tau_N}$ определяются в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial P_{\tau_N}} &= \begin{cases} 1 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau; \end{cases} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial P_{\tau_N}} &= \begin{cases} 0 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau; \end{cases} \\ \frac{\partial \Phi_{pt_N}}{\partial Q_{\tau_N}} &= \begin{cases} 0 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau; \end{cases} & \frac{\partial \Phi_{qt_N}}{\partial Q_{\tau_N}} &= \begin{cases} 1 & \text{при } t = \tau, \\ 0 & \text{при } t \neq \tau. \end{cases} \end{aligned} \quad (57)$$

Остальные типы частных производных определяются на основании соответствующих функций. Полученные матричные выражения (55) и (56) позволяют установить численные значения скорректированного установившегося режима N-й подсистемы на основании функционирующего установившегося режима.

На основании вышеизложенного для решения практических задач предлагается соответствующий вычислительный алгоритм. Сущность вычислительного алгоритма заключается в том, что на первом этапе осуществляется расчет установившегося режима для отдельных подсистем, следовательно, и для системы в целом. Итерационный процесс расчета установившегося режима начинается с первой подсистемы. Сначала рассматривается верхняя левая, затем нижняя правая математические подмодели первой подсистемы. В результате завершения первой итерации первой подсистемы на основании полученных режимных параметров граничных узлов строится математическая модель второй подсистемы и т.д.

Итерационный процесс считается завершенным, если небалансы мощностей узлов отдельных подсистем принимают допустимые значения.

На втором этапе осуществляется коррекция установившегося режима.

Пользуясь вышеприведенными математическими моделями коррекции установившегося режима отдельных подсистем, осуществляется коррекция их режимных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гладунчик Е.А., Мнацаканян М.А., Тохунц А.Р., Саркисян Э.А.** Системы АСКУЭ в Армении и некоторые вопросы теоретических разработок по определению потерь мощностей в сетях с использованием метода диаоптики // 4-й научн.-техн. семинар.-М., 2004.-С. 1-10.
2. **Хачатрян В.С.** Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона-Рафсона // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1974.-N 4.-С. 36-43.
3. **Хачатрян К.В.** Коррекция установившегося режима сложной электроэнергетической системы методом диаоптики // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2004.-Т. 57, N 3.-С. 460-466.
4. **Хачатрян В. С., Бадалян Н. П., Тамразян М. Г., Гулян А. Г.** Решение систем гибридных нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС при смешанном типе станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т.54, N 2.-С. 210-217.
5. **Хачатрян К. В., Боросян А. В.** Коррекция установившегося режима электроэнергетической системы при P-U и P-Q типах станционных узлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2003.-Т. 56, N 1.-С. 86-93.
6. **Хачатрян К. В., Боросян А. В.** Новый метод коррекции установившегося режима электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА . Сер. ТН.- 2002.-Т. 55, N 2.-С. 222-230.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.09.2003.

Վ. Վ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

**ԲԱՐՆ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՎԵՐԱՀԱՇՎՄԱՆ
ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՆՈՐ ԴԻԱՎՈՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ
ՄՈԴԵԼ**

Առաջարկվում է բարդ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի կայունացված ռեժիմի վերահաշվման ընդհանրացված նոր մեթոդ P-Q և P-U տեսքի կայանային հանգույցների դեպքում հիմնված տրոհման սկզբունքի՝ այսինքն վերջինիս՝ որպես ռադիալ միացված ենթահամակարգի հանրույթ ներկայացման վրա:

K.V. KHACHATRYAN

A NEW DIACOPTICAL GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF CORRECTING STEADY-STATE CONDITION IN COMPLEX ELECTRICAL POWER SYSTEM

A new method of correcting steady-state condition of the complex electrical power system in P-Q, and P-U types of station units based on the diacoptical concept, i.e. on its representation as radially linked subsystem combination is proposed.

М.А. АРАМЯН, А.М. АРАМЯН

О МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Предложен физический метод исследования электромагнитного поля, позволяющий из линейных уравнений $M = kN$ установить полную систему электродинамики Максвелла.

Ключевые слова: уравнение, среда, напряженность, поле, электродинамика.

Введение. Принято, что исторически завершенной областью, полностью поддающейся дедуктивному рассмотрению, является классическая электродинамика Максвелла [1-12]. На основе экспериментальных законов Ома, Кирхгофа, Био-Савара и опираясь на результаты Фарадея, Максвелл в своих трудах обобщил известные к тому времени сведения об электричестве и магнетизме. Его основные уравнения

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{\delta} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1.1)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.2)$$

включают в себя не только все полученные ранее данные, но и экспериментальные данные последующих десятилетий.

В уравнениях Максвелла векторы магнитной $\vec{H}$ и электрической $\vec{E}$ напряженностей, магнитной индукции $\vec{B}$ и электрического смещения $\vec{D}$ предполагаются во всем пространстве конечными. Кроме того, они во всех обыкновенных точках (в окрестностях которых свойства среды остаются неизменными) являются непрерывными функциями координат и времени, обладающими непрерывными производными.

Первое уравнение Максвелла является обобщением закона полного тока и утверждает, что плотность тока смещения $\partial \vec{D} / \partial t$ связана с магнитным полем так же, как и плотность тока

проводимости $\vec{\delta}$. Второе уравнение Максвелла представляет собой закон электромагнитной индукции Фарадея в дифференциальной форме записи.

Первое дополнительное уравнение (третье уравнение Максвелла) выражает отсутствие источников у векторов магнитной индукции $\vec{B}$:

$$\text{div } \vec{B} = 0. \quad (1.3)$$

Второе дополнительное уравнение (четвертое уравнение Максвелла), которое представляет собой теорему Гаусса в дифференциальной форме, утверждает, что источником вектора электрического смещения $\vec{D}$ является плотность заряда ρ :

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho. \quad (1.4)$$

Если диэлектрическая ε и магнитная μ проницаемости, а также удельная электропроводность σ являются постоянными величинами, не зависящими от температуры и векторов поля $\vec{B}$ и $\vec{D}$, то между векторами $\vec{D}$, $\vec{E}$, $\vec{B}$ и $\vec{H}$, $\vec{\delta}$, $\vec{E}$ существуют линейные соотношения, зависящие от той среды, где исследуется поле

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad \vec{\delta} = \gamma(\vec{E} + \vec{E}_c), \quad (1.5)$$

где $\vec{E}_c$ - сторонняя напряженность поля, образующая электродвижущую силу.

В систему уравнений Максвелла включают и уравнения плотности энергии электромагнитного поля:

$$w = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{H} \vec{B}. \quad (1.6)$$

В развитие электромагнитного поля внесли свой весомый вклад Герц, Лоренц и другие великие ученые. При этом усреднение микроскопических уравнений Максвелла было произведено Лоренцом.

Достаточно иметь систему уравнений (1.1)-(1.6), чтобы однозначно определить электромагнитное поле. А это означает, решить в первую очередь главную задачу – определить подлежащие измерению величины H и E векторов $\vec{H}$ и $\vec{E}$. Это является основной проблемой электромагнитного и других векторных полей, хотя выражения физических законов в векторной форме отличаются изяществом и лаконичностью.

В наших исследованиях [13-20] при решении некоторых задач по определению усредненных параметров неоднородных материалов регулярных структур оказалось возможным установить не векторные, а скалярные уравнения между макроскопическими величинами напряженности магнитного поля H и электрического смещения D :

$$\frac{1}{k} H = D, \quad (1.7)$$

а также между макроскопическими величинами напряженности электрического поля E и магнитной индукции B :

$$\frac{1}{k} E = B. \quad (1.8)$$

Дальнейшие исследования показали, что линейные функции (1.7) и (1.8) позволяют установить полную систему уравнений электромагнитного

поля и являются аналогом уравнений Максвелла (1.1) и (1.2) в скалярной форме записи. Вид уравнений макроскопической электродинамики и входящих в них физических величин существенно зависит от физической природы исследуемой материальной среды и характера изменения поля во времени. Поэтому рассмотрим электромагнитное поле в различных материальных средах.

1. Электромагнитное поле в вакууме с электрической ϵ_0 и магнитной μ_0 постоянными. Для вывода системы уравнений электромагнитного поля в исследуемом пространстве воспользуемся принципом постоянства скорости света. Согласно этому принципу, скорость света c в вакууме, как одна из основных физических постоянных, не зависит от движения его источника или приемника [11]. Тогда в декартовой системе координат в движущейся S' и “покоящейся” (ньютоновой) S инерциальных системах отсчета вдоль оси абсцисс существуют линейные зависимости [11]:

$$x' = ct', \quad (2.1)$$

$$x = ct, \quad (2.2)$$

где x' и t' - координата абсцисс и время, измеренные наблюдателем в системе S' ; x и t - аналогичные величины, измеренные в системе S .

Предполагается, что источник света (или электромагнитной волны) в момент времени $t' = t = 0$ неподвижно расположен в совпадающих в этот момент времени началах отсчета систем S и S' .

Итак, для двух произвольных физических величин (координат и времени) имеют место линейные зависимости (2.1) и (2.2).

Однородность и изотропность межгалактического пространства (вакуума) позволяют утверждать, что аналогичные (2.1) и (2.2) линейные зависимости должны иметь место и между двумя соответствующими физическими величинами, входящими в уравнения электромагнитного поля (и других физических законов). При этом, если нами определена одна физическая величина, то в природе существует другая физическая величина, и между ними имеют место линейные зависимости, аналогичные (2.1) и (2.2). Причиной таких зависимостей являются именно линейные функции (1.1) и (1.2), в которых для однородных и изотропных материальных сред коэффициент пропорциональности равен скорости v , меньшей скорости света $v < c$. При этом линейные зависимости между напряженностью магнитного поля H и электрическим смещением D для вакуума равны

$$\frac{1}{c} H = D = \epsilon_0 E, \quad (2.3)$$

а для материальной среды:

$$\frac{1}{v} H = D = \epsilon E. \quad (2.4)$$

Линейные зависимости между напряженностью электрического поля E и магнитной индукцией B для вакуума равны

$$\frac{1}{c}E = B = \mu_0 H, \quad (2.5)$$

а для материальной среды:

$$\frac{1}{v}E = B = \mu H \quad (2.6)$$

и т.д., т.е. исходят именно из зависимостей между x и t для вакуума:

$$\frac{1}{c}x = t \quad (2.7)$$

и для материальной среды:

$$\frac{1}{v}x = t. \quad (2.8)$$

Покажем это, учитывая границы раздела макроскопической электродинамики и квантовой механики [10].

Пусть теперь нами определена одна физическая величина M , которая представляет собой энергию массы покоя элементарной частицы $M = W$, Дж. Тогда другая физическая величина N будет представлять собой импульс этой частицы $N = P$, Дж/с/м. Если же определенная нами физическая величина M представляет собой плотность тока проводимости $M = \delta$, А/м, то другая физическая величина N будет представлять собой объемную плотность заряда $N = \rho$, А/с/м³ и т.д.

Предположим, что физическая величина M представляет собой напряженность магнитного поля $M = H$, А/м. Тогда величина N представляет собой электрическое смещение $N = D$, А/с/м². Действительно, умножая обе части уравнений (2.7) и (2.8) на напряженность магнитного поля H

$$\frac{1}{c}Hx = Ht, \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{v}Hx = Ht, \quad (2.10)$$

можно установить аналогичные (2.7) и (2.8) уравнения между H и D :

$$\frac{1}{c}H = D = \varepsilon_0 E, \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{v}H = D = \varepsilon E. \quad (2.12)$$

Если предположить, что определенная нами физическая величина M представляет собой напряженность электрического поля $M = E$, В/м, то величина N будет представлять собой магнитную индукцию $N = B$, В-с/м².

Действительно, теперь умножая обе части уравнений (2.7) и (2.8) на напряженность электрического поля

$$\frac{1}{c} E_x = E t, \quad (2.13)$$

$$\frac{1}{v} E_x = E t, \quad (2.14)$$

можно установить уравнения между E и B :

$$\frac{1}{c} E = B = \mu_0 H, \quad (2.15)$$

$$\frac{1}{v} E = B = \mu H. \quad (2.16)$$

Аналогичным образом можно установить уравнения между двумя соответствующими физическими величинами M и N для вакуума:

$$\frac{1}{c} M = N \quad (2.17)$$

и для материальной среды:

$$\frac{1}{v} M = N. \quad (2.18)$$

Покажем теперь, что уравнения (1.7) и (1.8) позволяют установить всю систему уравнений электромагнитного поля в исследуемой среде.

Сначала покажем что, преобразуя уравнения (1.7) и (1.8), можно получить соответственно первое и второе уравнения Максвелла (1.1) и (1.2) для вакуума.

С этой целью представим векторы $\vec{H}$ и $\vec{E}$ в декартовой системе координат:

$$\vec{H} = \hat{i} H_x + \hat{j} H_y + \hat{k} H_z, \quad (2.19)$$

$$\vec{E} = \hat{i} E_x + \hat{j} E_y + \hat{k} E_z. \quad (2.20)$$

Векторы $\vec{H}$ и $\vec{E}$ будут функцией только одной координаты x , так как рассматриваем распространение световой электромагнитной волны вдоль оси абсцисс (2.1) и (2.2). Тогда все производные этих величин по координатам y и z будут равны нулю. Поэтому для производных по x , y и z , с учетом (2), будем иметь

$$\pm \frac{\partial}{\partial x} = \pm \frac{\partial}{c \partial t}, \quad \pm \frac{\partial}{\partial y} = 0, \quad \pm \frac{\partial}{\partial z} = 0. \quad (2.21)$$

Отрицательный знак соответствует плоской волне, распространяющейся в положительном направлении оси абсцисс, а положительный знак - волне, распространяющейся в отрицательном направлении этой же оси.

Как известно [10], в рассматриваемом нами случае векторы $\hat{i}, \vec{E}, \vec{H}$ или, после циклической перестановки, $\vec{E}, \vec{H}, \hat{i}$ образуют ортогональную правую систему. Теперь $\vec{H}$ и $\vec{D}$ можно представить в виде

$$\vec{H} = \hat{k} H, \quad (2.22)$$

$$\vec{D} = \hat{j} D. \quad (2.23)$$

Так как векторное произведение $\hat{i}$ и $\hat{k}$ равно

$$-\left[\hat{i} \times \hat{k}\right] = \hat{j}, \quad (2.24)$$

то уравнение (1.7) можно представить в векторной форме записи:

$$-\frac{1}{c} H \left[\hat{i} \times \hat{k}\right] = \vec{D}. \quad (2.25)$$

Если учесть, что в плоскости, перпендикулярной оси абсцисс, величины H и E постоянны, то соотношение (2.25) можно переписать в эквивалентном виде:

$$-\frac{1}{c} \left[\hat{i} \times \vec{H}\right] = \vec{D}. \quad (2.26)$$

В декартовой системе координат векторное произведение единичного вектора $\hat{i}$ и вектора напряженности магнитного поля $\vec{H}$ равно

$$\left[\hat{i} \times \vec{H}\right] = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1 & 0 & 0 \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}. \quad (2.27)$$

Тогда условия (2.21) позволяют из (2.26), с учетом (2.27), получить

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left[\hat{i} \times \vec{H}\right] = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -\frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (2.28)$$

Определитель в этом выражении представляет собой ротор вектора напряженности магнитного поля $\vec{H}$ для плоской электромагнитной волны, распространенной вдоль оси абсцисс:

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (2.29)$$

При выводе (2.29) имеем

$$\vec{D} = \hat{j} D = \hat{j} D_Y, \quad (2.30)$$

$$\vec{H} = \hat{k} H = \hat{k} H_Z. \quad (2.31)$$

При рассмотрении распространения световой электромагнитной волны вдоль оси ординат у аналогичным образом можно получить уравнение

$$\vec{D} = \hat{k} D = \hat{k} D_Z, \quad (2.32)$$

$$\vec{H} = \hat{i} H = \hat{i} H_X. \quad (2.33)$$

Подобным образом можно вывести уравнение (2.28), если исследовать распространение плоской волны вдоль оси z. В этом случае для электрического смещения и напряженности магнитного поля можно получить

$$\vec{D} = \hat{i} D = \hat{i} D_X, \quad (2.34)$$

$$\vec{H} = \hat{j} H = \hat{j} H_Y. \quad (2.35)$$

Пользуясь принципом суперпозиции, согласно (2.19) и (2.20), для $\vec{H}$ и $\vec{D}$ имеем

$$\vec{D} = \hat{i} D_X + \hat{j} D_Y + \hat{k} D_Z = \frac{1}{c} (\hat{i} H_Y + \hat{j} H_Z + \hat{k} H_X) = \frac{1}{c} \vec{H}, \quad (2.36)$$

где

$$\vec{H} = -([\hat{k} \times \hat{j}] H_Y + [\hat{i} \times \hat{k}] H_Z + [\hat{j} \times \hat{i}] H_X). \quad (2.37)$$

Подставляя значения составляющих вектора электрического смещения в (2.36), получим

$$\vec{D} = -\frac{1}{c} ([\hat{k} \times \hat{j}] H_Y + [\hat{i} \times \hat{k}] H_Z + [\hat{j} \times \hat{i}] H_X). \quad (2.38)$$

Производное этого выражения по времени дает постулированное Максвеллом первое уравнение для вакуума:

$$\text{rot } \vec{H} = \partial \vec{D} / \partial t. \quad (2.39)$$

Теперь покажем, что, проводя аналогичное преобразование, можно из (1.8) получить второе уравнение Максвелла. Учитывая указанную выше ортогональную систему векторов $\vec{E}, \vec{H}, \hat{i}$, при рассмотрении распространения световой волны вдоль оси абсцисс векторы $\vec{E}$ и $\vec{B}$ можно представить в виде

$$\vec{E} = \hat{j} E = \hat{j} E_Y, \quad (2.40)$$

$$\vec{B} = \hat{k} B = \hat{k} B_Z. \quad (2.41)$$

Если учесть, что $[\hat{i} \times \hat{j}] = \hat{k}$, то уравнение (1.8) в векторной форме примет вид

$$\frac{1}{c} E[\hat{i} \times \hat{j}] = -\hat{k} B$$

или

$$\frac{1}{c} [\hat{i} \times \vec{E}] = -\vec{B}. \quad (2.42)$$

Производное этого выражения по времени дает второе уравнение Максвелла для плоской электромагнитной волны, распространяемой вдоль оси абсцисс:

$$\text{rot } \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t. \quad (2.43)$$

К аналогичному результату можно прийти, рассматривая распространение световой волны вдоль оси y , где для $\vec{E}$ и $\vec{B}$ имеем

$$\vec{E} = \hat{k} E = \hat{k} E_z, \quad (2.44)$$

$$\vec{B} = \hat{i} B = \hat{i} B_x, \quad (2.45)$$

и вдоль оси z , где $\vec{E}$ и $\vec{B}$ равны

$$\vec{E} = \hat{i} E = \hat{i} E_x, \quad (2.46)$$

$$\vec{B} = \hat{j} B = \hat{j} B_y. \quad (2.47)$$

Наложение составляющих напряженности электрического поля (типа (2.42)) позволяет получить

$$-\frac{1}{c} ([\hat{k} \times \hat{i}] E_x + [\hat{i} \times \hat{j}] E_y + [\hat{j} \times \hat{k}] E_z) = -\vec{B}. \quad (2.48)$$

Производное этого выражения по времени дает второе уравнение Максвелла при рассмотрении электромагнитной волны вдоль произвольно направленного единичного вектора.

Итак, представляя (1.7) и (1.8) в векторной форме, можно прийти к первому и второму уравнениям Максвелла.

Теперь приведем выводы остальных уравнений (1.3)-(1.6) системы электромагнитного поля. Дополнительные уравнения Максвелла можно получить из выражений (2.29) и (2.42), которые являются соответственно уравнениями (1.7) и (1.8) в векторной форме записи. Действительно, проводя с обеих сторон (2.26) или (2.42) операцию дивергенции, получим третье и четвертое уравнения для вакуума:

Теперь можно привести выводы уравнений для среды (вакуума) (1.5)

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E},$$

или

$$B = \mu_0 H, \quad D = \epsilon_0 E.$$

Для этого представим (1.7) и (1.8) в виде

$$H = cD = c\epsilon_0 E, \quad (2.49)$$

$$E = cB = c\mu_0 H. \quad (2.50)$$

Подставляя одно уравнение в другое, из соотношений (2.49) и (2.50) можно получить

$$H = c^2 \epsilon_0 \mu_0 H,$$

$$E = c^2 \epsilon_0 \mu_0 E.$$

Из этих выражений следует, что постулированная в теории электродинамики Максвелла скорость света в вакууме равна

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}. \quad (2.51)$$

Тогда, подставляя (2.51) в (2.49) и (2.50), можно получить уравнения для среды (1.5):

$$H = c^2 \epsilon_0 B = B/\mu_0, \quad (2.52)$$

$$E = c^2 \mu_0 D = D/\epsilon_0. \quad (2.53)$$

Заметим, что подставляя (2.51) в (1.7) и (1.8), для величин напряженностей магнитного и электрического полей получим

$$H = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E, \quad (2.54)$$

$$E = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} H. \quad (2.55)$$

Величина же вектора Пойнтинга будет равна

$$\left| \vec{S} \right| = EH = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E^2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} H^2 = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{H} \vec{B}. \quad (2.56)$$

Итак, уравнения (1.7) и (1.8) позволяют установить полную систему уравнений электромагнитного поля (1.1)-(1.6) для вакуума. Заметим также, что уравнения (1.7) и (1.8) позволяют получить результаты (2.51), (2.54)-(2.55), которые являются решением волнового уравнения для плоской электромагнитной волны [10].

2. Материальная среда – идеальный диэлектрик с относительными диэлектрической ϵ_r и μ_r проницаемостями. Для рассматриваемой материальной среды в уравнениях (1.7) и (1.8) величины D и B равны

$$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E = \varepsilon E,$$

$$B = \mu_r \mu_0 H = \mu H.$$

Действительно, эти уравнения, которые следуют также из (2.1) при замене скорости c на скорость v , имеют место при скорости распространения электромагнитной волны, равной

$$v = c / \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}. \quad (3.1)$$

Покажем это, представляя (1.7) и (1.8) в виде

$$H = v \varepsilon E. \quad (3.2)$$

$$E = v \mu H. \quad (3.3)$$

Подставляя (3.3) в (3.2), а (3.2) в (3.3), из полученных выражений действительно следует, что скорость v определяется уравнением (3.1).

Вывод системы уравнений электромагнитного поля аналогичен выводу уравнений поля для вакуума с той разницей, что скорость света c (2.50) заменяется на скорость v (3.1), а электрическая ε_0 и магнитная μ_0 постоянные – на $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ и $\mu = \mu_r \mu_0$.

Однако можно провести обратные преобразования и из основных уравнений Максвелла (1.1) и (1.2) перейти к уравнениям (1.7) и (1.8). Приведем эти преобразования.

Если учесть значения векторов $\vec{D}$ и $\vec{B}$:

$$\vec{D} = \hat{j} \varepsilon E,$$

$$\vec{B} = \hat{k} \mu H,$$

то первое и второе уравнения Максвелла примут вид

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial}{\partial t} (\hat{j} D), \quad (3.4)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\hat{k} B). \quad (3.5)$$

Представляя $\text{rot } \vec{H}$ и $\text{rot } \vec{E}$ в декартовой системе координат

$$\text{rot } \vec{H} = -\frac{\partial}{\partial x} [\hat{i} \times \vec{H}] = -\frac{1}{v} \frac{\partial H}{\partial t} [\hat{i} \times \hat{k}], \quad (3.6)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial x} [\hat{i} \times \vec{E}] = \frac{1}{v} \frac{\partial E}{\partial t} [\hat{i} \times \hat{j}] \quad (3.7)$$

и приравнявая (3.4) и (3.5), можно получить

$$\frac{\partial}{\partial t} (\hat{j} D) = -\frac{1}{v} \frac{\partial H}{\partial t} [\hat{i} \times \hat{k}], \quad (3.8)$$

$$-\frac{\partial}{\partial t} (\hat{k} B) = \frac{1}{v} \frac{\partial E}{\partial t} [\hat{i} \times \hat{j}]. \quad (3.9)$$

Из равенства (3.8) следует уравнение (1.7):

$$\frac{1}{v} H = D,$$

а из (3.9) - уравнение (1.8):

$$\frac{1}{v} E = B,$$

что и требовалось доказать.

К такому результату можно прийти при произвольном направлении распространения световой волны.

3. Однородная и изотропная материальная среда с параметрами ε и μ с конечной проводимостью σ . В общем случае уравнения (1.7) и (1.8) имеют вид

$$\frac{1}{v} H = D + \sigma,$$

$$\frac{1}{v} E = B,$$

где σ - поверхностная плотность свободного заряда, $A \cdot c/m^2$.

С учетом того, что величина плотности тока проводимости равна изменению плотности заряда σ :

$$\delta = \partial \sigma / \partial t, \quad (4.1)$$

уравнения (1.7) и (1.8) примут вид

$$\frac{1}{v} H = D + \int \delta \partial t, \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{v} E = B. \quad (4.3)$$

При наличии объемного заряда с плотностью ρ в (4.1) появляется слагающая ρv . Рассматривая (как и выше) направления распространения электромагнитной волны по оси абсцисс, в декартовой системе координат векторы $\vec{H}$ и $\vec{E}$ будут равны

$$\vec{H} = \hat{k} H, \quad \vec{E} = \hat{j} E.$$

Тогда соотношения (4.2) и (4.3) можно представить в векторной форме:

$$-\frac{1}{v} [\hat{i} \times \vec{H}] = \vec{D} + \int \vec{\delta} \partial t, \quad (4.4)$$

$$\frac{1}{v} [\hat{i} \times \vec{E}] = -\vec{B}. \quad (4.5)$$

Производные по времени этих выражений дают уравнения Максвелла (1.1) и (1.2). Вид этих уравнений при произвольном направлении распространения электромагнитной волны из-за однородности и изотропности

среды остается неизменным. Вывод остальных уравнений (1.3)-(1.4) электромагнитного поля не представляет особого труда.

Итак, уравнения (1.7) и (1.8), являющиеся прямым следствием принципа постоянства скорости света для вакуума $\frac{1}{c}x = t$ и постоянства скорости распространения

электромагнитной волны в материальной среде $\frac{1}{v}x = t$, позволяют установить систему уравнений электромагнитного поля. Они включают в себя удивительно много информации, часть которой была выведена для однородной, изотропной диэлектрической среды. При распространении электромагнитной волны вдоль оси абсцисс (условия (2.21)) имеем

$$\begin{aligned}\frac{1}{v}H_x &= \varepsilon E_z, & \frac{1}{v}H_y &= \varepsilon E_x, & \frac{1}{v}H_z &= \varepsilon E_y, \\ \frac{1}{v}E_x &= \mu H_y, & \frac{1}{v}E_y &= \mu H_z, & \frac{1}{v}E_z &= \mu H_x.\end{aligned}$$

Производные этих уравнений по времени дают

$$\frac{\partial H_x}{\partial x} = \varepsilon \frac{\partial E_z}{\partial t}, \quad (4.6) \quad \frac{\partial E_x}{\partial x} = \mu \frac{\partial H_y}{\partial t}, \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = \varepsilon \frac{\partial E_x}{\partial t}, \quad (4.7) \quad \frac{\partial E_y}{\partial x} = \mu \frac{\partial H_z}{\partial t}, \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = \varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t}, \quad (4.8) \quad \frac{\partial E_z}{\partial x} = \mu \frac{\partial H_x}{\partial t}. \quad (4.11)$$

Вторые производные этих уравнений по координате x с учетом того, что результаты не зависят от порядка дифференцирования, позволяют получить волновые уравнения для рассматриваемого случая:

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 H_x}{\partial t^2}, \quad (4.12) \quad \frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}, \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2}, \quad (4.13) \quad \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}, \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}, \quad (4.14) \quad \frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2}. \quad (4.17)$$

В частности, из (4.6) и (4.11) можно получить уравнение (4.12):

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} = \varepsilon \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial E_z}{\partial t} \right) = \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} \right) = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 H_x}{\partial t^2},$$

а из (4.9) и (4.7) - уравнение (4.15):

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} = \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H_y}{\partial t} \right) = \mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} \right) = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2}.$$

Уравнения (4.7) и (4.9), (4.8) и (4.10) позволяют получить остальные волновые уравнения (4.13), (4.14), (4.16) и (4.17).

При рассмотрении распространения волны вдоль оси y имеем

$$\partial/\partial x = 0, \quad \partial/\partial y \neq 0, \quad \partial/\partial z = 0, \quad (4.18)$$

а вдоль оси z :

$$\partial/\partial x = 0, \quad \partial/\partial y = 0, \quad \partial/\partial z \neq 0. \quad (4.19)$$

Для случая (4.18) имеем

$$\begin{cases} \frac{1}{v} H_y = \varepsilon E_x, \frac{1}{v} H_z = \varepsilon E_y, \frac{1}{v} H_x = \varepsilon E_z, \\ \frac{1}{v} E_y = \mu H_x, \frac{1}{v} E_z = \mu H_y, \frac{1}{v} E_x = \mu H_z, \end{cases}$$

для случая (4.19):

$$\begin{cases} \frac{1}{v} H_z = \varepsilon E_y, \frac{1}{v} H_x = \varepsilon E_z, \frac{1}{v} H_y = \varepsilon E_x, \\ \frac{1}{v} E_z = \mu H_x, \frac{1}{v} E_x = \mu H_y, \frac{1}{v} E_y = \mu H_z. \end{cases}$$

Полученные соотношения позволяют получить волновые уравнения для рассматриваемых случаев. При рассмотрении распространения электромагнитной волны вдоль произвольного направления волновые уравнения можно получить наложением уравнений, полученных для случаев (2.21), (4.18) и (4.19).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Максвелл Дж.К.** Статьи и речи. -М.: Наука, 1968. – 416 с.
2. **Максвелл Дж.К.** Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. -М.: Гостехиздат, 1954. - 633 с.
3. **Стрэттон Дж.А.** Теория электромагнетизма. -М. Гостехиздат, 1948. - 539 с.
4. **Смайт У.Р.** Электростатика и электродинамика. -М.: ИЛ, 1954. - 492 с.
5. **Тамм И.Е.** Основы теории электричества. -М.: Физматгиз, 2003. – 658 с.
6. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Теория поля. -М.: Физматгиз, 2001.- 502 с.
7. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Электродинамика сплошных сред. -М.: Физматгиз, 2001. – 421 с.
8. **Зоммерфельд А.** Электростатика и электродинамика. -М.: ИЛ, 1954. - 495с.
9. **Гринберг Г.А.** Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. -М.: Изд-во АН СССР, 1948.
10. **Шимони К.** Теоретическая электротехника. -М.: Мир, 1964. - 760 с.
11. **Эйнштейн А.** К электродинамике движущихся тел: Собрание научных трудов. -М.: Наука, 1965.
12. **Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.** Электродинамика. -М.: Мир, 1966.
13. **Арамян М.А.** Расчет поля в кубической пространственной системе сферических частиц, помещенных во внешнее однородное поле // Теоретическая электротехника / Львовск. гос. ун-т.- 1990.-Вып. 49.- С.107-119.
14. **Арамян М.А.** Уточнение в теории расчета диэлектрической проницаемости Максвелла-Вагнера // Коллоидный журнал. - 1992. -Т.54, N5. - С.24-32.

15. **Арамян М.А.** К расчету полей в слоистых структурах и вычисление интегральных параметров//ИФЖ. - 1994. -Т. 67, N1-2. - С. 132-140.
16. **Арамян М.А.** Расчет потенциальных полей и средних параметров дисперсных систем регулярных структур с различными формами включений// Электричество. -1997. - N2. - С.64-69.
17. **Арамян М., Карапетян Г.** Расчет усредненных параметров неоднородных сред с переменными свойствами включений // ИФЖ. – Минск. - 2001. - Т.74, N1. -С.92-98.
18. **Арамян М., Карапетян Г.** Расчет диэлектрической проницаемости неоднородных материалов периодических структур усреднением уравнений потенциальных полей // ИФЖ. – Минск. - 2001.- Т.74, N1. - С. 99-102.
19. **Карапетян Г., Арамян М.** Об усреднении потенциальных полей в неоднородных средах // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001. – Т.4, N3. -С.395-398.
20. **Арамян М., Арамян А.** К электродинамике движущихся зарядов// Материалы науч. конф. ГИУА.- Ереван, 2002. - Т.1. - С. 99-101.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.07.2003.

Մ.Ա. ԱՐԱՄՅԱՆ, Ա.Մ.ԱՐԱՄՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍՏԻԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Էլեկտրամագնիսական դաշտի հետազոտման համար առաջարկվում է ֆիզիկական մեթոդ, որը հնարավորություն է ընձեռում $M = kN$ գծային հավասարումներից սահմանել Մաքսվելի էլեկտրադինամիկայի լրիվ համակարգը:

M.A. ARAMYAN, A.M. ARAMYAN

ON ELECTROMAGNETIC FIELD INVESTIGATION METHOD

A physical method for investigating the electromagnetic field allowing to set a full Maxwell equation system from linear equation $M = kN$ is proposed.

Վ.Ս. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ, Դ.Ա. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ

ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԼԱՐՄԱՆ
ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԱՆԱԼՈԳԱԹՎԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ԿԵՐԱՎԱՓՈԽԻՉ

Դիտարկված է ոչ գծային ստատիկ բնութագրով անալոգաթվանշանային կերպափոխիչի կառուցման սկզբունք, բերված են բանաձևեր կերպափոխիչի սխեմայի պարամետրերի հաշվարկի համար:

Առանցքային բառեր. երկտակտ ինտեգրումով անալոգաթվանշանային կերպափոխիչ, լարման բաժանիչ:

Ոչ էլեկտրական մեծությունների առաջնային չափիչ կերպափոխիչների (տվիչների) գերակշիռ մասի ստատիկ բնութագիրը ոչ գծային է: Այդ պատճառով ոչ էլեկտրական մեծությունների թվանշանային չափման սարքերում (ԹՉՍ) անհրաժեշտություն է առաջանում իրականացնել ինֆորմատիվ ազդանշանի ֆունկցիոնալ կերպափոխում՝ չափվող մեծության և նրան համապատասխան ելքային կոդի միջև գծային կախվածություն ստանալու նպատակով: Ներկայումս արտադրվող ոչ էլեկտրական մեծությունների թվանշանային չափիչ սարքերում կերպափոխումն իրականացվում է անալոգային և թվային մեթոդներով: Անալոգային մեթոդով գծայնացում իրականացնելիս նորմավորող ուժեղարարի հետադարձ կապում մտցվում են դիող-ռեզիստորային օղակներ [1], որոնց միջոցով հնարավոր չէ ապահովել թվանշանային սարքերին բնորոշ բարձր ճշգրտություն: Եթե ԹՉՍ-ում օգտագործվում է երկտակտ ինտեգրման սկզբունքով աշխատող անալոգաթվանշանային կերպափոխիչ (ԱԹԿ), ապա գծայնացում իրականացնելու նպատակով հենանշային լարման մեջ է մտցվում ինֆորմատիվ ազդանշանի մի մասը [2]: Այդ եղանակը ևս թույլ չի տալիս ապահովել բարձր ճշգրտություն չափումների լայն տիրույթում: Թվային մեթոդով գծայնացման դեպքում հիմնականում կիրառվում են երկու սկզբունք՝ աղյուսակային տեսքով տրված տվիչի ստատիկ բնութագիրը պահվում է հիշողության ռեգիստրում, իսկ տվիչի ազդանշանը կոդավորվում է գծային ԱԹԿ-ով ու, համեմատվելով աղյուսակի հետ, որոշվում է չափվող մեծության արժեքը: Այս դեպքում պահանջվում է հիշողության ռեգիստրի շատ մեծ ծավալ, և այն իրականացնելու համար անհրաժեշտություն է առաջանում օգտագործել միկրոկառավարիչ: Պարզագույն ֆունկցիոնալ կախվածության դեպքում, ունենալով տվիչի ստատիկ բնութագրի անալիտիկ արտահայտությունը, կարելի է միկրոկառավարիչով իրականացնել համապատասխան հաշվարկ և որոշել չափվող մեծության արժեքը [3]: Թվային գծայնացում կարելի է իրականացնել նաև ժամանակախմբային սկզբունքով աշխատող ԱԹԿ-ներում՝ կերպափոխման ընթացքում քվանտացնող իմպուլսների հաճախությունը պահանջվող օրինաչափությամբ փոփոխելով [4]: Այս դեպքում կարելի է ստանալ ավելի լայն ֆունկցիոնալ հնարավորություններ՝ պահանջվող ֆունկցիոնալ կախվածությունը բարձր ճշգրտությամբ մոտարկելով բեկյալով: Կերպափոխման ընթացքում ավտոմատ կերպով բեկյալի յուրաքանչյուր տեղամասում փոփոխվում է ժամանակային

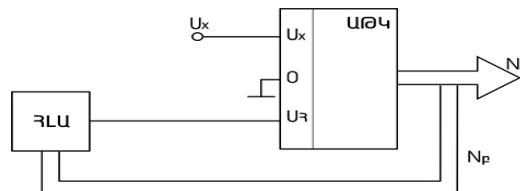
տևողությունը քվանտացնող իմպուլսների հաճախությունը: Մեթոդի թերությունն այն է, որ որոշ դեպքերում պահանջվող ճշգրտությամբ հաճախությունների ոչ բոլոր արժեքներն է հնարավոր ստանալ պարզ սխեմային լուծումներով: Նշված թերությունները վերացնելու համար առաջարկվում է օգտագործել համակցված մեթոդ, որը հնարավոր է իրականացնել երկտակտ ինտեգրման սկզբունքով աշխատող ԱԹԿ-ի օգտագործմամբ: Այդպիսի ԱԹԿ-ները լայն տարածում են ստացել բարձր ճշգրտության և աղմուկապաշտպանվածության շնորհիվ:

Հայտնի է, որ այդպիսի կերպափոխիչի ելքային կոդին համապատասխանող թիվը որոշվում է

$$N_x = 10^m \frac{U_x}{U_z} \quad (1)$$

արտահայտությամբ՝ որտեղ U_x – ը չափվող (մուտքային) լարումն է, U_z – ը՝ հենանշային լարումը:

Բանաձևից հետևում է, որ կարելի է U_z -ի համապատասխան փոփոխման միջոցով իրականացնել մոնոտոն փոփոխվող ստատիկ բնութագրերի գծայնացում: Այդ նպատակով տվիչի ստատիկ բնութագիրը պահանջվող ճշգրտությամբ մոտարկվում է բեկյալով և մոտարկման յուրաքանչյուր տեղամասում ընտրվում է հենանշային լարման համապատասխան արժեք: Ինտեգրման երկրորդ տակտի ընթացքում ԱԹԿ-ի թվանշանային հաշվիչի ազդանշանով կարելի է հերթականությամբ որոշել, թե չափվող U_x ազդանշանի ընթացիկ արժեքը բեկյալի որ տեղամասին է համապատասխանում և, U_z -ի հաջորդական փոփոխություններ իրականացնելով, ստանալ գծային կախվածություն չափվող մեծության և թվանշանային կոդի միջև: Անալոգաթվանշանային կերպափոխման գործակիցը բեկյալի յուրաքանչյուր տեղամասում պետք է ընտրել այնպիսին, որ բեկյալի գագաթներին համապատասխանող N_{xj} արժեքները ստացվեն դրանց համապատասխան մուտքային լարումների դեպքում: Այդ սկզբունքով կառուցված ոչ գծային ԱԹԿ-ի սխեման ներկայացված է նկ. 1-ում:

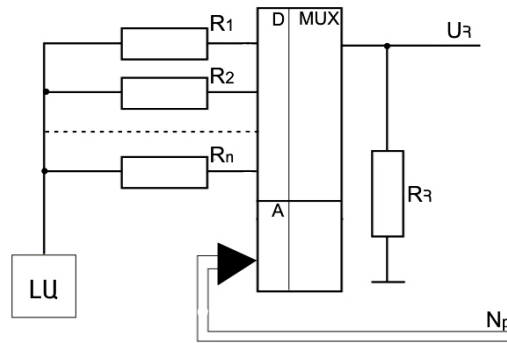


Նկ. 1

Կերպափոխման ընթացքում ԱԹԿ-ի թվանշանային հաշվիչի ելքային կոդով կառավարվում է հենանշային լարումների աղբյուրը (ՀԼԱ), որի ելքում ստացվում են ստատիկ բնութագիրը մոտարկող բեկյալի տարբեր տեղամասերին համապատասխանող լարումներ:

Հետևաբար, հենանշային լարման աղբյուրում պետք է օգտագործել կոդային կառավարմամբ լարման բաժանիչ: Նպատակահարմար է օգտագործել լարման բազմաճյուղ բաժանիչ և դրա ճյուղերի փոխմիացումներն իրականացնել անալոգային մուլտիպլեքսորի միջոցով (նկ.2), որի հասցեային մուտքերին (A) պետք է տալ

ԱԹԿ-ի թվանշանային հաշվիչի ելքային կոդի բարձր կարգերը (N_p): Լարման բաժանիչը պետք է սնել բարձր ճշգրտության լարման աղբյուրից (ԼԱ):



Նկ. 2

Միսեման պարզեցնելու նպատակով մոտարկման քայլը ըստ N_x -ի պետք է ընտրել հաստատուն, որը երկուական կոդի դեպքում հավասար է 2^m , իսկ երկուական-տասականի դեպքում՝ $k(10^m)$: Այդ դեպքում մոտարկման j -րդ տեղամասը կորոշվի ելքային կոդի N_p բարձր կարգերով ($2^m, 2^{m+1}$ և բարձր կշռային գործակիցներով): Կոդի ցածր կարգերում (1-ից մինչև m) փոփոխությունները կհամապատասխանեն բեկյալի միջգագաթային տեղամասերին և չեն օգտագործվի դրանց որոշման համար: Եթե տեղամասերին համապատասխանող ազդանշաններ ստանալու համար օգտագործենք երկուական կոդով կառավարվող մուլտիպլեքսոր, ապա նրա հասցեային մուտքերին պետք է տրվեն հաշվիչի կոդի բարձր կարգերը: Օրինակ՝ բեկյալի առաջին տեղամասին կհամապատասխանի 00000xxxxx կոդը, երկրորդին՝ 00001xxxxx և այլն:

Ոչ գծային ԱԹԿ-ի աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է. կերպափոխվող U_x ազդանշանը կերպափոխման առաջին տակտում ինտեգրվում է որոշակի T_0 տևողության ընթացքում, իսկ երկրորդ տակտը սկսվում է U_x -ին հակառակ նշանով հենանշային լարման ինտեգրումով, մինչև ինտեգրիչի ելքում ստացվի զրոյական մակարդակ: Սկզբնական վիճակում (որը համապատասխանում է բեկյալի առաջին տեղամասին) հաշվիչի բարձր կարգերի ելքերում ունենք 0-ական վիճակ, որին համապատասխան բացվում է մուլտիպլեքսորի առաջին (0-ական) կապուղին: Արդյունքում, հենանշային ռեգիստորի վրա լարման անկումը՝

$$U_{31} = U_0 \frac{R_3}{R_3 + R_1}, \quad (2)$$

որտեղ R_1 – ը լարման բաժանիչի առաջին ճյուղի դիմադրությունն է:
Այդ ընթացքում հաշվիչ մտած իմպուլսների քանակը՝

$$N_{x1} = f_0 \tau_1, \quad (3)$$

որտեղ $\tau_1 = (U_{x1}/U_{x1})T_0$ –ը երկրորդ տակտի առաջին ենթատակտի տևողությունն է, որը համապատասխանում է բեկյալի առաջին տեղամասին:

Հետևաբար, կստանանք՝ $N_{x1} = f_0 U_{x1}/U_{x1} T_0$, որտեղից հենանշային լարումը՝

$$U_{x1} = \frac{f_0 T_0 U_{x1}}{N_{x1}} : \quad (4)$$

Քանի որ U_{z1} –ի բանաձևում հայտնի են U_{x1} , N_{x1} և T_0 արժեքները, ապա, ընտրելով f_0 –ի արժեքը, կարող ենք հաշվել U_{z1} –ը, այնուհետև f_0 –ի արժեքը կմնա անփոփոխ և, ըստ դրա, կհաշվվեն մյուս տեղամասերի U_{zj} լարումները:

Երբ հաշվիչում ստացվում է N_{x1} թիվը, որը համապատասխանում է պահանջվող ոչ գծային կախվածությունը մոտարկող բեկյալի առաջին գագաթին, հաշվիչի ելքային կոդով միացվում է մուլտիպլեքսորի երկրորդ կապուղին և կերպափոխիչի մուտքին է տրվում բեկյալի երկրորդ տեղամասին համապատասխանող U_{z2} հենանշային լարումը: Կերպափոխիչում ինտեգրումը շարունակվում է այնքան ժամանակ, մինչև որ թվանշանային հաշվիչ մտած իմպուլսների քանակը հավասարվի բեկյալի երկրորդ գագաթին համապատասխող թվին: Այնուհետև թվանշանային հաշվիչի ազդանշանով միացվում է երրորդ կապուղին և այսպես շարունակ:

Բեկյալի երկրորդ տեղամասի հենանշային լարումը կորոշվի

$$U_{z2} = \frac{f_0 T_0 (U_{x2} - U_{x1})}{\Delta N} \quad (5)$$

բանաձևով, հետևաբար, բեկյալի j -րդ տեղամասի համար հենանշային լարումը՝

$$U_{zj} = \frac{f_0 T_0}{\Delta N} [(U_{xj} - U_{x(j-1)})]: \quad (6)$$

Կերպափոխման վերջում հաշվիչի ելքում ստանում ենք չափվող ոչ էլեկտրական մեծության կոդավորված արժեքը: Որպես օրինակ կատարենք գծայնացման պարամետրերի հաշվարկը TXX(L) ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչով աշխատող թվանշանային ջերմաչափի համար: Աղյուսակում բերված են մոտարկող բեկյալի գագաթներին համապատասխանող ջերմաէլեկտրոնները (E_i) և մոտարկման սխալանքների արժեքները, որտեղ մոտարկման քայլն ընտրված է 64(C ((t): Ընդունելով կոդի ամենացածր կարգի միավորի արժեքը 1(C, կստանանք ($N=64$: Ինտեգրման առաջին տակտի տևողությունն ընդունենք $T_0=20$ մկրկ, իսկ քվանտացնող իմպուլսների հաճախությունը՝ $f_0=50$ կՀց: Ընտրում ենք 591 KH3 տիպի 16 կապուղային մուլտիպլեքսոր, որի բաց կապուղու դիմադրությունը 250(50 Օմ է: Քանի որ բաց կապուղու նվազագույն դիմադրությունը 200 Օմ է, ապա կարելի է ճյուղերի դիմադրություններն ընտրելիս կապուղու դիմադրությունն ընդունել 250 Օմ, հետևաբար, այդ դեպքում դրա փոփոխության հետևանքով առաջացած սխալը չի գերազանցի 0,05%-ը: Ճյուղերի ռեզիստորներն ընտրում ենք C2-29B տիպի (2 կամ 3 հաջորդաբար միացված), որոնք արտադրվում են 0,05% թույլտվածքով, և որոնց դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը A խմբի համար չի գերազանցում $25(10^{-6}(C^{-1}$ –ը, իսկ $R_h=1$ կՕմ: Ընդունելով, որ դիմադրության թույլտվածքով և կապուղու դիմադրության փոփոխությամբ պայմանավորված սխալները միմյանցից անկախ ու պատահական են՝ 0,9 վստահելիության հավանականությամբ դիմադրության փոփոխությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$\Delta R \approx \sqrt{0,05^2 + 0,05^2} \approx 0,07\%: \quad (7)$$

Հետևաբար, մոտարկման յուրաքանչյուր տեղամասում լարման բաժանիչի դիմադրությունների փոփոխությամբ պայմանավորված սխալանքը չի գերազանցի (0,07%-ը: Կերպափոխման ընթացքում առանձին տեղամասերի սխալանքները, լինելով պատահական և միմյանցից անկախ, կգումարվեն նույն սկզբունքով, և չափվող մեծության տվյալ t_x արժեքի համար կստանանք.

$$\delta \leq 0,07\sqrt{n} \text{ , \% ,} \quad (8)$$

որտեղ $n=t_x/\Delta t$ -ն մոտարկման այն տեղամասի համարն է, որում գտնվում է չափվող ջերմաստիճանի արժեքը: Դիտարկված օրինակում $t(640^\circ\text{C}$ դեպքում $n=10$, և հարաբերական սխալանքի արժեքը կստացվի ((0,22%, որը կհամապատասխանի $(1,4^\circ\text{C}$ -ին: Գործնական չափումների համար այդպիսի սխալանքը թույլատրելի է:

Աղյուսակ

Գծայնացման տեղամասեր	$t, ^\circ\text{C}$	$E_j, \text{մՎ}$	$R_{\text{հաշվ. Օւժ}}$
1	0	0,000	148568
	32	2,085	
	64	4,279	
2	96	6,569	136162
	128	8,945	
3	160	11,399	127617
	192	13,921	
4	224	16,504	121605
	256	19,141	
5	288	21,825	117321
	320	24,550	
6	352	27,308	114691
	384	30,082	
7	416	32,895	112697
	448	35,711	
8	480	38,534	112314
	512	41,359	
9	544	44,182	112475
	576	46,999	
10	608	49,809	113041
	640	52,611	

1. **Кончаловский В.Ю., Купершмидт Я.А., Сыропятова Р.Я.** Электрические измерительные преобразователи. – М.: Энергия, 1967.-408 с.
2. **Куликовский К.Л., Шахкамян А.С., Шахкамян С.С.** Метод расчета схемы цифровой линеаризации функции преобразования измерительных устройств // Приборы и системы управления. -1978. - N8. –С.22-24.
3. **Мамиконян Х.Б.** Измеритель температуры с микропроцессорным управлением // Информационные технологии и управление. –2003. -Т.1, N1.- С.82-88.
4. **Шахкамян А.С.** Способ линеаризации статической характеристики датчика для цифровых приборов // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. науч. тр. -Ереван, 2000.– Вып.3.– С.108-111.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.04.2004 :

В.С. АЛЕКСАНИЯН, Д.А. ШАХКАМЯН

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассмотрен принцип построения аналого-цифрового преобразователя с нелинейной статической характеристикой. Приведены формулы для расчета параметров схемы преобразователя.

V.S. ALEKSANYAN, D.A. SHAGHGAMYAN

NONLINEAR ANALOG-DIGITAL CONVERTER OF CONSTANT CURRENT VOLTAGE

The principle of analog-digital converter construction with the nonlinear static characteristic is considered. The formulas for calculation parameters of the converter circuit are given.

Т.Р. АТОЯН

ГЕНЕРАЦИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СКАНИРУЮЩИХ ЦЕПОЧЕК СИСТЕМ НА ЧИПАХ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ШАБЛОНОВ

Предлагается методология создания тестовой среды, основанной на технике обработки шаблонов путем ее представления на языке CTL и специальной системе обработки шаблонов (TPS). Рассмотрены средства автоматизации генерации и интерпретации контента сканирующих цепочек для Систем на Чипах (SoC) с целью тестирования и отладки в соответствии со спецификациями пользователей.

Ключевые слова: системы на чипах, тестирование, сканирующие цепочки, шаблоны, обработка.

Благодаря последним достижениям в области проектирования и изготовления сверхбольших интегральных схем (СБИС, VLSI) возникло новое направление в технологии их создания – так называемые **системы на чипах** СнЧ (Systems on Chip - SoC). В основе этой технологии лежит интеграция в одной большой схеме готовых к повторному использованию компонентов (ядер) интеллектуальной собственности (IP component, cores). При этом, наряду с прочими, возникает проблема отладки и тестирования SoC, решаемая с помощью **сканирующих цепочек** (scan chain), через которые передается вся необходимая информация, предназначенная для этих целей.

Для защиты прав собственника IP компонент информация, необходимая для их применения, изготовления и тестирования, кодируется и сжимается, в частности, для уменьшения времени и цены тестирования, что, в свою очередь, порождает проблему ее декодирования и интерпретации при отладке и тестировании SoC в целом [1]. В процессе тестирования SoC, включая составляющие компоненты, создаются различные режимы и условия их проверок, при этом сами проверки и их результаты получаются через сканирующие цепочки (СЦ), и их содержимое (content) сравнивается с ожидаемым, которое формируется в процессе проектирования SoC [2].

В работе рассматриваются три аспекта указанной проблемы:

- интерпретация контента, получаемого через СЦ;
- генерация ожидаемого контента СЦ;
- сравнение полученных и ожидаемых контентов СЦ.

Каждая SoC имеет свою **архитектуру тестовой инфраструктуры** (ТИА), которая зависит от специфических особенностей SoC и входящих в него компонент, что и определяет структуру СЦ, их контент и отладочную информацию. Различные реализации ТИА, очевидно, влекут за собой различные структуры СЦ, их форматы и контент [3,4].

Гибкая **система обработки шаблонов** (TPS), имеющая средства представления различных форматов СЦ с помощью шаблонов, позволит легко их описать при новых различных реализациях ТИА. В случаях, когда СЦ имеют регулярную структуру и формат, они легко могут быть представлены с помощью шаблонов для TPS [5].

Проблема автоматической интерпретации и генерации/сравнения СЦ на базе спецификации пользователя может быть решена с помощью соответствующего расширения TPS. В этом случае применяется многоступенчатый подход [5,7], как это показано на рис.1, когда результат предыдущего шага подается на вход последующего и т.д., до получения конечного результата.

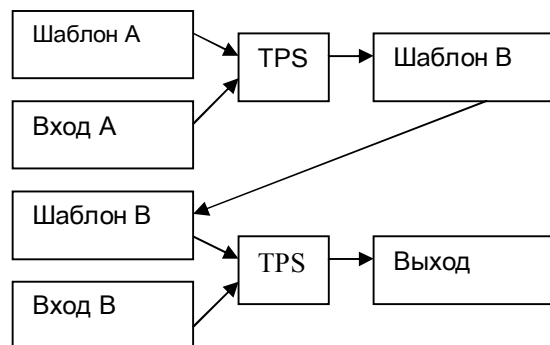


Рис. 1. TPS в режиме многоступенчатой обработки

В настоящей работе описываются представляемая пользователем спецификация, необходимая для интерпретации и генерации СЦ; шаги алгоритма их реализации, а также “тэги”, необходимые для реализации процедур генерации, интерпретации и сравнения шаблонов.

Интерпретация СЦ. Полное описание СЦ должно использоваться в качестве входной информации для этапов последующего синтаксического анализа (СА) и интерпретации их контента. Ниже рассматривается формат описания СЦ, который состоит из:

- архитектурной части, описывающей схемно реализованные элементы цепочек, такие как: сканирующие ячейки, соединительные входы и выходы, управляющие сигналы, синхронизаторы и др.;
- логической части, описывающей логическое применение информации, которую несут цепочки.

Формальное описание архитектурной части может производиться с помощью стандартных языков описания тестов, таких как BSDL [3] или CTL. Описание же логической части сильно зависит от конкретной реализации и может отличаться для различных SoC.

На рис.2 схематически представлен пример логического описания цепочки. Здесь последняя строка – algo_type/algo может определять тип

контента сегмента (двоичные числа, символы ASC II и др.) или спецификацию очередного алгоритма его декодирования.

```
Chain Description:
Chain_Length = n;
Number_of_Segments = m;
Segment_Names = a,b,c;

Segment Description:
Segment_Length = z;
Segment_algorithm = algo_type/algo;
```

Рис. 2. Формат описания СЦ

Для полного описания СЦ вводится некое расширение одного из принятых языков описания тестов, например CTL, который наиболее полно подходит для описания архитектуры СЦ. Необходимое расширение может представляться соответствующими средствами комментариев описания CTL. Назовем этот базовый язык вместе с целевым расширением – Chain Description Language (CDL). Описание на CDL представляет полную спецификацию СЦ, включающую: длину, число сегментов, имена сегментов и для каждого из них его длину и алгоритм интерпретации и др.

Таким образом, TPS должен быть выстроен так, чтобы распознавать вышеупомянутые описания и интерпретировать необходимые СЦ, что будет делаться путем СА контента и применением алгоритмов интерпретации, даваемых в описании цепочек.

Генерация СЦ. Эта задача может быть сведена к предыдущей путем описания алгоритма генерации контента СЦ на языке CDL и затем, посредством TPS, автоматической выработки требуемых результатов, т.е. генерирования ожидаемого контента.

Интерпретация СЦ / шаги алгоритма генерации. На основе представляемых пользователем SoC описания форматов СЦ TPS может синтезировать специальные шаблоны, включающие всю необходимую информацию для синтаксического анализа и интерпретации СЦ, или автоматически генерировать их ожидаемые (необходимые) контенты.

Алгоритмы интерпретации или генерации СЦ состоят из следующих шагов:

1. *Представление спецификации СЦ.* Пользователь SoC, исходя из своих специфических требований, создает полную спецификацию СЦ в описанном выше формате, включая алгоритмы интерпретации и генерации контента.
2. *Генерация шаблонов синтаксического анализа.* TPS генерирует специальные шаблоны, с помощью которых осуществляется СА

контента СЦ и генерируется их интерпретация или создается ожидаемый новый контент.

3. *Генерация декодированных или ожидаемых СЦ.* На этом шаге TPS обрабатывает шаблоны предыдущего шага и входные данные пользователя, в результате чего синтезируется интерпретированный или сгенерированный контент СЦ.

Графическое представление описанных выше шагов приведено на рис.3.

Указанные процедуры включают предварительный этап, обозначенный шагом 0, где представляются шаблоны для СА нового языка CDL, на котором производится описание цепочек. Далее пользователь дает описание цепочек и в качестве выхода на шаге 1 получает их внутреннее представление. Шаг 2 производится автоматически, т.е. не требует вмешательства потребителя, и на его выходе получают два типа шаблонов – для интерпретации и генерации контента СЦ. На завершающем шаге 3 производится конечная интерпретация или генерация контента СЦ.

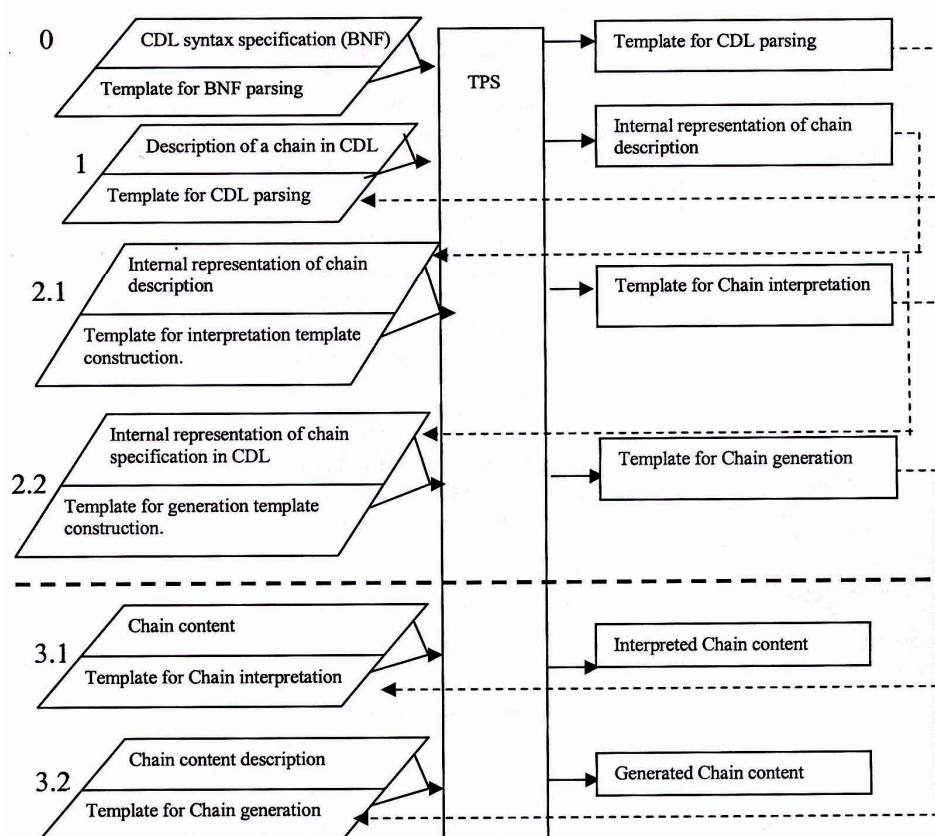


Рис. 3. Алгоритм интерпретации и генерации контента СЦ

ТСХЛ коды, шаблоны. TPS оперирует шаблонами, описанными на языке ТСХЛ [5], который является расширением языка XML. XML имеет иерархическую структуру и удобен для описания иерархических объектов. В нашем случае СЦ благодаря ТИА имеют регулярную структуру, следовательно, легко описываются через ТСХЛ. ТСХЛ имеет также все необходимые средства для обработки входных и представления выходных текстов.

Приведем краткое описание языка.

ТСХЛ разработан для представления логики преобразования, СА входных текстов, их преобразования в выходные и состоит из функциональных “тэгов” и функций, используемых в выражениях.

Типы данных: “str” – строки символов, “int” – целые числа, “real” – числа с плавающей запятой. Заметим, что все величины хранятся как строки символов. Это значит, что все величины преобразовываются в соответствующее текстовое представление, а все операции производятся над элементами текста. Целые числа и вещественные величины должны быть преобразованы в текстовые представления, а булевые выражения – в символьные строки “да”, “нет”.

Объектные “тэги”

<text> - определяет порцию текстов, которая должна соответствовать исходному тексту. Может определять также порцию текста, которая должна преобразовываться в выходной текст.

<var> - специфицирует переменные с замещением и без него.

<list> - специфицирует наборы величин.

“Тэги” процесса СА специфицируют:

<multiple> - блок текста, который может включать исходный код несколько раз;

<optional> - блок текста, в котором исходный код может быть опущен;

<case> and <or> - блоки, один из которых должен содержать исходный код;

<if>, <else> - “теги” описания условий;

<notordered>, <item> - блоки, в которых последовательность элементов не имеет значения.

Фрагмент описания шаблона СА СЦ приведен на рис.4.

```
//Scan Chains
<text src="scanChain"/>
<text dest=" &lt;ScanChains&gt;\n"/>
<multiple>
<case>
<or>
<text src="ch_"/>
<var name="chain_name" stop="["/>
<text src="["/>
<var name="signal_name" stop=","/>
<var name="irev" stop=","/>
<text src=","/>
<text dest=" &lt;chain name=&quot;@chain_name@&quot;&gt;,@signal_name@&lt;/chain&gt;\n"/>
</or>
<or>
<text src="#"/>
<var name="irev" stop="#"/>
<text src="#"/>
</or>
</case>
</multiple>
<text src="end" dest=" &lt;/ScanChains&gt;\n"/>
```

Рис. 4. Шаблон для СА СЦ

Поскольку шаблоны описаны на одном и том же языке (TCXL), как это показано в [5], и необходимы для решения указанной выше проблемы, их верификация может быть произведена автоматически [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Douglas Kay, Samiha Mourad.** Compression Techniques for Interactive BIST Application //Proceedings of 19-th VLSI Test Symposium (VTS), April-May, 2001. - P. 9-15.
2. **Karim Arabi.** Logic BIST and Scan Test Techniques for Multiple Identical Blocks //Proceedings of 20-th VLSI Test Symposium (VTS), April-May, 2002. - P. 60-65.
3. Supplement to IEEE Std. 1149.1-1990. IEEE Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture //IEEE Standards Electronic Library.
4. **Rohit Kapur.** CTL for Test Information of Digital ICs /Kluwer Academic Publishers. - 2003.
5. **Baghdasaryan S., Shoukourian S.** An Approach for CTL Implementation //Digest of Papers of IEEE Workshop on Testing Embedded Core-Based Systems (TECS), Hyatt Regency Hotel Monterey, CA, May 2002. - P. 43-49.
6. **Atoyan T., Baghdasaryan S.** Verification of templates in CTL implementation //Proceedings of Computer Science and Information Technologies (CSIT), Conference, Armenia Sept., 2003. - P. 395-399.
7. **Atoyan T.** Using a Template Processing System for Easy CTL Coding and Debugging. A Case of Study //Digest of Papers of IEEE Test Resource Partitioning Workshop held in conjunction with VLSI Test Symposium (VTS) Conference, Napa, California April, 28-29. – 2004.

ИПИА НАН РА. Материал поступил в редакцию 04.01.2005.

Տ.Ռ.ԱՌՈՅԱՆ

ԶԻՊԵՐԻ ՎՐԱ ՀԻՄՆՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԿԱՆԱՎՈՐՈՂ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ԳԵՆԵՐԱՑԻԱ ԵՎ ԻՆՏԵՐՊՐԵՏԱՑԻԱ՝ ՇԱՔԼՈՆՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Առաջարկվում է տեստային միջավայրի ստեղծման՝ շաբլոնների մշակման տեխնիկայի վրա հիմնված մեթոդոլոգիա՝ CTL լեզվով նրա ներկայացման և շաբլոնների մշակման հատուկ համակարգի (TPS) միջոցով: Դիտարկված են չիպերի վրա հիմնված համակարգի (SoC) սկանավորող շղթաների կոնտենտի գեներացիայի և ինտերպրետացիայի ավտոմատացման միջոցները՝ նրանց տեստավորման և կարգաբերման համար՝ օգտագործողի դասակարգմանը համապատասխան:

T. R. ATOYAN

SoC SCAN CHAIN GENERATION AND INTERPRETATION VIA TPS

A methodology of a testing environment design based on template processing technique was proposed for implementation of CTL and a special Template Processing System based on the methodology was developed. The current paper focuses on an automatic generation and interpretation of custom SoC debug scan chains via TPS. A special set of templates, an extension to TPS, is built to facilitate the solution of the problem.

Г.К. ГАРДИШЯН, Л.Л. АРУТЮНЯН

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ
ДАННЫХ В IP СЕТЯХ

Предлагается усовершенствованный алгоритм диспетчеризации задач обработки звуковых данных в системах реального времени на основе специальных цифровых сигнальных процессоров. Исследованы алгоритмы обработки звуковых данных и возможности их модификации. Разработана модель системы, на основе которой представлены результаты по улучшению качества обработки данных в условиях пиковой нагрузки при применении предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: задачи реального времени, качество обработки, адаптивный фильтр, компрессия звука, цифровой сигнальный процессор.

Введение. Одним из основных способов обработки звуковых данных в системах VoIP является использование систем на базе специальных цифровых сигнальных процессоров (DSP)[1]. При этом для обеспечения максимальной пропускной способности системы с соблюдением режима реального времени особую роль играет вопрос оптимального управления и использования системных ресурсов. В общем случае известны методы диспетчеризации с жестким [2] и мягким [3] сохранением режима реального времени. Первый подход, как правило, характеризуется неполным использованием системных ресурсов, что приводит к уменьшению пропускной способности системы, а при втором подходе возможно ощутимое снижение качества обработки в моментах пиковой нагрузки.

В данной работе, с целью максимального повышения пропускной способности при сокращении нарушений режима реального времени, предлагается усовершенствованный подход для диспетчеризации задач в системах обработки данных реального времени с динамической адаптацией потребления ресурсов и качества обработки звуковых данных. Подход основан на возможности сокращения потребления ресурсов для отдельных задач за счет некоторого допустимого снижения качества обработки.

Алгоритм. Для описания алгоритма введем следующие обозначения. Пусть $S(P)$ - система обработки звуковых данных с диспетчеризацией задач в реальном времени, где в течение системного периода P последовательно запускаются задачи из множества активных задач $\Omega_a = \{\omega_{a0}, \omega_{a1}, \dots, \omega_{aN-1}\}$, которое является подмножеством всех возможных задач $\Omega = \{\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{N-1}\}$. Каждая задача ω_i из множества Ω характеризуется набором $\{T_i, C_i, L_i, D_i\}$, где T_i - период активизации данной задачи (в нашем случае кратный периоду P); C_i - время выполнения задачи в течение периода P ; L_i - множество входных параметров выполнения для данной задачи; D_i - множество задач, зависящих от выполнения данной задачи. Загруженность системы U определяется как

$$U = \sum_{i=0}^M C_{ai} / T_{ai}, \quad (1)$$

где M - количество активных задач в данный момент времени.

Таким образом, для выполнения условия реального времени требуется, чтобы $U < 1$. Каждая задача потребляет R процессорных ресурсов и обеспечивает качество обработки Q . При этом для отдельных задач можно сократить потребление процессорных ресурсов как динамическим переопределением управляющих параметров L_c , так и созданием и применением нескольких реализаций этих задач.

Приведем пример. В настоящее время широко используется алгоритм эхо-подавления на базе адаптивных фильтров (рис. 1), где s - сигнал с дальнего конца; η - помехи данного канала; x - результирующий сигнал, поступающий на вход фильтра; d - эталонный сигнал (в данном случае входной сигнал с голосового порта); y - выходной сигнал и ε - ошибка адаптации.

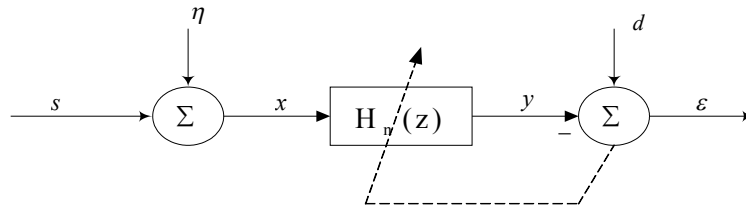


Рис. 1. Схема работы типичного адаптивного фильтра

Для адаптации фильтра обычно используется алгоритм LMS [4], что приводит к модификации коэффициентов согласно следующему выражению:

$$a_k(i+1) = a_k(i) + 2\beta E[e(i)y(i-k)],$$

где β - постоянный коэффициент; e - ошибка адаптации.

С целью оценки относительного качества работы алгоритма вычисляем индекс PESQ [5] для сигналов x и ε при некотором эталонном входном сигнале x с изменением степени фильтра:

$$Q = \text{PESQ}(\eta, y_\varepsilon), \quad (2)$$

где y_ε - выход адаптивного фильтра при эталонном входном сигнале x .

На основании (2) получаем картину изменения качества обработки при уменьшении степени фильтра N (рис. 2).

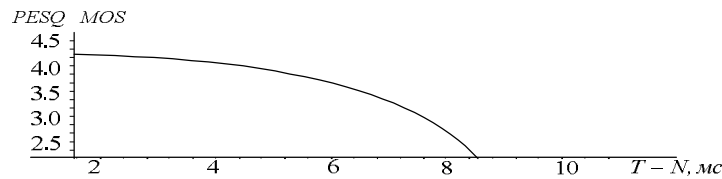


Рис. 2. Индекс PESQ для остаточного эхо-сигнала типичного голосового порта

Необходимо произвести анализ алгоритмов в данной конкретной системе на наличие функциональных блоков, где возможна подобная модификация. Далее для каждой конкретной реализации в виде программного модуля $f_{\omega j}$ необходимо оценить качество обработки и потребление системных ресурсов. То есть, для каждой задачи необходимо получить соответствующую запись, содержащую следующую информацию: $R=\{L, C, Q\}$, где L - множество конкретных управляющих параметров для данной реализации, C - потребление процессорного времени, Q - качество обработки по шкале PESQ. Таким образом, для каждой задачи ω_i таблица R отражает зависимость потребления ресурсов и качества обработки от управляющего параметра L . При этом очевидно, что чем больше записей содержит таблица R , тем выше точность алгоритма. Кроме того, следует учесть, что между задачами могут существовать зависимости по данным, то есть входные данные для выполнения некоторой задачи ω_i должны быть предварительно обработаны задачей ω_j .

Для каждого периода выполнения система должна последовательно выполнять M задач из множества Ω_a . Проблема состоит в выборе оптимальной последовательности. Блок - схема алгоритма приведена на рис. 3.

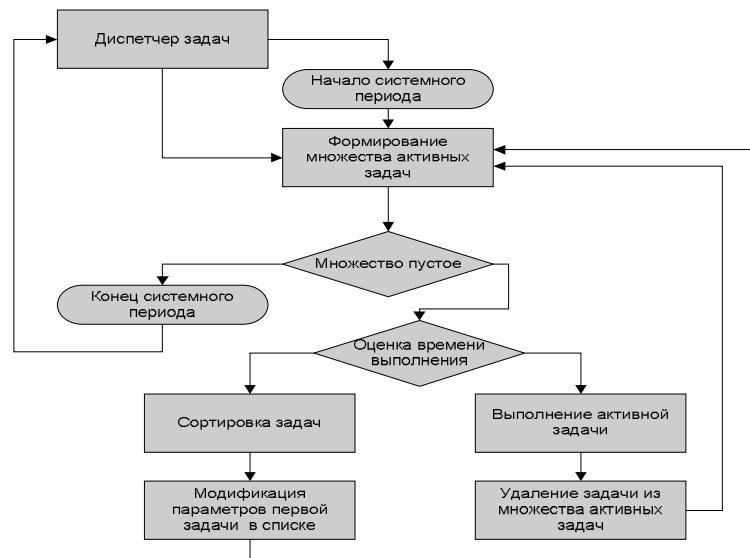


Рис. 3. Схема диспетчеризации задач по предложенному алгоритму

Выполняем следующие шаги.

1. От управляющего модуля диспетчер задач получает множество активных задач Ω_a для очередного периода выполнения.
2. Для данного конкретного набора реализаций оцениваем потребление системных ресурсов по формуле (1).
3. Если значение не превышает допустимое, то переходим к шагу 6.

4. Сортируем множество активных задач в сторону уменьшения разности потребления ресурсов при одинаковом изменении качества обработки, учитывая зависимости задач по данным следующим образом: при изменении качества обработки для некоторой задачи на δQ_{ak} общесистемное ухудшение качества определяем как

$$\partial Q_{ak} = \partial Q_k + \sum_{\partial Q_i \in D_k} \partial Q_i ,$$

где δQ_i - соответствующее изменение качества обработки задачи i , зависящее от задачи k , а D_k - множество задач, зависящих от задачи k .

5. Модифицируем параметры первой задачи в получившемся списке и переходим к шагу 2.
6. Запускаем очередную реализацию из множества Ω_a . После завершения работы оцениваем потребление и остаток системных ресурсов и удаляем выполненную задачу из списка Ω_a .

Реализация. Апробация алгоритма была проведена на базе цифровых сигнальных процессоров от компании Texas Instruments серий TMS320C67XX, TMS320C62XX и TMS320C55XX. Соответствующим образом модифицированы и использованы реализации алгоритмов эхо-подавления, распознавания тоновых сигналов на базе адаптивных фильтров и компрессии звука по стандартам G.729 [6] и G.729a [7]. В системе было установлено максимальное количество соединений с использованием трех вышеуказанных алгоритмов. При этом максимальное число соединений для конкретного процессора вычислялось по формуле

$$N = \left\lfloor P / \sum C_i \right\rfloor.$$

Для процессоров TMS320C6711B и TMS320C5502, согласно вышеприведенным таблицам, максимальное число допустимых соединений равно соответственно $N_{6711B}=7$ и $N_{5502}=6$. В состоянии максимальной загруженности системы периодически запускалась некоторая экспериментальная задача ω_{test} с потреблением ресурсов $(P - \sum C_i) + dP$, где приращение dP колебалось от 5% до 20% P . На рис. 4 приведены данные, показывающие сравнительные результаты применения предлагаемого алгоритма адаптации реализаций (PESQ MOS 1) и стандартного подхода (PESQ MOS 2) в периодах активности задачи ω_{test} .

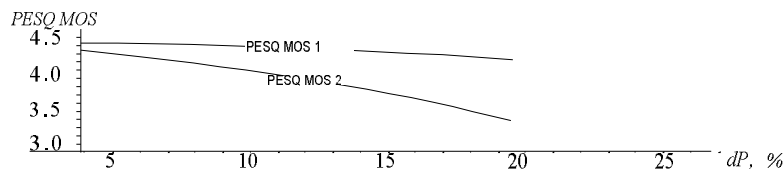


Рис. 4. Зависимость качества обработки от величины загрузки системы

Заключение. Применение предлагаемого алгоритма позволяет улучшить качество обработки звуковых данных реального времени в условиях максимальной загрузки системы по сравнению с существующими методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kester W.** Mixed-signal and DSP Design Techniques – Newnes. – 2002. -368 p.
2. **Liu C., Layland J.** Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment // Journal of the ACM (JACM). – 1973. - P. 46-61.
3. **Banachowski S., Brandt S.** The BEST scheduler for integrated processing of best-effort and soft real-time processes // Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN '02). – 2002. - P. 46–60.
4. **Deosthali A., McCaslin S., Evans B.** A Low-Complexity ITU-Compliant Dual Tone Multiple Frequency Detector // IEEE Trans. On Signal Processing. – 2000. - P. 911-916.
5. **ITU-T Recommendation P.862.** Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs. – 2001.
6. **ITU-T Recommendation G.729.** Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS ACELP). – 1996.
7. **ITU-T Recommendation G.729 – Annex A.** Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS ACELP), Annex A: Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec. – 1996.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.11.2004.

Հ.Կ. ԳԱՐԴԻՇՅԱՆ, Լ.Լ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

IP ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԶՄՅՆԱՅԻՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՄԱՆ ՄԵԿ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Առաջարկվում է ձայնային տվյալների մշակման խնդիրների կառավարման կատարելագործված ալգորիթմ՝ հաստուկ թվային ազդանշանային պրոցեսորների հիման վրա: Հետազոտված են ձայնային տվյալների մշակման ալգորիթմերը և դրանց ձևափոխման հնարավորությունները: Մշակված է համակարգի մոդել, որի միջոցով ցույց է տրված տվյալների մշակման որակի բարձրացումը ծայրահեղ բեռնավորման պայմաններում՝ առաջարկվող սխեմային կիրառելու դեպքում:

H.K. GARDISHYAN, L.L. HAROUTYUNYAN

AN APPROACH TO ORGANIZE VOICE DATA PROCESSING SYSTEMS IN IP NETWORKS

An enhanced algorithm is suggested for voice data processing task scheduling based on special digital signal processor in real time systems. Voice data processing algorithms and their modification possibility are studied. A model of the system illustrating the improvement of the data processing quality at the peak load in case of using the suggested algorithm is developed.

Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ, Լ.Ա. ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ

ԽԱՌՆՈՒՐԴԱՅԻՆ ԽՈՐԸ ԵՎ ԿՊԶՈՒՆ ՄԱԿԱՐԴԱԿՆԵՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄ-ԿԱՐԲԻՂԱՅԻՆ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ՏՐԱՆՁԻՍՏՈՐԻ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՅՈՒՆՆԵՐԸ

Տեսականորեն հետազոտվել է Շոտկիի արգելքով կառավարվող SiC-ային դաշտային տրանզիստորի հաղորդականության և դիքության կախվածությունը կիրառված լարումներից և բյուրեղի մյուս էլեկտրաֆիզիկական պարամետրերից, երբ ուղետարի տիրություն հարստացնող խառնուրդները հանդիսանում են խորը և կիսահաղորչի արգելման գոտում առկա են կաչուն մակարդակներ (լիցքակիրների թակարդներ): Բնութագրերի ուսումնասիրման և հաշվարկման համար առաջարկվել է նոր, ավելի ընդհանուր մոդել, որն ավելի ճշգրիտ է ներկայացնում իրական սիլիցիում-կարբիդային տրանզիստորներում ընթացող երևույթները:

Առանցքային բառեր. Խառնուրդային խորը մակարդակ, կաչուն մակարդակ (էլեկտրոնային թակարդներ), ելքային հաղորդականություն, դիքություն:

Ինչպես նշվեց, վերջին տասնամյակում կիսահաղորդչային էլեկտրոնիկայի բնագավառի և տեսաբան և փորձարար հետազոտողների ուշադրության կենտրոնում է գտնվում SiC-ը որպես՝ 21-րդ դարի հեռանկարային նյութ, ինչպես ուժային, այնպես էլ բարձրհաճախականային ու բարձրջերմաստիճանային էլեկտրոնիկայի բնագավառների համար [1,2]: Այս նյութի տարբեր այլափոխությունների վրա ձևավորված մեծ թվով կիսահաղորդչային, այդ թվում նաև Շոտկիի արգելքով կառավարվող և մետաղ-մեկուսիչ-կիսահաղորդիչ կառուցվածքներով տրանզիստորների ստացումն ու բնութագրերի հետազոտումը գտնվում են նախնական ուսումնասիրման փուլում և կարիք ունեն հետագա տեսական և փորձնական հետազոտությունների:

SiC-ային կիսահաղորդչային տարբեր սարքերին նվիրված գիտական գրականության մեջ ներկայումս հայտնի բոլոր քննարկումներում ընդունվում է, որ հարստացնող խառնուրդներն առաջացնում են ծանծաղ մակարդակներ և սենյակային ջերմաստիճաններում լրիվ իոնացված են: Մյուս կողմից, հետազոտություններում բոլորովին հաշվի չի առնվում հատկապես լայն արգելման գոտիով (ինչպիսին SiC-ն է) կիսահաղորդիչներին հատուկ մի հանգամանք, այն է՝ արգելման գոտում անխուսափելիորեն գոյություն ունեցող կաչուն և թակարդային մակարդակների առկայությունը:

Հայտնի է, օրինակ, որ 6H-SiC-ը բերիլիումով (Be) և բորով (B) հարստացնելիս, արգելման գոտում առաջանում են խոռոչային թակարդներ $E_v+0,52$ էՎ և $N_t \sim 3 \cdot 10^{14} \text{ սմ}^{-3}$ խտությամբ [3-7], իսկ D կենտրոններն առաջացնում են կաչուն մակարդակներ ($E_v+0,6$ էՎ և $Sp \sim 10^{14} \text{ սմ}^{-2}$) գրավման կտրվածքով: SiC-ում խորը մակարդակներ են առաջացնում նաև Cd, Zn, Ga: Հաստատվել է, օրինակ, որ Cd-ը առաջացնում է երկու ակցեպտորային մակարդակներ՝ $E_v+0,9$ էՎ ($Sp \sim 2 \cdot 10^{14} \text{ սմ}^{-2}$) և $E_v+1,19$ էՎ ($Sp \sim 2 \cdot 10^{16} \text{ սմ}^{-2}$): SiC-ի մեջ խորը մակարդակներ են առաջացնում նաև մի շարք մետաղներ, որոնք հիմնականում օգտագործվում են որպես օհմական կոնտակտներ [3-7]: Բսկ հիմնական դոնորային խառնուրդ հանդիսացող ազոտը, օրինակ, 6H SiC (n) առաջացնում է երեք դոնորային մակարդակներ,

համապատասխանաբար 0,17 էՎ, 0,2 էՎ և 0,23 էՎ էներգետիկ հեռավորությամբ, բորը՝ 0,7 էՎ (ակցեպտոր), Al-ը՝ 0,25 էՎ և այլն: Արգելման գոտում մակարդակներ են առաջացնում նաև կառուցվածքային արատները: Հայտնի է [3-7], որ 3C-SiC-ում էպիտաքսիալ աճեցման ընթացքում առաջանում են մինչև 10^7 դիսլոկացիաներ 1 սմ^2 -ում, որոնց առաջացած մակարդակները ընկած են $E_c-0,34$ էՎ և $E_c-0,68$ էՎ էներգետիկ հեռավորությամբ: Նեյտրոններով ռմբակոծման արդյունքում 3C-SiC-ում առաջանում են $E_c-0,49$ էՎ էներգետիկ հեռավորության մակարդակներ: Սկանդիումը առաջացնում է դոնորային մակարդակներ 6H-SiC-ում $E_c-0,52$ էՎ հեռավորությամբ: Ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ, ինչպես մետաղները, այնպես էլ ոչ մետաղական խառնուրդներն առաջացնում են գերազանցապես խորը մակարդակներ: Այդ մակարդակները, ինչպես հայտնի է [8-11], հիմնականում ազդում են լիցքակիրների շարժունակության և կյանքի տևողության վրա և, դրանով իսկ, SiC-ային սարքերի գրեթե բոլոր ելքային բնութագրերի վրա:

Մեր կարծիքով, վերը նշված ընդունելությունները ոչ ճշգրիտ մոտեցումներ են SiC-ային սարքերի համար: Այդ առումով, մեր կողմից առաջարկվել է Շոտկիի արգելքով կառավարվող դաշտային տրանզիստորների բնութագրերի հետազոտման նոր մոդել՝ հաշվի առնելով ինչպես վերը նշված մակարդակների առկայությունը, այնպես էլ լիցքակիրների շարժունակության՝ էլեկտրական դաշտից ունեցած կախվածությունն ու փականի տակ պոտենցիալի բաշխման երկչափայնությունը: Հայտնի է [8-11], որ բարձր հաճախականային միջակայքում աշխատանքային ռեժիմում դաշտային տրանզիստորի արագագործությունը բնութագրող հիմնական պարամետրերն արտաբերի հաղորդականությունն ու տրանզիստորի տարբեր տիրույթների միջև փոխադարձ ունակություններն են: Հետազոտվել են SiC-ային դաշտային տրանզիստորի հաղորդականություններն ու դրանց կախվածությունները ինչպես ռեալ բյուրեղների պարամետրից (խառնուրդների խորը և կաշուն մակարդակների խտություն), այնպես էլ փականի ու արտաբերի լարումներից, լիցքակիրների՝ ուղեւարում հազեցման արագության հասնելու երևույթներից:

Տեսական մաս: Դիտարկենք Շոտկիի արգելքով կառավարվող SiC-ին ուղեւարով դաշտային տրանզիստորի երկտիրությանի մոդելը, ընդունելով, որ ուղեւարի տիրույթում, կիսահաղորդչի հարստացնող դոնորային Nd խտությամբ խառնուրդները խորն են (սենյակային ջերմաստիճաններում լրիվ իոնացված չեն), առկա են նաև էլեկտրոնային թակարդներ, որոնք էլեկտրոններ կարող են փոխանակել հիմնականում դոնորային մակարդակների և, այնուհետև՝ հաղորդականության գոտու հետ:

Արտաբերի հոսանքի համար ստացված ատառապտությունից, գծային տիրույթում տրանզիստորի դիքության համար կստանանք՝

$$g_{m1} = \left(\frac{\delta I_d}{\delta U_g} \right)_{U_d} \frac{2I_p}{A_0} \left\{ A_1 h_d \left(\frac{\delta h_d}{\delta U_g} \right) + A_2 h_s \left(\frac{\delta h_s}{\delta U_g} \right) \right\}, \quad (1)$$

$$\text{որտեղ } A_1 = 3(1 - h_d) - Bh_d^3 + Bh_s^2(3h_d - 2h_s), A_2 = Bh_d^2(3h_s - 2h_d) - 3(1 - h_s) - Bh_s^3,$$

$$A_0 = [1 + B(h_d^2 - h_s^2)]^2,$$

$$h_s = \frac{x_1}{\ell} = \frac{\Psi}{\sqrt{1-b}} \sqrt{\frac{4(U_{bi} + U_g)}{U_{bi}}} + \frac{\Psi}{\sqrt{1-b}} \left[\gamma(1 - H_t) - H_t \sqrt{\frac{4(U_{bi} + U_g)}{U_{bi}}} \right],$$

$$h_d = \frac{\Psi}{\sqrt{1-b}} \sqrt{\frac{4(U_{bi} + U_g + U_d)}{U_{bi}}} + \frac{\Psi}{\sqrt{1-b}} \left[\gamma(1-H_t) - H_t \sqrt{\frac{4(U_{bi} + U_g + U_d)}{U_{bi}}} \right]:$$

Օգտվելով h_s և h_d արտահայտություններից, $\left(\frac{\delta h_s}{\delta U_g}\right)$, $\left(\frac{\delta h_d}{\delta U_g}\right)$ -ի համար, համապատասխանաբար կստանանք.

$$K_2 = \left(\frac{\delta h_d}{\delta U_g}\right)_{U_d} = \frac{2K_1^2}{h_d - \gamma K_1 \sqrt{U_{bi}}}, \quad K_3 = \left(\frac{\delta h_s}{\delta U_g}\right)_{U_d} = \frac{2K_1^2}{h_s - \gamma K_1 \sqrt{U_{bi}}}, \quad (2)$$

որտեղ $K_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{2\varepsilon_1}{qN_d(1-b)(1-0,5\beta_t)}}$, l -ը ուղետարի հաստությունն է, $\varepsilon_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_{SiC}$ -ն SiC-ի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը, U_{bi} -ն փականի տակ կոնտակտային պոտենցիալների տարբերությունը, N_t -ն կաշուն մակարդակների խտությունը,

$$\beta_t = \sqrt{1+4\beta} - 1, \quad \beta_t = \sqrt{1+4\beta} - 1, \quad \beta = N_t / N_d:$$

Տեղադրելով (2)-ը (1)-ի մեջ, կստանանք.

$$g_{m1} = \frac{2I_p}{A_0} \{A_1 h_d K_2 + A_2 h_s K_3\}: \quad (3)$$

ՎԱԲ-ի գծային տիրույթում արտաբերի (ելքային) հաղորդականության համար կստանանք.

$$g_{01} = \left(\frac{\delta I_d}{\delta U_d}\right)_{U_g} = \left\{ \frac{2I_p h_d [3(1-h_d) - 3B h_d (h_d^2 - h_s^2) + 2B(h_d^3 - h_s^3)]}{A_0} \right\} \times$$

$$\left(\frac{\delta h_d}{\delta U_d}\right)_{U_g}$$

$$g_{01} = \frac{2I_p h_d}{A_0} K_2 \{[3(1-h_d) - 3B h_d (h_d^2 - h_s^2) + 2B(h_d^3 - h_s^3)]\}: \quad (4)$$

(3) և (4) հավասարումների միջոցով հետազոտվել է հաղորդականությունների կախումը խառնուրդային խորը և “թակարդային” պարամետրերից, ուղետարի երկրաչափական չափսերից և կիրառված U_g , U_d լարումներից (նկ.1, նկ.2): Օգտվելով հազեցման (L_2) տիրույթի համար հազեցման հոսանքի և U (L_1 , h_d) արտահայտությունից, լիցքակիրների արագության հազեցման տիրույթում ելքային g_{os} հաղորդականության համար կստանանք.

$$g_{0s} = \left(\frac{\delta I_{ds}}{\delta U_d}\right)_{U_g} = -qN_d(1-b)(1-0,5\beta_t) z l \mu(L_2) E(L_2) \left(\frac{\delta h_d}{\delta U_d}\right)_{U_g}, \quad (5)$$

որտեղ Z -ը ուղեւորի լայնությունն է, $E(L_2)=E_s$ -ը՝ հազեցման տիրույթում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, μ_0 -ն՝ ցածր լարվածությամբ դաշտում հաստատուն շարժունակությունը, $\mu(L_2)$ -ը՝ հազեցման տիրույթում լիցքակիրների շարժունակությունը [11], V_s -ը՝ SiC-ում էլեկտրոնների հազեցման արագությունը ($V_s \sim 2 \cdot 10^7$ սմ/վ): Օգտվելով աղքատացած շերտի՝ հազեցման տիրույթի սկզբին համապատասխանող h_1 հաստության՝

$$h_1 = K_1 \left[\gamma \sqrt{U_{bi}} + \sqrt{\gamma^2 U_{bi} + 4(U_{bi} + U_g + U(L_2))} \right], \quad (6)$$

և h_1 -ի, L_1 -ի և $U(L_1, h_1)$ -ի համար ստացված արտահայտություններից և, հաշվի առնելով, որ

$$\left(\frac{\delta h_1}{\delta U_d} \right)_{U_g} = \frac{\delta h_1}{\delta U(L_1)} \frac{\delta U(L_1)}{\delta U_d},$$

(5) հավասարումը կներակայցնենք հետևյալ տեսքով՝

$$g_{os} = -qN_d(1-b)(1-0,5\beta_i)\chi zlv_s \frac{\delta h_1}{\delta U(L_1)} \frac{\delta U(L_1)}{\delta U_d} : \quad (7)$$

Ինչպես հետևում է (6) և (7) հավասարումներից, g_{os} -ը բարդ կերպով է կախված U_g -ից, U_d -ից, h_s -ից, h_d -ից և h_1 -ի միջոցով: Հաշվի առնելով, որ

$$\left(\frac{\delta U(L_1)}{\delta U_d} \right) = \frac{\delta U(L_1)}{\delta h_1} \frac{\delta h_1}{\delta U_d} + \left(\frac{\delta U(L_1)}{\delta L_1} \right) \frac{\delta L_1}{\delta h_1} \frac{\delta h_1}{\delta U_d} \quad (8)$$

և կատարելով մաթեմատիկական ածանցման և ձևափոխման գործողությունները, g_{os} -ի համար կստանանք՝

$$\begin{aligned} g_{os} &= -qN_d(1-b)(1-0,5\beta_i)\chi zlv_s \frac{\delta h_1}{\delta U(L_1)} f(U_g, U_d) = \\ &= -\frac{qN_d(1-b)(1-0,5\beta_i)\chi zlv_4 K_1^4}{(h_1 - \gamma K_1 \sqrt{U_{bi}})^2} f(U_g, U_d) \end{aligned} \quad (9)$$

որտեղ

$$\begin{aligned}
f(U_g, U_d) &= \frac{\delta U(L_1)}{\delta h_1} + \left(\frac{\delta U(L_1)}{\delta L_1} \right) \frac{\delta L_1}{\delta h_1} = \\
&= \frac{2E_s l}{\pi} sh \left[\frac{\pi(L-L_1)}{2h_1 l} \right] + \frac{h_1}{K^2} - \frac{E_s(L-L_1)}{h_1} ch \left[\frac{\pi(L-L_1)}{2h_1 l} \right] - \\
&- E_s ch \left[\frac{\pi(L-L_1)}{2h_1 l} \right] F(U_g, U_d), \\
F(U_g, U_d) &= \frac{\delta L_1}{\delta h_1} = BL \left\{ \frac{2h_1(1-\chi)}{\chi} - \frac{[(h_1^2 - h_s^2) - \frac{2}{3}(h_1^3 - h_s^3)]}{\chi(i-h_1)^2} \right\} :
\end{aligned}$$

Արագության հազեցման տիրույթում g_{ms} դիքության համար կատանանք.

$$\begin{aligned}
g_{ms} &= \left(\frac{\delta I_d}{\delta U_g} \right)_{U_d} = -qN_d(1-b)(1-0,5\beta_i)zlv\mu(L_2)E(L_2) \left(\frac{\delta h_1}{\delta U_g} \right)_{U_d} = \\
&= -qN_d(1-b)(1-0,5\beta_i)\chi zlv_s \left(1 + \frac{\delta U(L_1)}{\delta U_g} \right) \left(\frac{\delta h_1}{\delta U_g} \right)_{U_d}
\end{aligned} \quad (10)$$

կամ

$$g_{ms} = -\frac{qN_d(1-b)(1-0,5\beta_i)\chi zlv2K^2}{(h_1 - \gamma K_1 \sqrt{U_{bi}})^2} \left[1 + \frac{2K^2}{(h_1 - \gamma K_1 \sqrt{U_{bi}})} f(U_g, U_d) \right]. \quad (11)$$

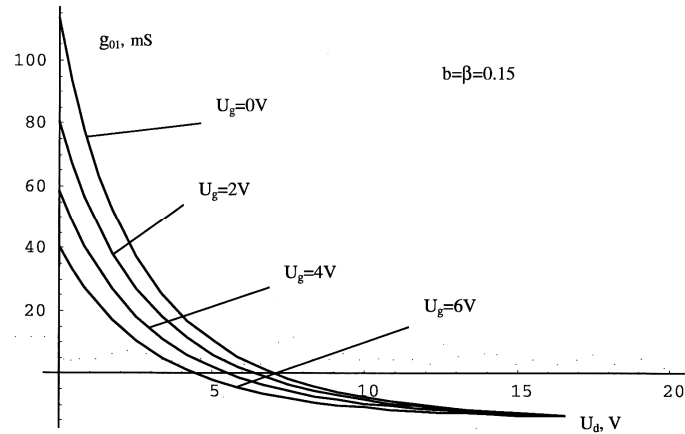
g_{0s} -ից և g_{ms} -ի կախվածությունները խառնուրդային, թակարդային պարամետրերից և կիրառված լարումներից բերված են նկ. 1-2-ում:

Արդյունքների քննարկում Տեսական հաշվարկները կատարվել են 4H-SiC-ային (6H-SiC-ային) Շոտկիի արգելքով կառավարվող դաշտային տրանզիստորների հետևյալ պարամետրերի համար. ($N_d=1,7 \cdot 10^{17} \text{ սմ}^{-3}$, $L=0,3 \text{ մկմ}$, $l=0,26 \text{ մկմ}$, $Z=0,0332 \text{ սմ}$, $v_{in}=0,8 \cdot 10^7 \text{ սմ/վ}$, $\varepsilon=9,7$, $v_s=2 \cdot 10^7 \text{ սմ/վ}$, $\Delta E_t=0,26 \text{ էՎ}$, $\Delta E_d=0,26 \text{ էՎ}$, $\mu=700 \text{ սմ}^2/\text{վ}$ (4H-SiC), $T_0=300 \text{ Կ}$): Ինչպես և սպասվում էր, խառնուրդային խորը և կաշուն մակարդակների առկայությունը հանգեցնում է նաև ուղետարի ելքային հաղորդականության և տրանզիստորի դիքության փոփոխման: Ինչպես հետևում է նկ.1-2-ից, տրանզիստորի դիքությունը նվազում է փականի լարման աճմանը զուգընթաց, և աճում է խառնուրդային խորը և թակարդային մակարդակների աճման դեպքում: Դա բացատրելի է, քանի որ խորը և թակարդային մակարդակների առկայության պայմաններում ուղետարի հաղորդականությունը դառնում է ավելի փոքր և խիստ “զգայուն” փականի լարման նկատմամբ, և, բացի այդ, ինչպես ցույց է տրվել առաջին հաղորդման մեջ, այդ մակարդակների առկայությունը թույլ է տալիս, այլ հավասար պայմաններում, ուղետարի հաղորդականության մոդուլյացիան իրականացնել փականի ավելի փոքր լարումների դեպքում:

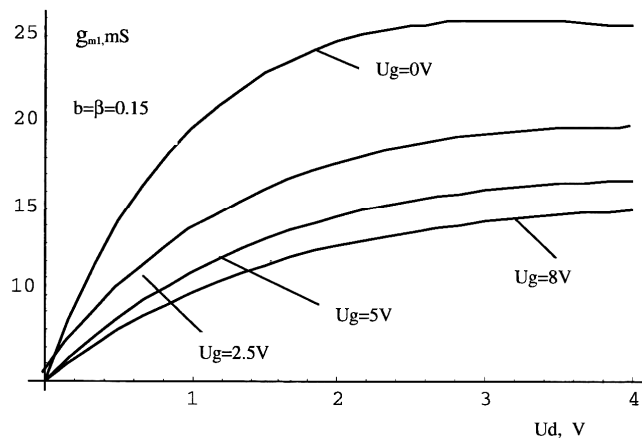
Տրանզիստորի դիքությունը համեմատաբար մեծ է փականի փոքր լարումների տակ և հասնում է հազեցման վերջինիս բարձր արժեքների դեպքում: Փականի փոքր լարումների և խառնուրդային խորը ու թակարդային մակարդակների առկայության պայմաններում դիքությունն աճում է: Տրանզիստորի ելքային հաղորդականությունը

նվազում է ինչպես փականի լարման, այնպես էլ խառնուրդային խորը ու թակարդային մակարդակների աճմանը զուգընթաց, (տես. Նկ.1) և արտաբերի մեծ լարումների տակ նույնպես հասնում է հագեցման:

Առաջարկված մոդելը, ինչպես նաև վերը քննարկված կախվածություններն ու ստացված արդյունքները անհրաժեշտ է հաշվի առնել սիլիցիում-կարբիդային դաշտային և ՄԴԿ կառուցվածքների հետազոտման, նախագծման և հաշվարկման ժամանակ:



Նկ.1 Տրանզիստորի էլքային g_{01} հաղորդականության կախումը արտաբերի լարումից, փականի լարման տարբեր արժեքների դեպքում, ($N_d = 1.7 \cdot 10^{17} \text{ սմ}^{-3}$, $L = 0.3 \text{ մկմ}$, $l = 0.26 \text{ մկմ}$, $Z = 0.0332 \text{ սմ}$, $v_{th} = 0.8 \cdot 10^7 \text{ սմ/վ}$, $\varepsilon_1 = 9.7$, $v_s = 2 \cdot 10^7 \text{ սմ/վ}$, $\Delta E_t = 0.26 \text{ էՎ}$, $\Delta E_d = 0.26 \text{ էՎ}$, $\mu = 700 \text{ սմ}^2/\text{վ}$ (4H-SiC), $T_0 = 300 \text{ Կ}$)



Նկ.2. Տրանզիստորի g_{m1} դիքության կախումը արտաբերի լարումից փականի լարման տարբեր արժեքների դեպքում (մյուս պարամետրերը նույնն են, ինչ նկ.1 -ում)

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Casady J. B., Johnson R.W.** Status of Silicon Carbide as a Wide-Bandgap Semiconductor For High-Temperature Applications // Sol. St. Electron. –1996. –P. 1409-1422.
2. **Baliga B. J.** Trends in Power Semiconductor Devices // IEEE Trans Electron Devices. –1996. – P. 1717-1731.
3. **Mitchel W.C., Permin R., Goldstein Y. et al.** Fermi level control and deep levels in semiinsulating 4H-SiC // J Apply. Physics. –1999. – P. 5040-5043.
4. **Mashiyama I.** Energy levels of impurities in SiC. Properties of advanced semiconductor materials // Edit. By Levinshtein M.E., Rumyantsev S., Shur M.S.- New-York, Wiley. – 2001. – P. 87-97.
5. **Achtziger N., Grillenberger Y., Uhrmacher M. and Witthuhn W.** On the existence of deep levels of the acceptors Ga and In and of the potential double acceptors Zn and Cd in SiC // Material Science Forum. – 2000. – P. 749-752.
6. **Grillenberger Y., Achtziger N., Pasold G. et al.** Polytype Dependence of Transition Metal-Related Deep Levels in 4H-, 6H- and 15R SiC // Material Science Forum. – 2002. – P. 573-576.
7. **Fung S., Gong M. and Beling C.D. et al.** Aluminum – implantation-induced deep levels in N-type 6H-SiC // J. Apply. Physics. – 1998. – P. 1152-1154.
8. **Chiang T.K., Wang Y.H., Houg M.P.** Modeling of threshold voltage and subthreshold swing of short-channel SOI MESFET's // Solid-St. Electron. – 1999. – P. 123-129.
9. **Murry S. P., Roeneker K.P.** An analytical model for SiC MESFETs // Solid-St. Electron. –2002. – P. 1495-1505.
10. **Sze S. M.** Physics of Semiconductor Devices. Second Ed. J.Wiley & Sons. 1981.
11. **Trew R.J.** Experimental and simulated results of SiC microwave power MESFETs // Phys. Stat. Sol. –1997. – P. 409 – 419.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.07.2004:

В.В. БУНИАТЯН, Л. А. МИКАЕЛЯН

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРБИД - КРЕМНИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСНЫМИ УРОВНЯМИ И УРОВНЯМИ ПРИЛИПАНИЯ

Исследованы зависимости проводимости канала и крутизны SiC полевых транзисторов с барьером Шоттки (ПТШ) от приложенных напряжений и электрофизических параметров кристалла при наличии глубоких уровней и уровней прилипания в запрещенной зоне полупроводника. Предложенная новая модель позволяет глубже представить физические процессы, происходящие в реальных SiC ПТШ.

V.V. BUNIATYAN , L. A. MIKAELIAN

CONDUCTANCES OF SCHOTTKY BARRIER MESFET's WITH THE DEEP IMPURITY AND TRAP LEVELS

The dependencies of conductance and transconductance of Schottky barrier MESFET's on the bias voltage and other electrophysical parameters of semiconductor crystals are theoretically examined with the deep impurity and trap levels in the bandgap of the channel exist. The new model allows to present deeper the processes which take place in real SiC MESFET's.

Г.Е. АЙВАЗЯН, А.А. ВАРДАНЯН, Г.Г. КИРАКОСЯН,
А.В. ПЕТРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНЫХ И ТОРЦЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Исследуется уравнение непрерывности с учетом неустраняемой излучательной рекомбинации. Получены вольт-амперные характеристики планарных и торцевых солнечных элементов при большой концентрации солнечного излучения.

Ключевые слова: планарный и торцевой солнечные элементы, уравнение непрерывности, темп рекомбинации.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечных элементов (СЭ) рассматривались в [1-5]. Разработанные в этих работах методы расчета ВАХ имеют ограниченную область применения, их используют или для планарных, или для торцевых СЭ. В то же время в них не учитывается принципиально неустраняемая излучательная рекомбинация.

Целью настоящей работы является разработка комплексного метода, позволяющего определить ВАХ как для планарных, так и для торцевых СЭ с $n^+ - p - p^+$ -структурой.

Основные уравнения и граничные условия. Уравнения непрерывности в стационарных условиях могут быть записаны в виде

$$\begin{cases} D_n \frac{d^2 n}{dx^2} + \mu_n E \frac{dn}{dx} - R + g = 0, \\ D_p \frac{d^2 p}{dx^2} + \mu_p E \frac{dp}{dx} - R + g = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где D_n , D_p - коэффициенты диффузии электронов и дырок; n , p - концентрация электронов и дырок в базе; μ_n , μ_p - подвижности электронов и дырок; g и R - темпы генерации и рекомбинации в единице объема; E - напряженность электрического поля.

Ось x совпадает с направлением распространения света и перпендикулярна плоскости $n-p$ - перехода. Для темпа генерации планарного СЭ получаем

$$g(x) = K_{\zeta} \int_{\omega_g}^{\infty} G_0(\omega, T_c) \exp[-\alpha(\omega)x] \alpha(\omega) d\omega, \quad (2)$$

где K - концентрация солнечного излучения; T_c - температура поверхности Солнца; G_o - концентрация равновесных фотонов в единичном интервале частот ω ; $\alpha(\omega)$ - коэффициент поглощения; $\hbar\omega_g = E_g$ - ширина запрещенной зоны; $\varsigma = (R_c / R_a)^2$ (R_c - радиус Солнца, R_a - расстояние от Солнца до Земли).

Вблизи края фундаментального поглощения, связанного с непрямыми переходами, имеем [1]

$$\alpha(\omega) = \chi(\hbar\omega - E_g)^2, \quad (3)$$

где $\chi = 4,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1} \cdot \text{эВ}^{-2}$.

Число фотонов, поглощенных при $x > x_0$, определяется по формуле

$$\varphi(x_0) = \int_{x_0}^{\infty} g(x) dx = \frac{K\varsigma}{4\pi^2 c^2} \int_{\omega_g}^{\infty} \frac{\omega^2 \exp(-\chi(\hbar\omega - E_g)^2 x_0)}{\exp(\hbar\omega / kT_c) - 1} d\omega, \quad (4)$$

где c - скорость света; $\hbar$ - постоянная Планка; k - постоянная Больцмана.

При $x_0 = 0$ выражение (4) дает число фотонов, падающих на единицу поверхности СЭ в единицу времени. Приравняв правую часть этой формулы к величине Kj_c , после вычисления интеграла получим

$$j_c = \frac{\varsigma(kT_c)^3}{4\pi^2 c^2 \hbar^3} [\exp(-\Omega_g)(\Omega_g^2 + 2\Omega_g + 2)], \quad (5)$$

где $\Omega_g = \hbar\omega_g / kT_c$.

При больших x_0 экспонента в числителе подынтегрального выражения в (4) меняется быстрее остальных сомножителей, поэтому

$$\varphi(x_0) \approx Kj_c a \sqrt{\frac{\delta}{x_0}}, \quad (6)$$

где $\delta = 1 / \chi(kT_c)^2$ - характерная длина поглощения света, $a = 0,382$.

Суммарный темп рекомбинации, который должен входить в уравнение непрерывности (1), можно представить в виде разности [2]

$$R = r - g_T = Bnp - g_T, \quad (7)$$

где B - коэффициент рекомбинации; g_T - темп тепловой генерации электронов и дырок в условиях равновесия.

Так как в равновесии $R=0$, то $g_T = Bn_0 p_0 = Bn_i^2$, где n_i - концентрация собственных носителей. Излучательная рекомбинация зона-зона представляет собой процесс, не устранимый никакими способами. Поэтому она принципиально ограничивает время жизни. Пока полупроводник находится в состоянии термодинамического равновесия, рекомбинационное излучение нельзя наблюдать. Это связано с тем, что наряду с излучением фотонов при

рекомбинации происходит их поглощение, причем с таким же темпом. Однако если в полупроводнике созданы избыточные носители заряда, то темп рекомбинации будет превышать темп генерации на величину $R = B(np - n_i^2)$, и столько же фотонов будет излучаться из каждой единицы объема в единицу времени [2]. Вычисляя g_T и используя принцип детального равновесия, для B получим

$$B = \frac{2\chi(kT)^3(n^0)^2 E_g^2}{\pi^2 c^2 \hbar^3 n_i^2} \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right),$$

где n^0 – показатель преломления кремния.

Система уравнений (1) должна быть составлена для всех областей (n^+ , n^+-p - перехода, p , $p-p^+$ - перехода, p^+), и их решения должны сшиваться между собой с учетом непрерывности концентраций и потоков электронов и дырок. Однако эту процедуру можно упростить, если пренебречь генерацией и рекомбинацией в области объемного заряда. В результате получается условие постоянства потоков электронов $\vec{j}_n$ и дырок $\vec{j}_p$. Если поверхностная рекомбинация в n^+ -слое равна нулю и пренебречь рекомбинацией и генерацией дырок в его объеме, то поток дырок через n^+ -слой равен нулю. Но так как этот поток не меняет своего значения и при прохождении через n^+-p - переход, то на границе этого перехода $j_p = 0$. Аналогично, $j_n = 0$ в p - слое на границе $p-p^+$ - перехода.

Вольт-амперная характеристика. Для планарного СЭ задача сводится к одномерной. Предполагая концентрацию света сильной, будем считать, что $\Delta n \cong n$, $\Delta p \cong p$. Введем для краткости безразмерные величины

$$\begin{aligned} \tilde{E} &= E/(kT/qd), \quad \tilde{B} = BK_j d^3 / D_n^2, \\ \tilde{g} &= g \frac{d}{K_j d}; \quad \xi = \frac{x}{d}; \quad \tilde{n} = \frac{n}{K_j d}; \quad \tilde{p} = \frac{p}{K_j d}; \quad b = D_n / D_p, \end{aligned}$$

где d - ширина базы.

Уравнения непрерывности (1) с учетом условия квазинейтральности $\tilde{n} = \tilde{p}$ и при сильной освещенности примут вид

$$\begin{aligned} \frac{1}{b} \frac{d}{d\xi} \left[-\frac{d\tilde{n}}{d\xi} + \tilde{E}\tilde{n} \right] &= \tilde{g} - \tilde{B}(\tilde{n})^2, \\ \frac{d}{d\xi} \left[\frac{d\tilde{n}}{d\xi} + \tilde{E}\tilde{n} \right] &= \tilde{B}(\tilde{n})^2 - \tilde{g}. \end{aligned} \tag{8}$$

Суммируя эти уравнения, получаем выражение для $\tilde{E}$, после подстановки которой в первое уравнение (8) имеем

$$\frac{2}{1+b} \frac{d^2 \tilde{n}}{d\xi^2} = \tilde{B} \tilde{n}^2 - \tilde{g}. \quad (9)$$

Для решения нелинейного дифференциального уравнения (9) используется малость параметра $\tilde{B}$, определяемого квадратом отношения ширины базы к диффузионной длине. С учетом изменения потенциала на обоих переходах и в базовой области, после возвращения к размерным переменным для ВАХ получим

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_0 - I}{I_s} \right) - \frac{I}{q(\mu_n + \mu_p)Hl} \int_0^d \frac{dx}{n(x)} + \frac{kT}{q} \frac{2b}{1+b} \ln \left(\frac{n(d)}{n(0)} \right), \quad (10)$$

где $I_0 = qK_j Hl$ и $I_s = q\gamma n_i^2 Hld$; q - заряд электрона; n_i - концентрация собственных носителей; H и l - соответственно толщина и длина структуры.

В рассматриваемом приближении последний член в (10) равен нулю. После простых вычислений с учетом последовательного сопротивления R_{n+} переднего n - слоя имеем

$$U = \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{i_0(1-i)}{i_s} \right) - \frac{b}{1+b} \frac{i\sqrt{K}}{\sqrt{1-i}} C - \tilde{R}i\tilde{K} \right], \quad (11)$$

где $i_0 = I_0 / Hl$, $i_s = I_s / Hl$, $i_c = I_c / Hl$ - плотности токов; $i = I / I_0$ - относительная сила тока в нагрузке; $C = \sqrt{i_c \gamma / q} \cdot d^{3/2} / D_n$; $I_c = qj_c Hl$; $\tilde{R} = R_{n+} i_c / (kT / q)$.

Расчет характеристик торцевого СЭ представляет определенные трудности, связанные с необходимостью решения двумерных уравнений переноса для носителей заряда. Специфические граничные условия позволяют свести задачу к одномерной, если проинтегрировать уравнения переноса по переменной y , параллельной направлению распространения света, и результат разделить на H .

Таким образом, этот случай сводится к рассмотренной выше задаче планарного СЭ. Применяя вышеприведенный метод расчета, можно получить следующую формулу для ВАХ:

$$U = \frac{kT}{q} \left[\ln \left(\frac{i_c}{q\gamma^2 n_i a^2 \delta} \right) + \ln K + \ln(1 - \tilde{\varphi}) + \ln(1 - i) + 2 \ln \tilde{\varphi} \right]. \quad (12)$$

Основное отличие этого случая от планарного состоит в том, что последовательное сопротивление практически равно нулю.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ А-431.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зи. С.** Физика полупроводниковых приборов. Т.2. –М.: Мир, 1984. –455 с.
2. **Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г.** Физика полупроводников. –М.: Наука, 1977. –672 с.
3. **Айвазян Г.Е., Варданян А.А., Киракосян Г.Г.** КПД солнечного элемента с вертикальным p-n – переходом // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2003. - Т.56, N2. – С. 84-89.
4. **Kulutkina T., Kurak V.** High-voltage concentrator solar cells//Proceedings of 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference.-Munich, 2001.-P. 128-130.
5. **De Jager J.R., Leitch A.W.R.** Solar cell simulation software: the influence of modeling//Proceedings of 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference.- Munich, 2001.- P. 221-223.

ГИУА, ЗАО “Виасфер Технопарк”. Материал поступил в редакцию 08.05.2003.

**Գ.Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ա. Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Գ.Հ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ,
Ա.Վ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ**

**ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ԵՎ ԿՈՂՄՆԱՅԻՆ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՎՈԼՏԱՄՊԵՐԱՅԻՆ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Հետազոտված է անընդհատության հավասարումը՝ հաշվի առնելով անբացառելի ճառագայթային վերամիավորումը: Ստացված են հորիզոնական և կողմնային արևային էլեմենտների վոլտամպերային բնութագրերը արեգակնային ճառագայթման բարձր կոնցենտրացիայի դեպքում:

**G.E. AYVAZIAN, A.H. VARDANYAN, G.H. KIRAKOSYAN,
A.V. PETROSYAN**

**INVESTIGATION OF THE PLANAR AND VERTICAL SOLAR CELLS CURRENT-
VOLTAGE CHARACTERISTICS**

Continuity equation in the terms of unremovable radiative recombination is studied. Current-voltage characteristics of the planar and vertical solar cells under high concentration of radiation are obtained.

Գ.Շ. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ

ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՓՈԽԱՆՋԱՏՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՑԹԸ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՆՐԱԹԵԼԱՅԻՆ ՀԱՂՈՐԴԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Ուսումնասիրվել է ոչ հավասարաչափ բազմակի քվանտային հորեր ունեցող կիսահաղորդչային օպտիկական ուժեղարարում օպտիկական փոխանջատումը: Առաջին անգամ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ոչ հավասարաչափ բազմակի քվանտային հորեր ունեցող լայնաշերտ կիսահաղորդչային օպտիկական ուժեղարարում 1550 նմ և 1300 նմ տիրույթների միջև տեղի է ունենում օպտիկական փոխանջատում: Փոխանջատման կառավարումը հնարավոր է կիսահաղորդչային օպտիկական ուժեղարարի ակտիվ շերտի քվանտային կառուցվածքի ոչ հավասարաչափ բազմակի քվանտային հորերի միջև լիցքակիրների վերաբաշխմամբ:

Առանցքային բառեր. կիսահաղորդչային օպտիկական ուժեղարար, բազմակի քվանտային հորեր, օպտիկական փոխանջատում, օպտիկական մանրաթելային հաղորդակցություն:

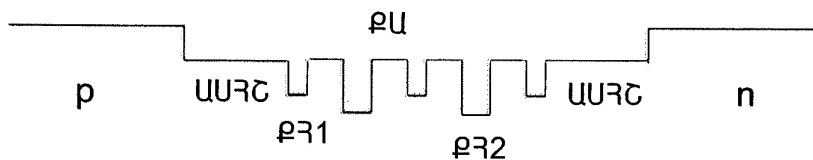
Ժամանակակից օպտիկական մանրաթելերը կիրառվում են ալիքի 1550 նմ և 1300 նմ երկարություններին մոտ գտնվող սպեկտրալ տիրույթներում, որտեղ կորուստները և դիսպերսիան նվազագույնն են: Ներկայումս էրբիումով լեգիրացված մանրաթելային լայնաշերտ ուժեղարարը կարող է ուժեղացնել օպտիկական հաղորդակցության C-տիրույթը (1530 - 1565 նմ) և L-տիրույթը (1565 - 1610 նմ), սակայն չի կարող ուժեղացնել 1300 նմ ալիքի երկարություններին մոտ գտնվող սպեկտրալ տիրույթը [1]: Օպտիկական մանրաթելերի սպեկտրալ լրիվ տիրույթը (1200 - 1600 նմ) օգտագործելու համար անհրաժեշտ է կիրառել այլ միջոցներ: Կիսահաղորդչային օպտիկական ուժեղարարները (ԿՕՈւ) օպտիկական հաղորդակցության մանրաթելային համակարգերի համար համարվում են լավ թեկնածուներ, քանի որ ունեն փոքր չափեր, էլեկտրոնային բաղկացուցիչ մասերի հետ ուղղակի ինտեգրվելու հնարավորություն և կառավարելի ալիքի երկարություն: Այնուամենայնիվ, սովորաբար յուրաքանչյուր ԿՕՈւ ունի 50 նմ-ից փոքր սպեկտրալ տիրույթ: Օպտիկական մանրաթելի կիրառելի սպեկտրալ ամբողջ տիրույթն օգտագործելու համար անհրաժեշտ է կիրառել տարբեր սպեկտրալ տիրույթներ ունեցող մի քանի ԿՕՈւ [2-4]:

Աշխատանքում տեղեկացվում է, որ օգտագործելով InP տակդիրի վրա աճեցված ոչ հավասարաչափ բազմակի քվանտային հորեր (ՔՀ) ունեցող ԿՕՈւ, հաջողվել է մանրաթելային հաղորդակցության համակարգերում փորձնականորեն իրականացնել օպտիկական փոխանջատում՝ օգտագործելով միայն մեկ ԿՕՈւ:

Բազմակի ՔՀ-եր և թեք ալիքատար ունեցող ԿՕՈւ-ները նախագծվել են ՔՀ-երի տեխնիկայի միջոցով և պատրաստվել մետաղ-օրգանական գոլորշու նստեցման եղանակով, իսկ ԿՕՈւ-ի թեք ալիքատարը՝ ռեակտիվ խոնային խաժատման եղանակով [2]: ԿՕՈւ-ի երկարությունը և լայնությունը համապատասխանաբար հավասար են 500 մկմ-ի ու 300 մկմ-ի: ԿՕՈւ-ի ալիքատարն ունի 200 մկմ թեքված

մաս, իսկ երկարությունը և լայնությունը համապատասխանաբար հավասար են 500 մկմ-ի ու 5 մկմ-ի:

ԿՕՈւ-ի քվանտային կառուցվածքը բաղկացած է 6,0 նմ լայնությամբ $\text{In}_{0,67}\text{Ga}_{0,33}\text{As}_{0,72}\text{P}_{0,28}$ եռակի ՔՀ-երից (ՔՀ1) և 8,7 նմ լայնությամբ $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ երկակի ՔՀ-երից (ՔՀ2), ընդ որում՝ ՔՀ1 և ՔՀ2 ՔՀ-երը դասավորված են հաջորդաբար (նկ. 1):

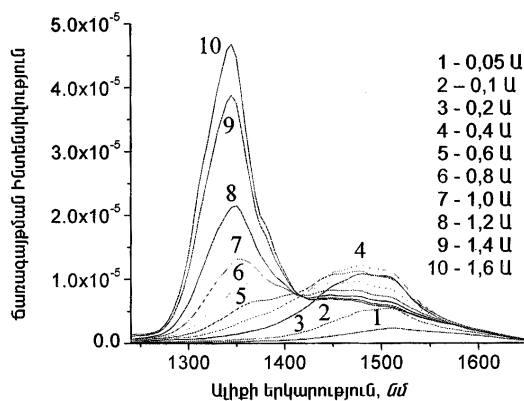


Նկ. 1. Թեք ալիքատար ունեցող ԿՕՈւ-ի ակտիվ շերտի քվանտային կառուցվածքը

6,0 նմ ($\text{In}_{0,67}\text{Ga}_{0,33}\text{As}_{0,72}\text{P}_{0,28}$) և 8,7 նմ ($\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$) լայնությամբ ՔՀ-երն առանձնացված են 15 նմ լայնությամբ $\text{In}_{0,86}\text{Ga}_{0,14}\text{As}_{0,3}\text{P}_{0,7}$ քվանտային արգելքներով (ՔԱ): Առանձնացված սահմանափակման հետերոանցման շերտ (ԱՍՀՇ) ($\text{In}_{0,86}\text{Ga}_{0,14}\text{As}_{0,3}\text{P}_{0,7}$) է առաջանում 6,0 նմ և 8,7 նմ լայնությամբ ՔՀ-երի միջև:

150 մՄ ինժեկցիոն հոսանքի դեպքում ԿՕՈւ-ի թեք ալիքատարով լույս անցնելիս ԿՕՈւ-ի օպտիկական ուժեղացումը և աղմուկը համապատասխանաբար կազմում են 28 Դբ և 7 Դբ:

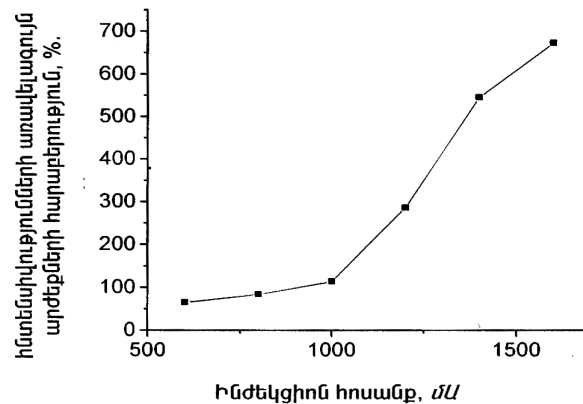
Ցածր ինժեկցիոն հոսանքների դեպքում (0,05 Ա - 0,6 Ա) ԿՕՈւ-ի ճառագայթման ինտենսիվությունն ունի մեկ առավելագույն արժեք (նկ. 3): Նկ. 3-ում բերված են ԿՕՈւ-ի ճառագայթման սպեկտրերը տարբեր ինժեկցիոն հոսանքների դեպքում:



Նկ. 2

0,05 Ա ինժեկցիոն հոսանքի դեպքում ԿՕՈւ-ն ճառագայթում է 1540 նմ ալիքի երկարությունում: Ինժեկցիոն հոսանքի մեծացմանը զուգընթաց ճառագայթման ինտենսիվության առավելագույն արժեքը տեղաշարժվում է դեպի կարճ ալիքներ: 0,8 Ա ինժեկցիոն հոսանքի դեպքում, երբ ճառագայթման ինտենսիվության երկար

ալիքային առավելագույն արժեքն արդեն տեղաշարժված է կարճ ալիքների կողմը (1480 նմ), կարճ ալիքային տիրույթում առաջանում է ճառագայթման ինտենսիվության երկրորդ առավելագույն արժեքը (1378 նմ): Ինժեկցիոն հոսանքների աճին զուգընթաց երկար և կարճ ալիքային առավելագույն արժեքները տեղաշարժվում են դեպի կարճ ալիքներ, համապատասխանաբար, 100 նմ և 40 նմ: Այդ տեղաշարժի հետ միաժամանակ փոփոխվում են կարճ և երկար ալիքային երկարությունների ճառագայթման առավելագույն արժեքների ինտենսիվությունները: Կարճ և երկար ալիքային տիրույթների ճառագայթման առավելագույն արժեքների ինտենսիվությունները համապատասխանաբար մեծանում և փոքրանում են: Կարճ և երկար ալիքային երկարությունների ճառագայթման առավելագույն արժեքների ինտենսիվությունների հարաբերությունը մեծանում է 7 անգամ, երբ ինժեկցիոն հոսանքը 0,6 Ա-ից դառնում է 1,6 Ա (նկ. 3): Նկ. 3-ում բերված են կարճ և երկար ալիքի երկարությունների ճառագայթման ինտենսիվությունների առավելագույն արժեքների հարաբերությունը՝ արտահայտված տոկոսներով:



Նկ. 3

Այսպիսով, հաջողվեց առաջին անգամ փորձնականորեն դիտել օպտիկական փոխանջատման երևույթը օպտիկական մանրաթելային հաղորդակցության համակարգերում կիրառվող ԿՕՈւ-ում:

Փոխանջատման երևույթը կարելի է բացատրել հետևյալ կերպ. Ցածր ինժեկցիոն հոսանքների դեպքում լիցքակիրները գրավվում են ԿՕՈւ-ի ակտիվ շերտի 8,7 նմ լայնությամբ երկու ՔՀ-երի կողմից (ՔՀ2), որի արդյունքում ճառագայթման սպեկտրի երկար ալիքային տիրույթում դիտվում է ճառագայթման ինտենսիվության միայն մեկ առավելագույն արժեք (նկ. 2, կորեր 1-4): Ինժեկցիոն հոսանքի մեծացմանը զուգընթաց, լիցքակիրները գրավվում են ոչ միայն 8,7 նմ լայնությամբ երկու ՔՀ-երի կողմից (ՔՀ2), այլ նաև 6,0 նմ լայնությամբ երեք ՔՀ-երի (ՔՀ1), որի արդյունքում ճառագայթման սպեկտրի կարճ ալիքային տիրույթում դիտվում է ճառագայթման ինտենսիվության երկրորդ առավելագույն արժեքը (նկ. 2, կորեր 5-6): Ինժեկցիոն հոսանքի հետագա մեծացմանը զուգընթաց, լիցքակիրները սկսում են վերաբաշխվել և գերակշռում են 6,0 նմ լայնությամբ ՔՀ-երում, որի արդյունքում կարճ ալիքային ճառագայթման ինտենսիվությունը մի քանի անգամ

գերազանցում է երկար ալիքային ճառագայթման ինտենսիվությանը (նկ. 2, կորեր 7-10 և նկ. 3): 1,6 Մ ինժեկցիոն հոսանքի դեպքում կարճ ալիքային ճառագայթման ինտենսիվությունը 7 անգամ գերազանցում է երկար ալիքային ճառագայթման ինտենսիվությանը (նկ. 2, կոր 10 և նկ. 3):

Այսպիսով, հաջողվեց բազմակի ՔՀ-երի տեխնիկայի միջոցով նախագծել և պատրաստել լայնաշերտ բնութագրեր ունեցող ԿՕՈւ-ներ [5-8] և առաջին անգամ փորձնականորեն դիտել օպտիկական փոխանջատման երևույթը օպտիկական մանրաթելային հաղորդակցության համակարգերում [9]: Փոխանջատման կառավարումը հնարավոր է ոչ հավասարաչափ բազմակի ՔՀ-երի միջև լիցքակիրների վերաբաշխմամբ: Վերջինս հնարավորություն է տալիս, որ ԿՕՈւ-ները ոչ միայն միաժամանակ ճառագայթեն երկու ալիքի երկարություններում, այլ նաև փոխանջատեն օպտիկական հաղորդակցության մի ալիքի երկարությունը մեկ այլ ալիքի երկարության՝ կիրառելով միայն մեկ ԿՕՈւ (երկու կամ ավելի ԿՕՈւ-ների փոխարեն):

Աշխատանքն իրականացվել է ՆԱՏՕ-ի FEL.RIG980772 վերամիավորման դրամաշնորհի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Stern T.E, Bala K.** Multiwavelength Optical Networks // Chapter 4. Addison-Wesley, MA. - 1999. - P. 193-199.
2. **Lin C.-F., Tsai C.-W., Chang Y.-C., Chen C.-H., Shmavonyan G.Sh., Su Y.-S.** Extremely broadband superluminescent diodes/Semiconductor Optical Amplifiers in Optical Communication band // SPIE Proceedings, San Jose, USA. - 2003. - Vol. 4989. - P. 69-77.
3. **Lin C.-F., Tsai C.-W., Chang Y.-C., Chen C.-H., Shmavonyan G.Sh., Su Y.-S.** Semiconductor lasers/optical amplifiers in optical communication band with very broadband property // IEEE Proceedings, Australia. - 2003. - P. 1068.
4. **Tsai C.-W., Shmavonyan G.Sh., Lin C.-F.** Extremely broadband InGaAsP/InP superluminescent diodes // Proceedings of OPTO'2003. - P. 556 -559.
5. **Yu D.-K., Shmavonyan G.Sh., Su Y.-S., Lin C.-F.** Peculiarities of emission characteristics of semiconductor optical amplifier with multiple quantum wells // SPIE Proceedings. - 2003. - V. 4986. - P. 405-412.
6. **Tsai C.-W., Shmavonyan G.Sh., Su Y.S., Lin C.-F.** Extremely broadband superluminescent diodes/semiconductor optical amplifiers in optical communication band // Proc. CLEO/PR2003. - 2003. - V. 1. - P. 54.
7. **Lin C.-F., Tsai C.-W., Su Y.-S., Shmavonyan G.Sh.** Extremely broadband InGaAsP/InP superluminescent diode/semiconductor optical amplifiers with emission spectrum covering from 1250 nm to 1650 nm // Technical Digest of 2003 Optical Amplifiers and Their Applications. - 2003. - P. 121 - 123.
8. **Lin C.-F., Su Y.-S., Wu C.-H., Shmavonyan G.Sh.** Influence of separate confinement heterostructure on emission bandwidth of InGaAsP superluminescent diodes/semiconductor optical amplifiers with non-identical multiple quantum wells // IEEE Photonics Technology Letters. - 2004. - V. 16. - P. 1441-1443.
9. **Shmavonyan G.Sh.** An optical switching effect in optical communication system using one semiconductor optical amplifier // APS Bulletin, Montreal, Quebec, Canada. - 2004. H39.007.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.05.2004:

Г.Ш. ШМАВОНЯН

**НОВОЕ ЯВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
В ОПТИКО-ВОЛОКОННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Исследовано оптическое переключение в полупроводниковых оптических усилителях с неодинаковыми многочисленными квантовыми ямами. Впервые экспериментально обнаружено, что в полупроводниковых оптических усилителях с неодинаковыми многочисленными квантовыми ямами происходит переключение длин волн между областями 1550 *нм* и 1300 *нм*. Контроль переключения возможен из-за перераспределения носителей заряда между неодинаковыми многочисленными квантовыми ямами активного слоя полупроводниковых оптических усилителей.

G.SH. SHMAVONYAN

**A NEW OPTICAL SWITCHING EFFECT
IN OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEMS**

An optical switching in semiconductor optical amplifiers with non-identical multiple quantum wells is investigated. The switch of wavelength between 1550 *nm* and 1300 *nm* bands is experimentally discovered for the first time in semiconductor optical amplifiers. The control of switching is possible due to carrier redistribution among non-identical multiple quantum wells of the active layer of the semiconductor optical amplifier.

Р.А. СИМОНЯН, Э.Г. ВЕЗИРЯН

УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Разработано универсальное устройство для измерения напряжения на клеммах аккумуляторных батарей (АБ), ее внутреннего сопротивления, а также проводимости доливаемой в аккумулятор воды, которое способствует продлению срока службы АБ и их безотказной работе.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, внутреннее сопротивление, постоянный и переменный токи, четырехпроводная система.

Для обеспечения безотказной работы аккумуляторных батарей (АБ) и продления их срока службы необходим надлежащий уход во время эксплуатации во избежание перезаряда и глубокого разряда. Важное значение также имеет соблюдение степени чистоты дистиллированной воды, доливаемой в аккумулятор, и быстрое определение качества и состояния аккумуляторных батарей.

Состояние аккумуляторов и степень их заряженности можно определить измерением внутреннего сопротивления [1]. При этом нет сведений о разработках относительно применения измерителей внутреннего сопротивления, неизвестны также специализированные приборы, определяющие пригодность воды, доливаемой в АБ.

Описанным в данной работе прибором можно измерять внутреннее сопротивление аккумуляторов, проводимость дистиллированной воды, тем самым, следить за состоянием АБ, определять пригодность дистиллированной воды.

Учитывая зависимость основных параметров от температуры, а также с целью достоверности измерений в прибор вмонтирован электронный термометр. Внутреннее сопротивление образуется из сопротивлений электродов, проводимости электролита, переходного сопротивления электрод-электролит, а также сопротивления поляризации [1]. Любая неисправность аккумуляторов, связанная с пластинами электродов или с качеством электролита, приводит к изменению внутреннего сопротивления. Следовательно, для объективной оценки качества аккумуляторов целесообразно его точное измерение.

Существуют два способа измерения внутреннего сопротивления:

- на постоянном токе;
- на переменном токе.

При постоянном токе трудно стабилизировать большие токи измерения, вызывающие заметное падение напряжения, что приводит к ухудшению точности измерения. При измерении на переменном токе возникают проблемы, связанные с чрезвычайно малым значением внутреннего сопротивления АБ.

В настоящей работе предлагается применять импульсный ток относительно малой величины и высокочувствительную схему выделения сигнала согласно [2]. В последнем обеспечивается:

а) возможность измерения малых значений внутреннего сопротивления источников питания;

б) измерения проводятся при разряде АБ, следовательно, величина измеряемого сопротивления информативна с точки зрения оценки пульсации напряжения при рабочем режиме;

в) измерения проводятся при сравнительно малых значениях разрядного тока (в порядке 1% от номинальной величины ампер-часа аккумулятора). Этим упрощается конструкция используемых клемм и техника их крепления.

На рис. 1 приведена структурная схема измерителя внутреннего сопротивления.

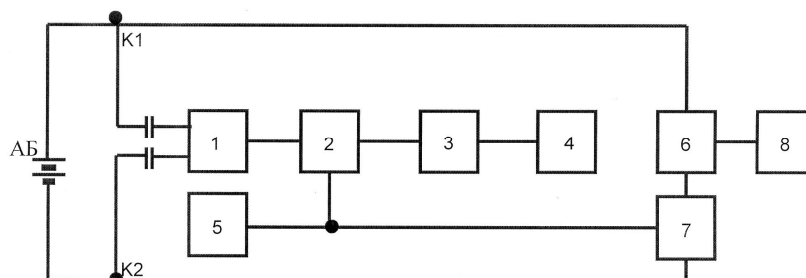


Рис. 1

При этом применена четырехпроводная система измерения. По двум проводам пропускается стабилизированный импульсный ток разряда, а двумя другими проводами измеряется напряжение на клеммах, обусловленное проходящим током и внутренним сопротивлением. Это напряжение подаётся на вход дифференциального усилителя переменного тока 1. Усиленный сигнал прямоугольной формы поступает на вход синхронного детектора и фильтра (СДФ), который управляется прямоугольными импульсами генератора 5. Постоянное напряжение с выхода СДФ 2 подаётся на вход низкочастотного фильтра 3 для фильтрации коммутационных помех, связанных с работой ключей блока 2. Выходное постоянное напряжение фильтра 3 подаётся на вход цифрового вольтметра 4. В цепи разряда АБ имеются стабилизатор разрядного тока 6 и токовый ключ 7, который тоже управляется генератором 5. Величина стабилизированного разрядного тока определяется уровнем выхода источника напряжения 8. При периодическом разряде АБ импульсами стабилизированного тока на её клеммах образуется пульсирующее напряжение с амплитудой ΔU , которое равно

$$\Delta U = R_{\text{вн}} I,$$

где I – величина стабилизированного тока; $R_{\text{вн}}$ – внутреннее сопротивление аккумулятора.

Это напряжение, проходя через узлы 1, 2, 3, соответственно усиливается, выпрямляется, фильтруется и подаётся на вход вольтметра 4. На входе вольтметра имеется напряжение

$$U = \Delta U \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = R_{\text{вн}} \cdot I \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где K_1, K_2, K_3 – коэффициенты передачи соответственно дифференциального усилителя 1, фазового детектора 2 и низкочастотного фильтра 3. При $I = \text{const}$ напряжение на выходе фильтра 3 будет $U = KR_{\text{вн}}$, где

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I.$$

Таким образом, напряжение на входе вольтметра постоянного тока 4 пропорционально внутреннему сопротивлению аккумулятора. Четырёхпроводная измерительная система исключает влияние сопротивления токонесущих проводов на точность измерений, а применение дифференциального усилителя переменного тока приводит к снижению влияния входных синфазных помех на точность измерения.

Для точного измерения проводимости воды применён патент РФ [3]. Устройство по [3] обеспечивает большую точность измерения, устойчивость к электромагнитным помехам, широкий диапазон измерения.

Разработанный измеритель имеет упрощённую схему (рис. 2) и работает следующим образом. С генератора 1 стабилизированное синусоидальное напряжение подаётся на измерительную ячейку 2 и на вход формирователя из синусоидального в прямоугольные импульсы 4. Ток, проходящий через измерительную ячейку 2, создаёт падение напряжения на сопротивление R , которое усиливается усилителем 3. После синхронного детектора и фильтра 5 напряжение постоянного тока фильтруется от коммутационных помех НЧ фильтром 6 и подаётся на вольтметр постоянного тока 7. Зависимость напряжения на сопротивление R от проводимости выражается формулой

$$U = \frac{U_2 \cdot R}{R_g \left(1 + \frac{R}{R_{\text{вх}}}\right) + R_i \left(1 + \frac{R}{R_i}\right) + R},$$

где U_2 – выходное синусоидальное напряжение генератора; R_g и $R_{\text{вх}}$ – выходное сопротивление генератора 1 и входное сопротивление усилителя 3 соответственно.

Очевидно, что условия $\frac{R}{R_{\text{вх}}} \ll 1$ и $R_g \ll R_i \ll R_{\text{вх}}$ всегда можно обеспечить, применяя современные операционные усилители с полевыми транзисторами на входе.

После упрощения формула напряжения будет иметь следующий вид:

$$U = U_2 R / R_{\text{вх}}.$$

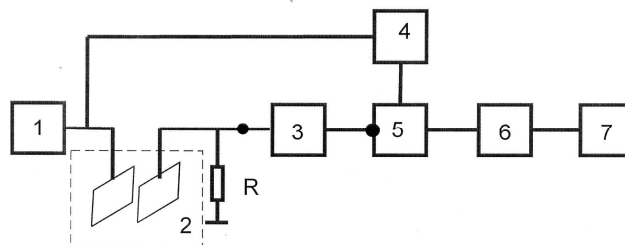


Рис. 2

Если выходное напряжение генератора 1 стабилизировано, то напряжение на сопротивлении R пропорционально проводимости воды, находящейся в измерительной ячейке, то есть

$$U = KG,$$

где

$$K = K_i U_2 R ;$$

K_i – коэффициент, зависящий от геометрических размеров ячейки.

Так как напряжение на сопротивлении R усиливается, выпрямляется и фильтруется соответствующими каскадами с линейными характеристиками передачи, поступающее на вход вольтметра напряжение постоянного тока пропорционально проводимости жидкости, находящейся в измерительной ячейке.

В основе вмонтированного в прибор термометра лежит описанный в [3] цифровой термометр. В нём в качестве термодатчика применяется п/п прямосмещённый р-п переход. Ток, проходящий через прямосмещённый переход, стабилизируется и модулируется, что приводит к повышению точности измерения. Термометр, помимо точности, обеспечивает также высокую чувствительность, широкий диапазон измерения и быстродействие.

Параметры разработанного прибора:

Внутреннее сопротивление:

диапазон измерений при токе 1А	$10^{-6} - 1 \text{ Ом}$
допустимая ошибка измерения	$\leq 1,5\%$

Проводимость:

диапазон измерений	$10^{-8} - 10^{-5} \text{ СИМ}$
допустимая ошибка измерения	$\leq 1,5\%$

Термометр:

диапазон измерений	$-100^\circ \text{C} \div 100^\circ \text{C}$
допустимая ошибка измерения	$\pm 0,5^\circ \text{C}$
дискретность измерения	$0,1^\circ \text{C}$

Быстродействие:

в жидкости не более	10 с
в воздухе не более	100 с

Размеры датчика:

диаметр	4 мм
длина	15 см

Измерения производятся 31/2 - разрядным цифровым вольтметром.

Таким образом, использование разработанного прибора при измерении напряжения на клеммах АБ, её внутреннего сопротивления, а также проводимости доливаемой в аккумулятор воды способствует продлению срока службы АБ и их безотказности при работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Романов В.В., Хашев Ю.М.** Химические источники тока.- М.:Сов. радио,1968. - 378 с.
2. А. с. СССР №1597802 G01R 31/28. Устройство для измерения параметров источников питания / **Р.А. Симонян, С.А. Шашикян.**
3. Патент РФ №2024885. Устройство для измерения проводимости / **Р.А. Симонян, А.С. Аванесян, Х.В. Григорян.** – Оpubл. 09.08.1990.
4. А.с. СССР №1557458, G07K7100, 7/24. Устройство для измерения температуры / **Р. А. Симонян, Э. Г.Везирян.**

Ин-т радиопизики и электроники НАН РА. Материал поступил в редакцию 10.02.2003.

Ռ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Է.Գ. ՎԵԶԻՐՅԱՆ

ԱՎՈՒՄՈՒԼՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑՆԵՐԻ ՄՂԱՍԱՐԿՄԱՆ ՍԱՐՔ

Նկարագրված է ակումուլատորային մարտկոցների սպասարկման համար նախատեսված սարքը, բերված են նրա կառուցվածքային սխեման և հիմնական պարամետրերը: Սարքը ճշտությամբ չափում է ներքին դիմադրությունը, լարումը, ջերմաստիճանը և էլեկտրոլիտ պատրաստելիս օգտագործվող ջրի մաքրության աստիճանը՝ ըստ նրա հաղորդականության:

R. A. SIMONYAN, E.G. VEZIRYAN

MULTIPURPOSE DEVICE FOR SUPPORTING ACCUMULATOR BATTERIES

A multipurpose device for measuring the voltage on the terminals of accumulator batteries (AB), their internal resistance, as well as conductivity of water poured into the accumulator enabling to prolong AB durability and their reliable operation is developed.

Ա.Հ. ԵՓՐԵՄՅԱՆ

ԹԵՐՄՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՉԱՓՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Թերմոէլէկտրոնի գործակցի չափման հայտնի ստացիոնար մեթոդի հիման վրա, հատուկ գրված ծրագրի և բազմաֆունկցիոնալ քարտի օգնությամբ ավտոմատացված են չափումները: Նոր մեթոդով հնարավոր է ջերմաստիճանների լայն միջակայքում չափել թերմոէլէկտրոնի գործակցի ջերմաստիճանային կախվածությունը, ինչն էլ հնարավորություն է տալիս որոշել Պելտյեի և Թոմսոնի գործակիցների ջերմաստիճանային կախվածությունները: Մեթոդը որոշ չափով փոքրացնում է չափումների ճշգրտությունը, սակայն դա լիովին փոխհատուցվում է արագագործությամբ և չափումների մեծ քանակությամբ, ինչն ապահովում է վիճակագրական առումով լավ արդյունքներ:

Առանցքային բառեր. թերմոէլէկտրական էֆեկտներ, թերմոէլէկտրոնի գործակից, չափումների ավտոմատացում:

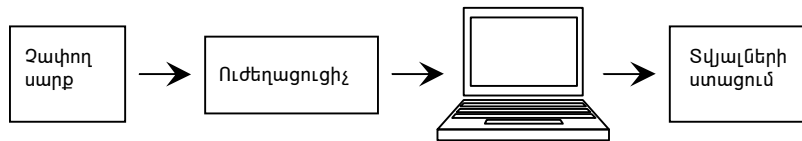
Ներածություն. Թերմոէլէկտրոնի α գործակիցը կիսահաղորդիչ նյութի կարևոր պարամետրերից է: Այն, էլէկտրահաղորդականության σ և ջերմահաղորդականության κ գործակիցների հետ մեկտեղ, հնարավորություն է տալիս գաղափար կազմել նյութի թերմոէլէկտրական z արդյունավետության մասին, քանի որ արդյունավետությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝ $z = \alpha^2 \sigma / \kappa$: Թերմոէլէկտրոնի մեծ գործակից ունեցող նյութերն այսօր լայն կիրառություն ունեն թերմոէլէկտրական ֆոտոընդունիչներում, օպտոէլէկտրոնային համակարգերում՝ որպես շրջապատող օբյեկտների ճառագայթման էներգիայի և հզորության չափման տվիչներ և այլն [1-3]: Այդ պատճառով կարևորվում է թերմոէլէկտրոնի գործակցի որոշումը:

Գոյություն ունեն թերմոէլէկտրոնի գործակցի չափման ստացիոնար և դինամիկ մեթոդներ [4,5]: Ստացիոնար մեթոդով չափումները սովորաբար կատարվում են կոմպենսացիոն եղանակով, որն ապահովում է մեծ ճշտություն, սակայն չափումների իրականացման համար բավականին ժամանակ է պահանջվում:

Վերջին տարիներին խիստ մեծացել է համակարգիչների դերը գիտական հետազոտությունների բնագավառում, ինչն իրական հնարավորություն է ընձեռում ավտոմատացնել տարբեր ֆիզիկական մեծությունների չափման գործընթացները: Համակարգչի օգնությամբ իրականացված ավտոմատացումը հնարավորություն է ընձեռում խնայել ժամանակը, քանի որ ապահովվում է կատարվող չափումների բարձր արագագործություն և ստացված տվյալների արդյունավետ մշակում, ինչը, ինքնին, հեշտացնում է ուսումնասիրության ամբողջ գործընթացը:

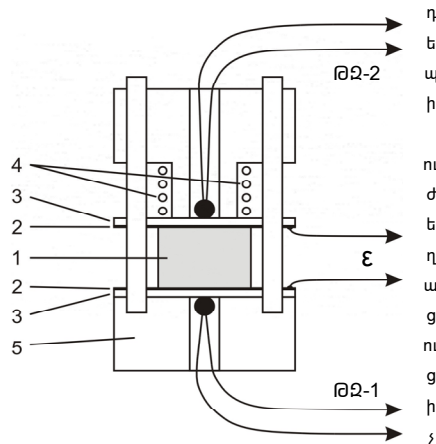
Աշխատանքում դիտարկվում է թերմոէլէկտրոնի գործակցի չափման մեթոդի ավտոմատացման խնդիրը, ինչը թույլ կտա չափել ոչ միայն թերմոէլէկտրոնի գործակիցը, այլև հեշտությամբ որոշել մյուս երկու թերմոէլէկտրական գործակիցները (Պելտյեի և Թոմսոնի), քանի որ դրանք սերտորեն կապված են թերմոէլէկտրոնի գործակցի հետ [6]:

Չափման մեթոդի նկարագրությունը. Չափման գործընթացի ավտոմատացման նպատակով համակարգչում տեղադրված է Advantech ֆիրմայի կողմից արտադրված PCL-812PG սերիայի բազմագործառնության քարտ, որի միջոցով կատարվում են չափումները: Այն ներառում է անալոգա-թվային և թվա-անալոգային փոխակերպիչներ, որոնց միջոցով կատարվում է ազդանշանի փոխակերպումը անալոգայինից թվայինի և հակառակը, որպեսզի ապահովվի կապը համակարգչի հետ: Չափումների իրականացման սխեման պատկերված է նկ. 1-ում:



Նկ. 1. Չափումների իրականացման սխեման

Թերմոէլեկտրիկ գործակցի չափման ժամանակ առաջացող լարումները միլիվոլտի կարգի մեծություններ են, իսկ համակարգչում տեղադրված քարտն աշխատում է մուտքային լարման որոշակի սահմանային արժեքների դեպքում, որոնք վոլտի կարգի մեծություններ են: Այդ պատճառով անհրաժեշտ է ուժեղացնել չափող սարքի էլքային լարումները, որպեսզի քարտի համար ապահովվի նորմալ աշխատանքային ռեժիմ: Այդ նպատակով պատրաստված է ուժեղացուցիչ, որում մուտքային լարումների ուժեղացման գործակիցներն ընտրված են այնպես, որ ուժեղացված լարումները գտնվեն քարտի համար բարենպաստ մուտքային լարումների միջակայքում: Այն երեք անցուղի ունեցող լարման ուժեղացուցիչ է: Անցուղիներից երկուսը, որոնք ուժեղացնում են T_1 և T_2 ջերմաստիճաններին համապատասխանող լարումները, ունեն միևնույն ուժեղացման գործակիցը՝ $K=720$, իսկ ε թերմոէլեկտրոն ուժեղացնող երրորդ անցուղին՝ $K=2000$ գործակից:



Նկ. 2. Չափող սարքի սկզբունքային սխեման
1-մուլ, 2-սկզբունքային շերտ, 3-սապֆիր, 4-ջերմուցիչ, 5-ջերմակլանիչ

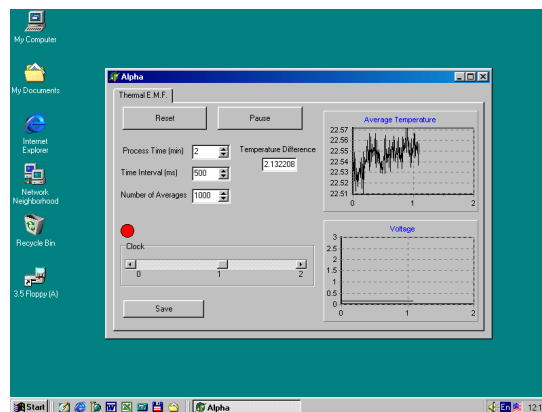
Պատրաստված է նաև չափող սարք (նկ. 2): 1 նմուշի վերին ու ստորին նիստերը կոնտակտի մեջ են գտնվում էլեկտրամեկուսիչ, բայց բավականին մեծ ջերմահաղորդականություն ունեցող 3 սապֆիրե բարակ թիթեղների հետ, որոնք նմուշին մեկուսացնում են 4 ջեռուցիչ և 5 ջերմակլանիչից:

Ընտրված է մեծ ջերմահաղորդականություն ունեցող նյութ, տվյալ դեպքում՝ սապֆիր, քանի որ սապֆիրե թիթեղների վրա ջերմաստիճանային անկումները կլինեն շատ փոքր, ինչի շնորհիվ բավականին մեծ ճշտությամբ նմուշի վերին նիստի ջերմաստիճանը կարելի է հավասար համարել ջեռուցի ջերմաստիճանին, իսկ ստորին նիստի ջերմաստիճանը՝ ջերմակլանիչի ջերմաստիճանին:

ԹՉ-2 թերմոգույգի միջոցով չափվում է նմուշի վերին նիստի ջերմաստիճանը՝ T_2 -ը, իսկ ԹՉ-1 թերմոգույգի միջոցով՝ ստորին նիստի ջերմաստիճանը՝ T_1 -ը: 4 ջեռուցիչ տաքացմամբ նմուշի վերին և ստորին նիստերի միջև կստեղծվի ջերմաստիճանային գրադիենտ՝ $T_2 > T_1$, որի հետևանքով նմուշի տաք և սառը նիստերի միջև կառաջանա ε թերմոէլեկտր: Սապֆիրե թիթեղների վրա նստեցված են 2 ոսկու շերտեր, որոնցից զոդված են թերմոէլեկտրն չափող լարերը:

Չափման գործընթացը դեկավարելու համար Delphi ծրագրավորման լեզվով գրված է հատուկ ծրագիր, որն աշխատում է Microsoft Windows 98 օպերացիոն համակարգի միջավայրում: Դրանով հնարավոր է չափել նմուշի տաք և սառը նիստերի T_2 և T_1 ջերմաստիճաններն ու առաջացած թերմոէլեկտրն (ε), ինչպես նաև մշակել ստացված արդյունքները:

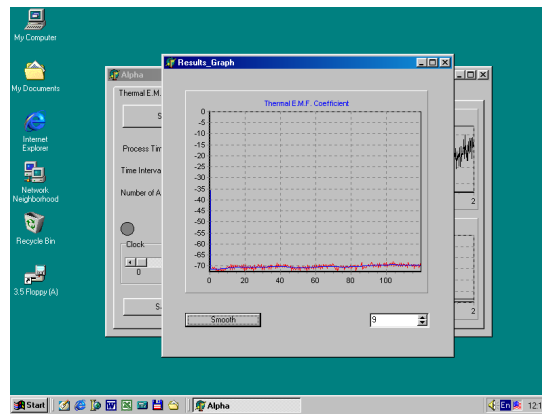
Չափումներն սկսելու համար անհրաժեշտ է աշխատեցնել վերը նշված ծրագիրը, որից հետո համակարգչի մոնիտորի վրա բացվում է նկ. 3-ում պատկերված պատուհանը: Ծրագրին տրվում են չափման գործընթացի տևողությունը, չափումների հաճախությունը և յուրաքանչյուր չափման ժամանակ կատարվող միջինացումների թիվը, ինչից հետո սկսվում է չափման գործընթացը:



Նկ. 3. Չափման գործընթացի ընթացքը

Չափման ընթացքում պարզ երևում է նմուշի տաք և սառը նիստերի միջև ջերմաստիճանների տարբերության, թերմոէլեկտրի, ինչպես նաև միջին ջերմաստիճանի արժեքների դինամիկ ընթացքը (նկ. 3): Չափումների ավարտից հետո բացվում է մի նոր պատուհան, որում գրաֆիկորեն պատկերված է

չափումների արդյունքը՝ թերմոէլեկտրի գործակցի ժամանակային կախվածության տեսքով (նկ. 4): Բացի դրանից ծրագիրը գեներացնում է ֆայլ, որում գրված են չափման գործընթացի արդյունքները (նկ. 5):



Նկ. 4. Չափման գործընթացի ավարտը

A	B	C	D	E	F	G	H
Time	Temp1	Temp2	deltaT	Voltage	T	Alpha	
0.55	294.48	296.50	2.11	-0.15	296.53	-71.01	
1.1	294.51	296.59	2.08	-0.15	296.65	-71.35	
1.65	294.46	296.50	2.12	-0.15	296.52	-70.34	
2.2	294.51	296.59	2.07	-0.15	296.64	-71.3	
2.75	294.46	296.56	2.11	-0.15	296.51	-70.49	
3.3	294.51	296.55	2.05	-0.15	296.53	-71.97	
3.85	294.48	296.57	2.09	-0.15	296.52	-71	
4.4	294.51	296.55	2.04	-0.15	296.53	-72.64	
4.94	294.46	296.56	2.08	-0.15	296.52	-71.57	
5.5	294.5	296.55	2.05	-0.15	296.53	-72.64	
6.05	294.48	296.59	2.11	-0.15	296.53	-70.84	
6.6	294.5	296.55	2.06	-0.15	296.53	-72.6	
7.15	294.49	296.59	2.11	-0.15	296.54	-71.08	
7.69	294.49	296.56	2.07	-0.15	296.53	-72.14	
8.24	294.5	296.59	2.08	-0.15	296.54	-71.52	
8.79	294.47	296.56	2.09	-0.15	296.51	-71.71	
9.34	294.49	296.59	2.11	-0.15	296.54	-70.81	
9.89	294.46	296.57	2.11	-0.15	296.51	-70.24	
10.44	294.51	296.59	2.08	-0.15	296.56	-70.84	
10.99	294.47	296.59	2.11	-0.15	296.52	-70.11	

Նկ. 5. Չափման գործընթացի արդյունքները ֆայլի տեսքով

Ստացիոնար և ավտոմատացված մեթոդներով կատարվել են փորձնական չափումներ՝ միևնույն նմուշների թերմոէլեկտրի գործակիցները որոշելու համար: Չափումները ցույց են տվել, որ դասական, ստացիոնար մեթոդի համեմատությամբ ավտոմատացված մեթոդի ունեցած շեղումը կազմում է 5-8%: Շեղումը հիմնականում պայմանավորված է սապֆիրե թիթեղների առկայությամբ, քանի որ բոլոր դեպքերում դրանց վրա ջերմաստիճանային անկումներն անխուսափելի են: Այդ պատճառով պետք է ընտրել հնարավորին չափ փոքր հաստություն ունեցող սապֆիրե թիթեղներ (տվյալ դեպքում դրանց հաստությունը կազմում էր 1 մմ), ինչը կփոքրացնի շեղման մեծությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Любченко А.В., Сальков Е.А., Сизов Ф.Ф. Физические основы полупроводниковой инфракрасной фотоэлектроники. – Киев: Наукова Думка, 1984. – 256 с.
2. Abrahamian Ju.A., Adamian Z.N., Aroutiounian V.M., Gasparyan F.V., Martirossian S.G. An IR-radiometer with internal signal modulation // Int. J. Infrared Mil. Waves. – 1998. – V. 19. – P. 827-833.
3. Aroutiounian V.M., Vahanyan A.I., Baghiyan E.M., Yepremyan A.H., Abrahamian Yu.A. Investigation of thermoelectric parameters of solid solutions $Pb_{1-x}Sn_xTe<Cd>$ and determination of their applications // Mater. Sci. Eng. B. – 2004. – V. 107. – P. 78-83.
4. Глазов В.М., Охотин А.С., Боровикова Р.П., Пушкарский А.С. Методы исследования термоэлектрических свойств полупроводников. – М.: Атомиздат, 1969. – 176 с.
5. Goldsmid H.J. A simple technique for determining the Seebeck coefficient of thermoelectric materials // J. Phys. E: Sci. Instrum. – 1986. – V. 19. – P. 921-922.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Энергия, 1976. – 416 с.

ԵՊՀ: Նյութեր ներկայացվել է խմբագրություն 26.07.2004:

А.О. ЕПРЕМЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМО-ЭДС

На основе известного стационарного метода предложена автоматизированная система для проведения измерений коэффициента термо-ЭДС с помощью специально написанного драйвера и с применением многофункциональной карты. Метод позволяет в широком интервале температур измерять температурную зависимость коэффициента термо-ЭДС, из которой, в свою очередь, можно вычислить коэффициенты Пельтье и Томсона. Хотя данный метод несколько уменьшает точность измерений, но это вполне компенсируется быстродействием и большим количеством возможных измерений, которые статистически обеспечивают хорошие результаты.

А.Н. YEPREMYAN

AUTOMATION SETUP FOR THE MEASUREMENT OF THERMO-EMF COEFFICIENT

An automation setup for the measurement of thermo-EMF coefficient by a specially written driver and the application of multifunctional card based on the known stationary method is developed. The method allows to measure temperature dependence of the thermo-EMF coefficient in a wide temperature interval, which, in its turn, allows to calculate Peltier and Thomson coefficients. Though the developed method slightly reduces accuracy of the measurements, it is quite compensated by speed and quantity of the measurements which statistically give good results.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.Г. САРКИСЯН

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Рассмотрены генетические алгоритмы в сопоставлении с алгоритмами случайного поиска. В результате проведения значительного объема численных экспериментов показано, что эти алгоритмы, объединенные использованием моделей управления живой природы, эффективно решают многопараметрические нелинейные экстремальные задачи принятия решения.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, алгоритмы случайного поиска, сопоставительный анализ алгоритмов принятия решения.

Алгоритмы принятия решения условно можно подразделить на:

- алгоритмы, основанные на моделях поведения живых организмов;
- алгоритмы, основанные на моделях эволюции живых организмов;
- алгоритмы, основанные на точных математических процедурах.

К первой группе относятся разнообразные алгоритмы случайного поиска. Введение элемента случайности как источника возможностей для организации целенаправленного управления придает этим алгоритмам ряд привлекательных особенностей, в частности, исключительно высокую гибкость и весьма слабую зависимость времени поиска экстремума от числа варьируемых переменных. В развитии алгоритмов случайного поиска значительную роль сыграли работы Л. Растригина [1].

Вторую группу составляют генетические алгоритмы, основанные на теории Дарвина о эволюции живых организмов с помощью естественного отбора (1857г.), использующего, в свою очередь, концепцию Мальтуса о популяциях (1798г.). Эти основополагающие принципы эволюции биологических систем как эффективное проявление оптимального управления в живой природе впервые были реализованы в виде машинных программ лишь в середине 80-х годов прошлого столетия Дж. Голандом [2]. Данное направление нелинейного математического программирования в настоящее время бурно развивается, к сожалению зачастую приобретая эмоциональный характер. Генетические алгоритмы также обладают высокой степенью гибкости и малой зависимостью от числа варьируемых переменных.

Наконец, к третьей группе следует отнести градиентные методы, методы последовательного спуска и др. Эта группа алгоритмов имеет свои преимущества. В частности, градиентные методы, в отличие от методов первых двух групп, осуществляют в каждой текущей точке гиперпространства поиска движение по наилучшему направлению. Вместе с тем эта особенность в значительной мере теряет свою привлекательность при решении нелинейных экстремальных задач с ограничениями, где эффективность поиска в основном определяется стратегией движения вдоль поверхностей ограничений. К привлекательным особенностям методов последовательного спуска следует отнести естественную

возможность решения целочисленных и дискретных экстремальных задач. Этими возможностями обладают также генетические алгоритмы. К недостаткам алгоритмов третьей группы следует отнести малую гибкость (скорее, отсутствие гибкости) и значительную зависимость времени от числа варьируемых переменных.

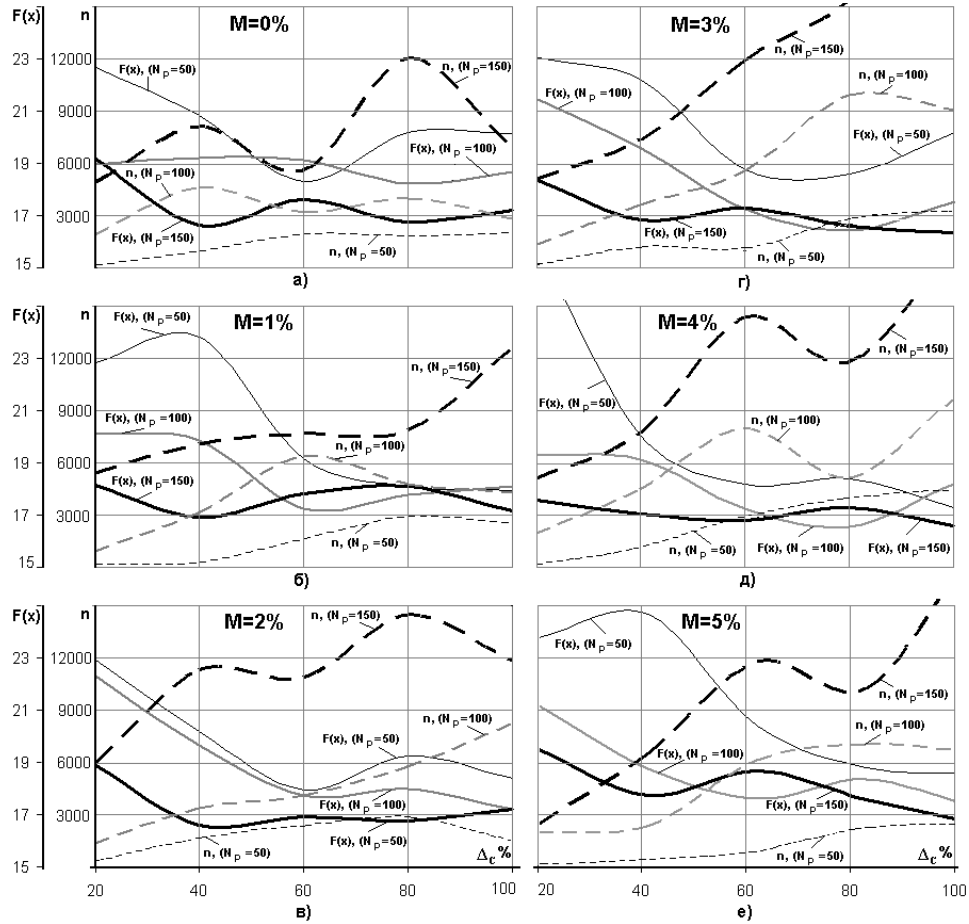


Рис.1. Зависимости целевой функции ($F(x)$) и количества обращений (n) к модели от селекции (количества отбираемых особей в популяции Δ_c , % для скрещивания) при различных значениях мутации (M , %) и начальной популяции (N_p) в генетическом алгоритме

Следует также отметить, что градиентные и генетические алгоритмы, а также ряд алгоритмов случайного поиска объединяет весьма существенное обстоятельство – естественная возможность параллельного счета, что может

стать решающим фактором при использовании вычислительных кластеров или GRID технологий.

Рассмотрим генетические алгоритмы в сопоставлении с алгоритмами случайного поиска при использовании последовательных вычислителей. Эти алгоритмы, как было отмечено, объединяет использование моделей управления живой природы, и потому они отличаются большим разнообразием. Среди этого разнообразия алгоритмов в численном эксперименте из методов случайного поиска примет участие гиперсферический случайный поиск с пересчетом [3], предусматривающий в случае неудачного пробного шага продолжение m случайных выборок (при максимальном числе $m_{\max}$) из исходной точки до первой удачной выборки и рабочий шаг в этом направлении. Принятый алгоритм предусматривает также управление длиной шага перемещения h . Так, если количество попыток превосходит заданное число m , шаг уменьшается (делится пополам). В случае успешного продвижения, т.е. когда лучшая точка находится при числе попыток меньше m , предусматривается увеличение (удвоение) шага (не более $h_{\max}$). Оптимальная точка считается найденной, если в процессе поиска экстремума шаг снижается до предельно заданного $h_{\min}$.

Рассмотренный генетический алгоритм, имитирующий эволюционный отбор в живой природе, по сравнению со своим природным аналогом является простейшим, вместе с тем содержит все основные операторы природного аналога – селекцию, скрещивание и мутацию. На каждом шаге итерации объектом рассмотрения служит популяция возможных решений задачи (хромосом, состоящих из генов). Причем эти решения могут быть представлены как в физических единицах, так и в кодированном (битами) виде. В нашем случае хромосомы представлены в кодированном виде.

Начальная популяция N_p образуется посредством генератора псевдослучайных чисел. Оператор селекции, в соответствии со значениями функции приспособленности (близости к решению задачи), осуществляет отбор хромосом с целью их участия в последующем процессе репродукции (путем скрещивания), т.е. порождения новых элементов популяции. После соответствующей селекции оператор скрещивания (кроссовер) осуществляет обмен частями хромосом между двумя (либо более) хромосомами в популяции. Как показали наши исследования, вид кроссовера значительно влияет на эффективность генетического алгоритма. Здесь возможны одноточечный, либо многоточечный кроссовер. В случае одноточечного кроссовера родительские структуры случайным образом разрываются на два сегмента, затем соответствующие сегменты различных родителей объединяются, образуя два генотипа потомков. В алгоритме предусмотрен также оператор мутации, который осуществляет стохастическое изменение генетической строки, т.е. части хромосом.

При синтезе поискового алгоритма важное значение имеет критерий останова. Если в алгоритме случайного поиска критерием останова нами принят шаг поиска (h), т.е. процесс поиска завершается при достижении наперед заданного минимального значения шага ($h_{\min}$), то в генетическом алгоритме в качестве критерия останова принято минимальное значение (ξ) отклонения целевой функции (в худшей строке популяции) в $k+1$ -й и k -й итерациях.

Успех оптимизации во многом определяется выбором поискового метода, набором управляющих операторов (структурная адаптация), что, в свою очередь,

обусловлено природой задачи - ее особенностями. Эффективность поиска не в меньшей мере зависит от значений управляющих параметров (параметрическая адаптация). Небольшие изменения значений управляющих параметров могут изменить результат поиска.

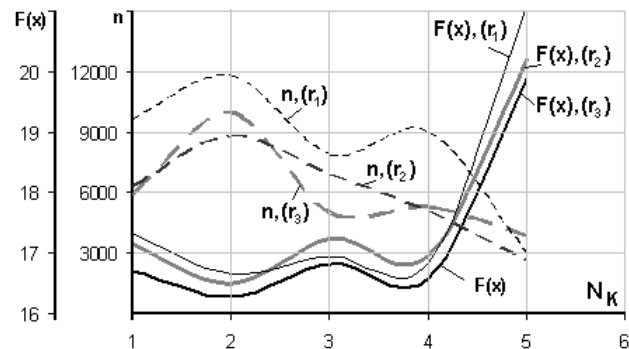


Рис.2. Зависимости целевой функции ($F(x)$) и количества обращений (n) к модели от вида (количества точек разрыва хромосомы) кроссовера (спаривания) N_k из различных начальных точек (r) в генетическом алгоритме

Для исследования работоспособности алгоритма в различных ситуациях и сравнительной оценки эффективности алгоритмов в одинаковых ситуациях обычно используют тестовые функции. Однако, несмотря на большое разнообразие, существующие тестовые функции не могут в полной мере отразить все особенности реальных задач и пока остаются лишь средством для имитации экстремальных задач без ограничений.

В качестве тестовой модели в работе принята модель синхронного явнополюсного генератора мощностью 20 кВт. Сформулируем следующую задачу оптимизации.

Найти минимальный активный объем генератора $D_a^2 l$ вариацией внешнего диаметра статора D_a , относительного диаметра расточки статора D_i/D_a , относительной высоты спинки статора $2h_a/(D_a - D_i)$, относительной ширины паза d/t , длины статора l , числа эффективных проводников в пазу S_n , коэффициента полюсного перекрытия α_i , относительной ширины полюса b_m/b_p , относительного воздушного зазора δ/δ_m , плотности тока возбуждения J_v при следующих ограничениях в виде неравенств: КПД η , отношение короткого замыкания ОКЗ, максимальные значения индукций в зубцах B_z , спинке $B_{сп}$, полюсах B_p , продольные переходная и сверхпереходная реактивности x'_d и x''_d , фактор нагрева статора $AS \cdot J_a$, потери в обмотке возбуждения P_v , суммарная масса меди $G_{мед}$, сечение, занимаемое катушкой возбуждения $S_{вт}$.

Таким образом, решается нелинейная многопараметрическая задача

$$F(\bar{x}) = F(x_1, x_2, \dots, x_k) \rightarrow \min_{x \in D} \Rightarrow \bar{x}^*$$

с множеством ограничений типа неравенств

$$D: \varphi_i(\bar{x}) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_k) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, l.$$

Для входа в допустимую область D используется дополнительная неотрицательная функция [3]

$$Q(\bar{x}) = \sum_{\varphi_i < 0} \frac{|\varphi_i|}{|\varphi_i| + 1}.$$

При оценке эффективности алгоритмов нас прежде всего будет интересовать скорость и точность сходимости поиска. Под скоростью поиска будем понимать значение, обратное количеству обращений к модели. При такой формулировке скорость сходимости является интегральным критерием и определяет эффективность алгоритма поиска в течение всех шагов от некоторой исходной позиции до достижения цели.

Для настройки управляющих параметров рассмотренных алгоритмов проведем комплекс численных экспериментов на сформулированной тестовой модели.

На рис.1,2 представлены результаты численных исследований генетического алгоритма с различными значениями управляющих параметров. Приведенные результаты весьма убедительно свидетельствуют о значительной зависимости эффективности генетического алгоритма от численных значений управляющих параметров, что, в свою очередь, подтверждает важность параметрической адаптации [4].

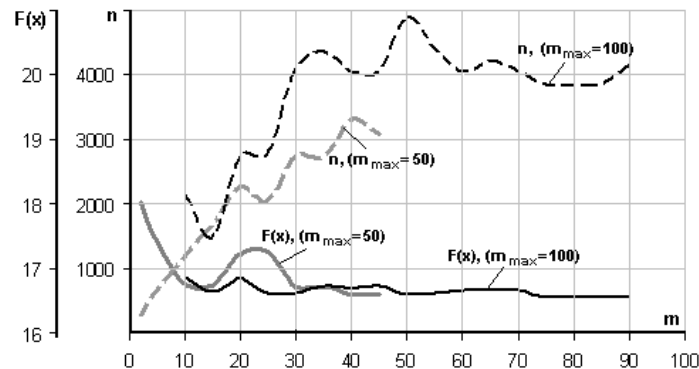


Рис.3. Зависимости целевой функции ($F(x)$) и количества обращений (n) к модели от количества случайных выборок (m) в текущей точке при различных значениях максимального количества выборок (m_{max}) в алгоритме гиперболического случайного поиска

Из анализа результатов численных экспериментов (рис.1) явствует, что наилучший результат по целевой функции ($F(x)=16,5$) получен при числе обращений $n=5500$ и следующих управляющих параметрах: начальная популяция $N_p=100$, селекция $\Delta_c = 80\%$, мутация $M= 4\%$ (рис.1 д).

Таблица

strand	Координаты варьируемых переменных в оптимальной точке										F(x)10 ³ см ³	n
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀		
Генетический алгоритм (M=4%, N _k =2, N _p =100, Δ _C = 80%)												
84	381,0	0,686	0,687	0,598	113,8	11	0,768	0,618	1,35	3,56	16,51502	8580
24	386,8	0,686	0,698	0,594	112,2	11	0,770	0,621	1,36	3,54	16,30320	9820
1005	386,4	0,687	0,701	0,594	112,3	11	0,770	0,600	1,36	3,56	16,39212	10460
18	403,0	0,680	0,668	0,578	112,9	11	0,766	0,603	1,36	3,49	16,81780	4940
79	381,1	0,684	0,673	0,598	116,2	11	0,770	0,626	1,35	3,56	16,74127	9060
238	383,2	0,686	0,701	0,594	113,0	11	0,769	0,597	1,35	3,59	16,29848	10260
401	384,3	0,686	0,705	0,594	112,0	11	0,770	0,622	1,36	3,60	16,33808	12940
319	388,9	0,683	0,712	0,594	112,1	11	0,769	0,911	1,36	3,59	16,56253	10460
1890	396,8	0,681	0,666	0,582	112,5	11	0,764	0,623	1,36	3,56	16,78358	7420
6222	381,0	0,689	0,687	0,594	115,3	11	0,769	0,627	1,36	3,60	16,65403	11100
Алгоритм случайного поиска (m=75, m _{max} =100, h _{нач} =0,1, h _{max} =0,5, h _{min} =0,00001)												
84	381,0	0,689	0,708	0,593	113,5	11	0,770	0,624	1,35	3,58	16,47076	8681
24	381,0	0,678	0,670	0,582	112,9	11	0,770	0,609	1,35	3,57	16,38584	6011
1005	381,0	0,687	0,690	0,595	112,6	11	0,770	0,627	1,35	3,54	16,33933	4975
18	381,0	0,688	0,693	0,593	113,5	11	0,770	0,628	1,35	3,46	16,46999	6671
79	381,0	0,685	0,692	0,585	116,3	11	0,770	0,581	1,35	3,59	16,88878	7063
238	381,0	0,678	0,671	0,582	112,8	11	0,770	0,604	1,35	3,58	16,37243	6589
401	381,0	0,685	0,694	0,595	112,6	11	0,770	0,630	1,35	3,57	16,34419	3897
319	381,0	0,676	0,663	0,583	113,8	11	0,770	0,609	1,35	3,57	16,52593	5682
1890	381,0	0,692	0,693	0,595	114,5	11	0,770	0,538	1,35	3,60	16,61675	6339
6222	381,0	0,683	0,680	0,596	113,6	11	0,770	0,629	1,358	3,46	16,50239	3796

На рис.2 приведены зависимости целевой функции $F(x)$ и количество обращений к модели от вида кроссовера, т.е. от количества точек разрыва хромосомы N_k в генетическом алгоритме. Как видно из рисунка, наилучшие результаты получены при двухточечном кроссовере. Для настройки управляющих параметров принятого алгоритма случайного поиска на рис.3 представлены соответствующие результаты численных экспериментов.

Из рис.3 видно, что такой же результат $F(x)=16,5$, полученный генетическим алгоритмом, случайным поиском достигается за 3800 обращений к модели при следующих управляющих параметрах : $m=75$, $m_{max}=100$.

Приняв полученные настройки в качестве базовых управляющих параметров, был проведен комплекс численных экспериментов по решению поставленной задачи генетическим алгоритмом и алгоритмом случайного поиска из различных начальных позиций (strand).

Из сопоставительного анализа полученных результатов (табл.) явствует, что точность рассмотренных алгоритмов примерно одинаковая. При этом поиск по генетическому алгоритму достигает цели за несколько большее количество обращений к модели, чем по случайному поиску. Вместе с тем следует отметить, что в случае использования параллельного вычислителя картина может быть иной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Растригин Л.А.** Статистические методы поиска.- М.: Наука, 1968. - 376 с.
2. **Holland J.H.** Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of the Michigan Press, 1975.
3. **Терзян А.А.** Автоматизированное проектирование электрических машин.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
4. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Казарян Д.С., Григорян А.А.** К автоматической адаптации в задачах принятия решений // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН. – 2003. - Т.56, №3. - С. 468-475.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.11.2004.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Գ.Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄԵՐ

Դիտարկված են գենետիկ ալգորիթմերը՝ պատահական որոնման ալգորիթմ-ների համադրությամբ: Մեծածավալ թվային գիտափորձի իրականացման արդյունքում ցույց է տրված, որ այդ ալգորիթմերը, միավորված լինելով կենդանի բնության կառավարման մոդելներով, արդյունավետորեն լուծում են որոշումների ընդունման բազմապարամետրիկ ոչ գծային էքստրեմալ խնդիրներ:

A.A. TERZIAN, G.G. SARGSYAN

GENETICAL ALGORITHMS OF DECISION MAKING

Genetical algorithms compared with random search algorithms are con-sidered. The results of conducting considereable volume of numerical experiments show that these algorithms united by using control models of living nature efficiently solve multiparametric extremum decision making problems.

М.М. ОСИПЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Проведено исследование системной методологии и задач статистической оптимизации микросхем. Дано обоснование концепции микроконтроллерной автоматизированной контрольно-измерительной аппаратуры входного контроля цифровых интегральных схем с последующей оценкой эффективности ее функционирования. Предложена модель процесса тестирования и получены зависимости вероятности обнаружения ошибок от параметров системы испытаний и продолжительности испытаний от оптимизации тестовых последовательностей.

Ключевые слова: входной контроль цифровых интегральных схем, автоматизированная контрольно-измерительная аппаратура, микроконтроллер, микроконтроллерная система, статистическая оптимизация микросхем, «тест-маршрут», автоматизированное рабочее место.

Проблема испытания цифровых интегральных схем (ЦИС) и необходимость прогнозирования процента выхода годных микросхем на этапе их проектирования актуальна. Один из основных этапов, регламентирующих направленное развитие автоматической испытательной аппаратуры, рассматривается как «входной контроль» микросхем у пользователя в процессе приобретения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА).

Повышение степени интеграции и функциональной сложности ЦИС привело, с одной стороны, к обеспечению их массового применения в различных областях науки и техники, а с другой - созданию ощутимого разрыва между технологическими достижениями в микроэлектронике и имеющимся в производстве контрольно-измерительным оборудованием (КИО). При этом формирование полных моделей испытания ЦИС пока не представляется возможным в силу их функциональной сложности и недостаточности знания всех механизмов отказов и сбоев при динамическом функционировании элементов микронных и субмикронных размеров в монолитном блоке. Проблема усугубляется с имитацией реальных условий их функционирования в аппаратуре в частности, из-за сложности формального описания этих условий.

Анализ существующих моделей («Электрон-СД», серии установок УТК- 2, 2М, 1М, 5М, 3, 21; из зарубежных – LSI test system, INSPECTOR 100 digital IC test system, ANALLIFIER 901 и др.), начиная с КИА «Вахта-1» и кончая современными автоматизированными многопостовыми системами, а также разработками таких зарубежных фирм, как Credence Systems Corp., Gen Rad Inc., Logic Vision Inc., HPL Moduls, позволяющих испытывать даже сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), предусматривающих самотестирование и автоматическую самокалибровку, обладающих высоким уровнем модульности

архитектуры, показывает, что существующие средства и методы контроля и испытаний ЦИС недостаточно совершенны. Возможно, что они взаимодополняемы, но в целом не в состоянии обеспечить испытательные режимы, соответствующие условиям реальной эксплуатации ЦИС.

При детальном исследовании положений возможных структур КИА (проблема в ошибочной первоочередности при разработке микросхем, нецелесообразности введения входного контроля ЦИС, увеличении количества автоматизированных рабочих мест (АРМ) и т.д.) отметим блочно-модульный принцип построения, не отражающий системной целостности КИА. Такое представление вопроса при существующем изобилии методов и средств испытаний предугадывает на сегодняшний день постановку задачи исследования системной методологии (классы тестируемых ЦИС, системы критериев выбора эффективности КИА, стратегии последовательности решения и т.д.) и статистической оптимизации микросхем. Например, анализируя состояние вопроса по определению статистических характеристик выходных параметров микросхем, прогнозированию и выработке рекомендаций для обеспечения максимальной вероятности выхода годных микросхем, можно констатировать, что для реализации прецизионных статистических расчетов микросхем в пределах допустимых затрат машинного времени необходимо иметь методы и программы статистического анализа микросхем при произвольных законах распределения параметров элементов с реально существующими статистическими связями между ними [1]. Об оценках времени известно, что для многопроцессорных систем за счет распараллеливания вычислений (операций) невозможно получить более существенное сжатие времени вычислений, чем порядка корня квадратного от времени, затрачиваемого при оптимальных по времени последовательных вычислениях. Можно, конечно, значительно сократить время статистической оптимизации по критерию максимальной вероятности выхода годных микросхем, используя широко применяемую в практике их разбраковки методику оптимального размещения тестов. К примеру, отбор тестов, в свою очередь, может основываться на представлении схемы в виде графа, который затем формализуется в матричном представлении.

Кроме того, обычно методы статистической оптимизации, позволяющие определить оптимальные значения параметров элементов микросхемы, не всегда предполагают рассмотрение вопроса оценки вероятности выхода годных изделий, хотя бы с учетом влияния точностных характеристик автоматизированной контрольно-измерительной аппаратуры (АКИА). Подобная «двузначность» производственного показателя, зависящая от полноты системы электрических параметров микросхемы, объема тестируемых микросхем, выбора методов метрологического контроля, состава и распределения КИО и многих других факторов, нежелательна.

Цель работы - на уровне технической и программной структур предложить новые подходы к организации АКИА входного контроля ЦИС для повышения точности и уменьшения времени их тестирования.

Замена традиционных моделей КИА системой под управлением микроконтроллера (МК) на микропроцессорных (МП) БИС может привести не только к утверждению МК как устройства, предназначенного для автоматизации наиболее часто встречающихся в промышленности технологических

процессов и являющегося своего рода интерфейсом между автоматикой и информатикой, но и к развитию концепции новых микроконтроллерных структур. Быстрый циклический характер работы, определяющий их способность вести обработку данных в «реальном масштабе времени», предопределяет их широкомасштабное применение гораздо легче, чем такие совершенные, как ЭВМ и мини-ЭВМ, или менее совершенные, как микро-ЭВМ и жесткие логические схемы (примером может служить модель семейства микроконтроллеров 68HC05 фирмы MOTOROLA, рис.1) [2].

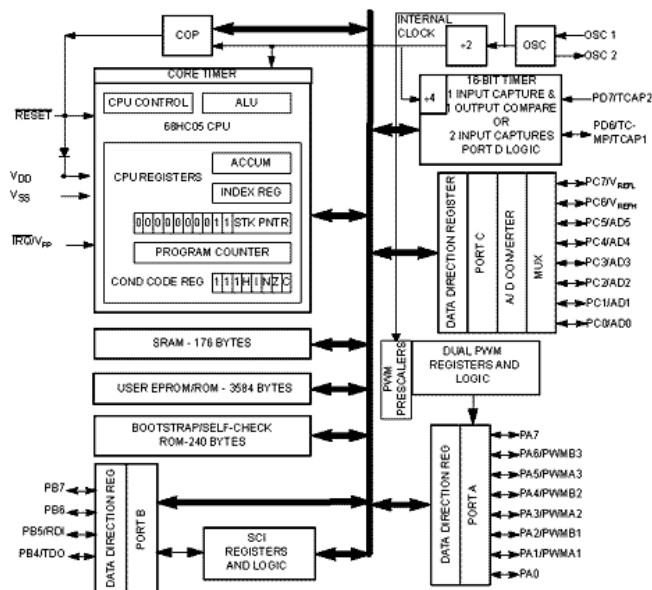


Рис. 1. Блок-схема современного МК из семейства микроконтроллеров 68HC05

Поэтому информационную модель микроконтроллерной системы можно упростить, сведя ее к модели интерфейсного канала («Интерфейса»), состоящего из узлов и направлений информационных потоков с соответствующим их преобразованием.

В цифровых системах управления с МК задачу конструирования будем рассматривать как задачу выбора структуры устройства обработки данных, памяти, каналов обмена, способа организации вычислительного процесса и, наконец, определения типа управления этими устройствами, обеспечивающими требуемую производительность. Не вызывает сомнения, что они будут представлять собой функционально-распределенные вычислительные системы (ВС), состоящие из большого числа специализированных, функционально-ориентированных и проблемно-ориентированных модулей нетрадиционных архитектур. Из эффективных структур выберем информационный граф с параллелизмом объектов, ветвей регулярных связей между операторами и ветвей с произвольным набором операторов и связей и представим микроконтроллерную систему (МК – система), (рис. 2).

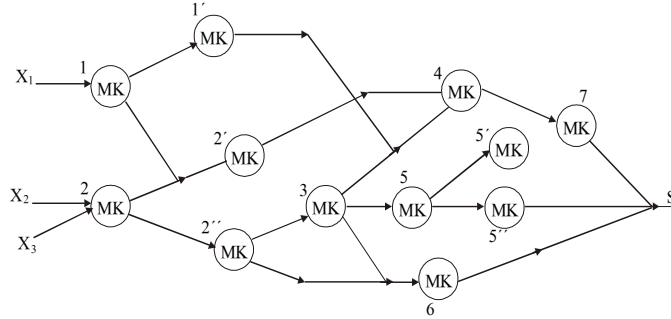


Рис. 2. Информационная граф- модель МК -системы

В вершинах $S_1, S_2, \dots, S_n$ информационного графа (ИГ) находятся операторы – МК, в которых происходит преобразование поступающих на их входы данных. Дуги показывают пути передачи информации между соответствующими вершинами. В каждый момент времени система обеспечивает множество вершин-операторов, готовых к работе. В зависимости от условий, вырабатываемых в различных частях графа, могут быть подключены определенные ветви.

Для рассмотрения вопросов оценки эффективности микроконтроллерной КИА для ЦИС определим сначала эффективность МК при обслуживании микросхем одного типа. Пусть t_{ik} – время, необходимое для обслуживания i -й схемы k -го типа ($k=1, 2, \dots, N$, где N – число типов схем, отличающихся своей функциональной сложностью; $i=1, 2, \dots, n$, n – число схем одного типа). Тогда эффективность (Θ_k) МК при обслуживании схем только одного (k -го) типа выглядит следующим образом:

$$\Theta_k = f(\sum t_{ik}). \quad (1)$$

Вид функции (1) зависит от многих факторов, в том числе от точности измерения и числа выводов схемы. Выражение (1) позволяет сравнивать эффективности различных МК при обслуживании однотипных схем. В случае, когда необходимо сравнить эффективности МК, обслуживающих ЦИС разного типа или даже нескольких разных типов, ситуация усложняется, так как надо учесть различия в сложностях между типами схем. Это достигается введением коэффициента A_k , который зависит от функциональной сложности схемы k -го типа (в самом простом случае зависит от числа измеряемых параметров ЦИС). Пусть M – число выводов микросхемы, V – число измеряемых параметров ЦИС. Тогда выражение для эффективности МК, обслуживающего N типов схем, примет вид

$$\Theta = \Phi(\sum A_k; \sum t_{ik}), \quad (2)$$

где $A_k = \Phi_i(M, V)$.

Зная вид функций Φ и Φ_1 , согласно (2) можно сравнить эффективности работы как различных МК, так и одного МК при обслуживании разных типов ЦИС.

Отметим, что эффективной способностью по обнаружению ошибок обладают операции тестирования. Для практических оценок используют критерии, характеризующие эффективность отдельных метрологических операций. Например, эффективность применения средств измерений для контроля изделия функцией суммарных потерь «С» оценивается следующим образом:

$$C = C_1 P \alpha_o + C_2 (1 - P) \beta_o, \quad (3)$$

где C_1, C_2 – стоимость ущерба, наносимого ошибочными решениями; P – вероятность поступления на контроль годного устройства; α_o, β_o – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов, характеризующие достоверность контроля.

Учитывая и допуская, что «С» можно определить коэффициентом готовности тестирующей системы $K_r = F(\lambda, T_k, t_k, \alpha_o, \beta_o, t_\beta)$, где λ – интенсивность отказов устройств, T_k, t_k – период и длительность контроля, α_o, β_o – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов, t_β – среднее время восстановления технического устройства, получим зависимость вероятности обнаружения ошибок от параметров системы испытаний:

$$P = \frac{F(\lambda, T_k, t_k, \alpha_o, \beta_o, t_\beta) - C_2 \beta_o}{C_1 \alpha_o - C_2 \beta_o}, \quad (4)$$

полагая, что вероятность обнаружения ошибок эквивалентна вероятности обнаружения негодной микросхемы.

Уровень теоретической разработки методов тестирования в значительной мере зависит от объектов. Наиболее полно в настоящее время исследованы методы тестирования программных модулей и небольших групп программ [3]. Обычно модели обнаружения и локализации ошибок определяют выявление всех отклонений результатов функционирования реальной программы от заданных эталонных значений. Это аналогично в процессе тестирования выделению тестируемых маршрутов (назовем «тест-маршрут» методикой). Сложность программных модулей ЦИС можно оценивать по числу маршрутов (M_k), необходимых для их проверки, или более полно по суммарному числу условий (ξ_i), которое необходимо задать в тестах для прохождения всех маршрутов K -й программы:

$$\xi_k = \sum_{i=1}^{M_k} \xi_i, \quad (5)$$

где i – число условий предикатов, определяющих i -й маршрут.

Продолжительность тестирования находится в прямой зависимости от сложности объекта тестирования (A_k) и оптимизации тестовых последовательностей. При статистической оптимизации по критерию максимальной вероятности выхода годных микросхем можно добиться существенного сокращения объема вычислений, рассчитывая микросхему в соответствии с заданной оптимально организованной последовательностью тестов. Можно, например, расположить тесты в последовательности $P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_m$, где P_j – вероятность забраковывания схемы по j -му параметру (i -му тесту модуля).

В соответствии с выбранной совокупностью выходных параметров y_j , которыми характеризуется микросхема, она считается работоспособной, если последние находятся в заданных границах:

$$\begin{aligned} a_1 &\leq y_1(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \leq b_1, \\ a_2 &\leq y_2(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \leq b_2, \\ a_m &\leq y_m(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \leq b_m. \end{aligned}$$

Дополнив выражение (5) выходными параметрами микросхемы, получим

$$A_k = \sum_{i=1}^{M_k} \sum_{j=1}^{l_i} v_{ij} + \xi_i, \quad (6)$$

где V_{ij} – число значений переменной y_m .

Продолжительность тестирования T_k , являясь функцией сложности объекта тестирования A_k , можно выразить зависимостью от вероятности выхода годных микросхем с m -мерной плотностью совместного распределения вероятностей случайных величин (выходных параметров микросхемы, которые в общем случае могут быть коррелированы между собой) - $\varphi(y_1, y_2, \dots, y_m)$:

$$T_k = \sum_{i=1}^{M_k} \sum_{j=1}^m P_j = \sum_{i=1}^{M_k} \sum_{j=1}^m \int_{a_i}^{b_i} \varphi(y_j) dy_j \rightarrow \min. \quad (7)$$

При такой постановке вопроса организацию рабочих мест (РМ) при комплексных испытаниях ЦИС можно осуществить следующим образом (рис.3):

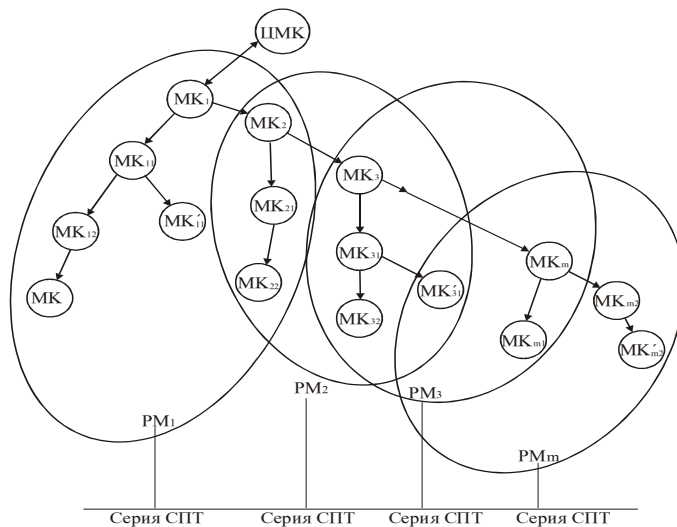


Рис. 3. Граф-модель организации РМ при комплексных испытаниях ЦИС

Структура данной модели базируется на основе объединения, пересечения графов PM_i , где i ($I = \{1, 2, \dots, m\}$):

$$PM = PM_1 \cap PM_2 \cap \dots \cap PM_m = \bigcap_{i=1}^m PM_i.$$

Для автономных испытаний:

$$PM = PM_1 \cup PM_2 \cup \dots \cup PM_b = \bigcup_{i=1}^m PM_i.$$

Возможно, что дальнейшее совершенствование данной модели может привести к изоморфному вложению PM_i , а окончательная граф-модель – к спиралеобразной форме и применимости методов оптимизации без ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беляков Ю.Н., Курмаев Ф.А. Баталов Б.В.** Методы статистических расчетов микросхем на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1985. – 232 с.
2. **Шагурий И.И., Бродин В.Б.** и др. Средства проектирования и отладки систем управления на базе микроконтроллеров Motorola. Обзор, Copyright 1997, Motorola.
3. **Липаев В.В.** Тестирование программ. – М.: Радио и связь, 1986. – 296 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.09.2003.

Մ.Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ԹԻՄ-Ի ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ ՀՄԿՄԱՆ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԻ ՈՐՈՇ ՀԱՐՅԵՐ

Միկրոսխեմաների համակարգչային մեթոդաբանության ու վիճակագրական օպտիմալացման խնդիրների ուսումնասիրման արդյունքում հիմնավորված է ԹԻՄ-ի մուտքային հսկման միկրոկոնտրոլերային ԱՀԶՀ-ի մոդելի մտահղացումը՝ գործունեության արդյունավետության գնահատականով: Մշակված է ԹԻՄ-ի տեստավորման գործընթացի մոդել:

M.M. HOVSEPYAN

SOME PROBLEMS ON QUALITY ESTIMATION FOR DIGITAL CIRCUIT INPUT CONTROL

An investigation of system methodology and statistical optimization tasks of the microcircuits is carried out. The conception of the microcontroller tester for digital circuits input control is proved. A model of the digital circuit testing process is proposed. Dependences on debugging the system testing parameters and testing durability of optimization testing sequences are obtained.

Г.А. АЛЕКСАНИН

О ГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КРИТЕРИЯ ПОПОВА В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ АБСОЛЮТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Предлагается новая геометрическая интерпретация условий абсолютной устойчивости нелинейных систем регулирования, основанная на использовании обычных логарифмических амплитудно-частотных характеристик разомкнутой системы. Данная интерпретация применима как для систем с одним входом и выходом, так и для многомерных систем. Приведены численные примеры расчета на языке MATLAB.

Ключевые слова: многосвязная система регулирования, нелинейная система, характеристические передаточные функции, абсолютная устойчивость, критерий Попова.

Введение. В современной теории регулирования особое внимание уделяется вопросам разработки частотных методов анализа абсолютной устойчивости нелинейных многосвязных систем автоматического регулирования (МСАР), обобщающих на многомерный случай классический критерий В.Н. Попова [1,2]. Наиболее наглядные результаты при этом получаются применением метода характеристических передаточных функций (ХПФ), предложенного для анализа линейных МСАР английским ученым А. МакФарлейном и др. [3]. Так, в [4] получены условия абсолютной устойчивости нелинейных МСАР, выраженные непосредственно через характеристические годографы линейной части системы, и дано распространение на случай МСАР большинства критериев абсолютной устойчивости, известных из классической теории регулирования [5]. Указанные условия имеют простую и наглядную геометрическую форму и могут служить базой для создания специализированных графических интерфейсов пользователя (ГИП), предназначенных для компьютерного анализа и проектирования нелинейных МСАР [6].

Следует подчеркнуть, что все критерии абсолютной устойчивости интерпретируются традиционно на комплексной плоскости обычных или модифицированных амплитудно-фазовых годографов разомкнутой системы (на плоскости Найквиста). Однако при разработке как систем регулирования с одним входом и выходом, так и многомерных систем одним из основных инструментов проектировщика часто являются логарифмические частотные характеристики, известные как диаграммы Боде [5].

В настоящей работе получены новые геометрические аналоги стандартного критерия Попова на плоскости исходных (немодифицированных) логарифмических частотных характеристик разомкнутой системы. Особое значение эти результаты приобретают при создании ГИП для исследования нелинейных одномерных систем и МСАР. Это обусловлено тем, что

применение современных компьютеров практически снимает все вычислительные трудности, связанные с графической реализацией указанных критериев абсолютной устойчивости.

На рис. 1 показана матричная структурная схема N-мерной (то есть имеющей N входов и N выходов) квадратной МСАР с передаточной матрицей линейной части $W(s)$ и диагональной матрицей нелинейностей $F(x) = \text{diag}\{F_i(x_i)\}$, где все нелинейности удовлетворяют секторным ограничениям (рис. 2):

$$0 \leq \frac{y_i}{x_i} \leq k_i, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

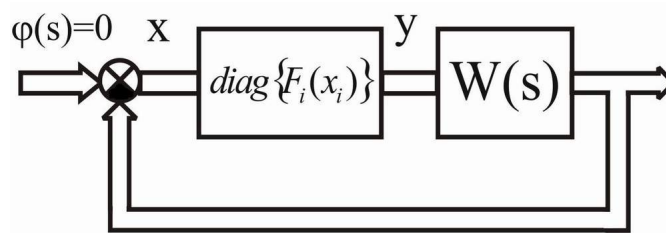


Рис. 1

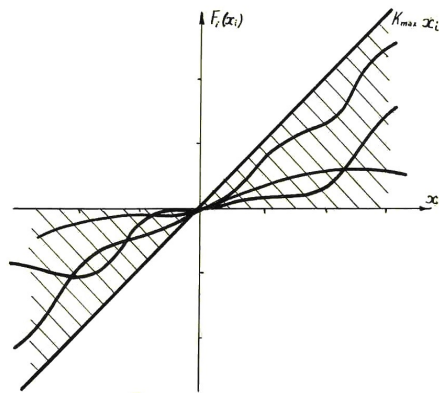


Рис. 2

В [4] показано, что для выполнения достаточных условий абсолютной устойчивости МСАР на рис. 1 требуется, чтобы выполнялись условия

$$\text{Re}\left\{(1 + j\omega Q)q_i(j\omega) + \frac{1}{k_{\max}}\right\} > 0, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где ω - угловая частота; $q_i(j\omega)$ - характеристические передаточные годографы линейной части системы; Q - параметр Попова; $k_{\max} = \max(k_i)$.

При секторных ограничениях (1) условие (2) приводят на плоскости модифицированных годографов $q_i^M(j\omega)$, где $\operatorname{Re}(q_i^M(j\omega)) = \operatorname{Re}(q_i(j\omega))$ и $\operatorname{Im}(q_i^M(j\omega)) = \omega \operatorname{Im}(q_i(j\omega))$, к аналогу стандартного критерия Попова:

$$\operatorname{Re} \left\{ (1 + j\omega Q) q_i(j\omega) + \frac{1}{k_{\max}} \right\} > 0, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

1. Геометрическая интерпретация критерия Попова на плоскости обычных логарифмических характеристик. Рассмотрим геометрическую интерпретацию неравенств (3) на комплексной плоскости обычных характеристических годографов $q_i(j\omega)$. Такая интерпретация не очень важна сама по себе, но оказывается весьма полезной при отображении прямой Попова на логарифмическую плоскость обычных характеристик линейной части МСАР. Перепишем условие (3), заменив знак неравенства знаком равенства:

$$\operatorname{Re}(q_i(j\omega)) - \omega Q \operatorname{Im}(q_i(j\omega)) + \frac{1}{k_{\max}} = 0, \quad (4)$$

т.е. выразим их через обычные характеристические годографы $q_i(j\omega)$. Уравнение (4) определяет на комплексной плоскости семейства $q_i(j\omega)$ прямую линию, проходящую через точку $-1/k_{\max}, j0$ и имеющую наклон $1/\omega Q$, зависящий от произведения ωQ , т.е. для различных частот ω наклон прямой (4) будет различным. Выберем, считая параметр Q заданным, некоторую частоту $\omega = \omega_k$, и отметим ее на всех годографах $q_i(j\omega)$. Тогда необходимое условие (3) будет выполняться, если все точки на годографах $q_i(j\omega)$, помеченные значением ω_k , будут лежать правее соответствующей прямой Попова (4). Это значит, что здесь не ставится требование, чтобы все $q_i(j\omega)$ целиком лежали правее прямой Попова, а речь идет только о множестве N фиксированных точек $q_i(j\omega_k)$. Очевидно, описанная процедура довольно громоздка и затрудняет выбор параметра Q . Поэтому на практике обычно переходят к комплексной плоскости модифицированных годографов $q_i^M(j\omega)$, где наклон прямой Попова не зависит от частоты ω и является при $Q = \text{const}$ постоянным. В то же время приведенная интерпретация дает возможность легко отобразить прямую Попова на логарифмическую плоскость обычных характеристик $q_i(j\omega)$. На рис. 3 показана прямая Попова (4) при

$Q > 0$ и некоторой частоте $\omega = \omega_1$. Там же качественно изображен i -й характеристический годограф $q_i(j\omega)$ с отмеченной точкой $\omega = \omega_1$.

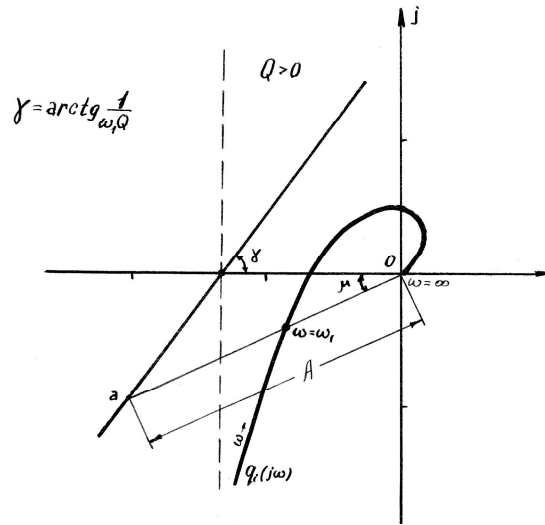


Рис. 3

Проведем прямую из начала координат 0 комплексной плоскости через точку $q_i(j\omega_1)$ до пересечения с прямой Попова и обозначим длину полученного отрезка через A . Тогда из рис. 3 нетрудно найти

$$A = \frac{\sin(\arctg(\frac{1}{\omega_1 Q}))}{k_{\max} \sin(\arctg(\frac{1}{\omega_1 Q}) - \mu)}, \quad (5)$$

где угол μ на рис. 3 считается положительным, когда он отсчитывается против часовой стрелки. Величина A (5) представляет собой то значение модуля $|q_i(j\omega_1)|$ при заданном угле μ , при котором точка $q_i(j\omega_1)$ попадает на прямую Попова, причем данная возможность существует для углов μ , удовлетворяющих неравенству

$$-[180^\circ - \arctg(\frac{1}{\omega_1 Q})] \leq \mu \leq \arctg(\frac{1}{\omega_1 Q}). \quad (6)$$

Следовательно, если имеются логарифмические характеристики ХПФ $q_i(j\omega)$ i -й характеристической системы, то, определяя на каждой частоте ω величину μ , вычисляя по (5) значение A и откладывая на логарифмической плоскости амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) $L[q_i(j\omega)]$ величину $L(A) = 20 \lg(A)$, получим кривую Π (кривую Попова), являющуюся отображением прямой Попова (4). Аналогичные кривые нетрудно построить и на логарифмической плоскости остальных характеристических систем. Если при заданном $Q > 0$ ни одна из АЧХ $L[q_i(j\omega)]$ не пересекается со своими кривыми Попова, то необходимые условия (3) выполняются.

Нетрудно показать, что при $Q < 0$ отображение прямой Попова осуществляется тем же выражением (5), если заменить в нем Q на $-Q$ и $-\mu$ на $+\mu$, сохраняя введенное выше правило определения знака угла μ . При этом вместо (6) имеем

$$\arctg\left(\frac{1}{\omega_1 Q}\right) \leq \mu \leq [180^\circ - \arctg\left(\frac{1}{\omega_1 Q}\right)]. \quad (7)$$

Разумеется, выбор оптимального значения параметра Q при использовании логарифмических характеристик не столь очевиден, как на плоскости модифицированных годографов $q_i^M(j\omega)$, так как различным значениям $Q = \text{const}$ соответствуют различные кривые Попова, имеющие достаточно сложную форму. Однако преимуществом такого подхода является то, что анализируются не модифицированные, а исходные характеристики $q_i(j\omega)$. Выбор Q при этом может быть осуществлен последовательными приближениями.

Отметим, что к отличительной черте описанного способа отображения прямой Попова на логарифмическую плоскость следует отнести то, что для каждого $Q = \text{const}$ мы имеем только одну кривую Попова, тогда как предлагаемые в [7-9] методы требуют построения на плоскости логарифмических характеристик одномерной системы параметрического семейства кривых Попова, зависящих от произведения частоты ω на параметр Q .

2. Примеры. Проиллюстрируем предложенную методику исследования абсолютной устойчивости нелинейных систем на конкретных примерах.

Рассмотрим вначале статическую нелинейную систему с одним входом и выходом с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{20000000(s+50)}{(s+1)(s+2000)(s^2+200s+12500)} \quad (8)$$

и нелинейностями, расположенными в секторе $[0, 1]$.

На рис. 4 построен модифицированный характеристический годограф передаточной функции $W(s)$ (8) и показана линия Попова для $Q = 0,066$. Как видно из рисунка, при выбранном значении параметра Q в нелинейной одномерной системе удовлетворяются достаточные условия абсолютной устойчивости.

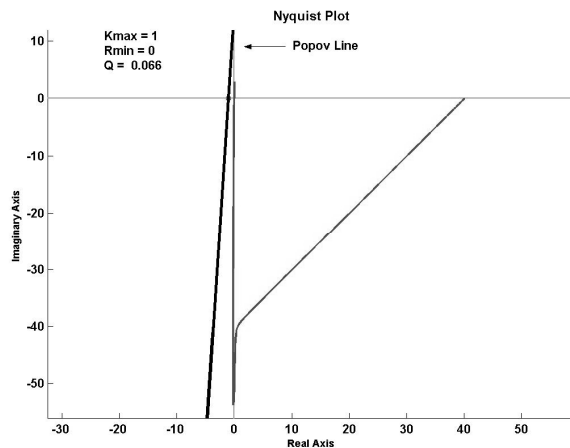


Рис. 4

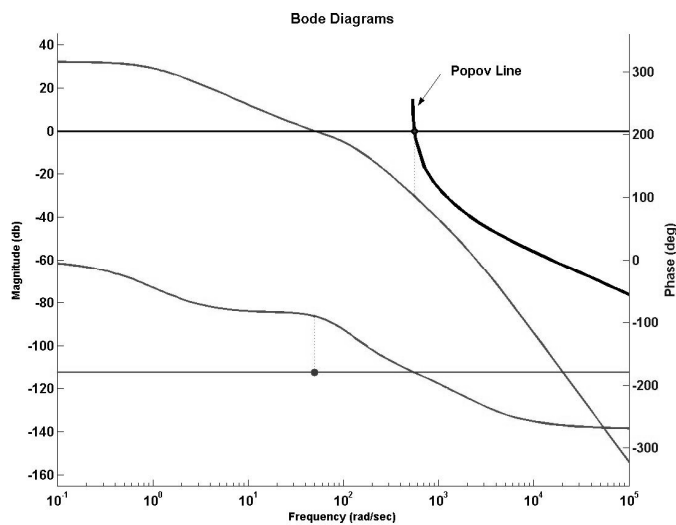


Рис. 5

На рис. 5 приведены соответствующие построения на плоскости логарифмических характеристик (диаграммы Боде), подтверждающие графики на рис. 4.

Проанализируем теперь нелинейную четырехмерную однотипную МСАР, то есть МСАР с одинаковыми передаточными функциями отдельных каналов и жесткими взаимными связями. Допустим, передаточные функции отдельных каналов имеют вид

$$W(s) = \frac{600000000(s+3)}{s(s+0,33)(s+400)^2(s+500)},$$

а матрица жестких взаимных связей равна

$$R = \begin{bmatrix} 0,816 & 0,412 & 0,049 & 0,553 \\ 0,46 & 0,902 & 0,693 & 0,4 \\ 0,457 & 0,006 & 0,65 & 0,199 \\ 0,451 & 0,297 & 0,983 & 0,625 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Матрица (9) имеет следующие собственные значения:

$$\lambda_1 = 1,917; \lambda_2 = 0,464; \lambda_3 = 0,306 + j0,335; \lambda_4 = 0,306 - j0,335,$$

то есть два собственных значения являются действительными, а два остальных – комплексно-сопряженными.

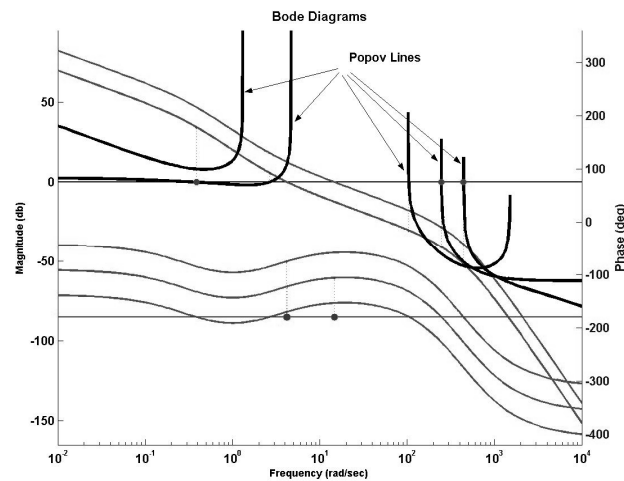


Рис. 6

На рис. 6 показан анализ абсолютной устойчивости данной однотипной МСАР с нелинейностями в секторе $[0,1]$ и единичном значении параметра Попова ($Q = 1$). Как следует из рисунка, при данном значении Q имеются пересечения кривых Попова с соответствующими амплитудно-частотными характеристиками разомкнутых одномерных характеристических систем.

Это означает, что при выбранных параметрах системы и указанном значении Q графические условия абсолютной устойчивости рассматриваемой МСАР не удовлетворяются. Можно показать, что данный вывод справедлив при любом значении параметра Попова Q .

Графики на рис. 4-6 получены при помощи разработанного автором ГИП, работающего в вычислительной среде системы MATLAB.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Джури Э., Ли Б.** Абсолютная устойчивость систем с многими нелинейностями // Автоматика и телемеханика.-1965.-№ 6.-С.14-21.
2. **Moore J.B., Anderson B.D.** Generalization of the Circle Criterion // Preprints JACC (Ann.Arbor, Mich).-1968.-Р.14-19.
3. **MacFarlane A.G.J.** Characteristic Frequency Functions and Characteristic Gain Functions // Int.J.Contr.-1977.- V.25.-Р.36-42.
4. **Гаспарян О.Н.** Исследование абсолютной устойчивости нелинейных многосвязных систем методом характеристических передаточных функций // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. – 1986.- Т. XXXIX.- С. 23-29.
5. **Dorf R.C. and Bishop R.H.** Modern Control Systems.-Addison-Wesley, Menlo Park, CA, 1998.
6. **Dereck A.Linkens (editor).** CAD for Control Systems.-Marcel Dekker, New Yourk, 1995.
7. **Наумов Б.Н.** Теория нелинейных автоматических систем. Частотные методы.-М.:Наука.-1972.-327 с.
8. **Сю Д., Мейер А.** Современная теория автоматического управления и ее приложения.- М.: Машиностроение, 1972. - 544 с.
9. **Chaznarei C., Goodwin R.** Determining the Stability of Nonlinear Systems // Instrum. and Contr. Syst.-1973.-Т.46.-No 6.- Р.13-17.

ИРФЭ НАН РА. Материал поступил в редакцию 28.06.2004.

Գ.Ա. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ

ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՊՈՊՈՎԻ ԶԱՓԱՆԻՇԻ ԵՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ՄԵԿՆԱԲԱՆՈՒՄԸ ԲԱՑԱՐԶԱԿ ԿԱՑՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԵՏԱԶՈՏՈՂ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ

Առաջարկվում է ոչ գծային ավտոմատ կառավարման համակարգերի բացարձակ կայունության նոր երկրաչափական մեկնաբանում՝ հիմնվելով բաց համակարգերի լոգարիթմական ամպլիտուդ-հաճախականային բնութագրերի վրա, որը կիրառելի է ինչպես միաչափ, այնպես էլ բազմաչափ համակարգերի համար: Բերված է թվային օրինակ՝ հաշվարկված MATLAB միջավայրում:

G.A. ALEKSANYAN

ON GRAPHICAL INTERPRETATION OF POPOV'S CRITERION IN THE TASKS OF ABSOLUTE STABILITY INVESTIGATION OF NONLINEAR CONTROL SYSTEMS

A new geometrical interpretation of nonlinear control systems of absolute stability conditions based on the utilization of usual gain-frequency logarithmical characteristics of an open-loop system is proposed. This interpretation is applicable both to single-input single-output control systems and to multiple-input multiple-output control systems. Numerical examples carried out in MATLAB environment are given.

А.Г. ТРДАТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЗАХВАТЫВАНИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Рассматривается методика исследования вынужденных колебаний и явления захватывания в нелинейных гармонически линеаризованных многомерных системах автоматического регулирования, основанная на применении метода характеристических передаточных функций. Особое внимание уделяется не имеющей аналогов в случае одномерных систем задаче исследования колебаний вдоль осей канонического базиса многомерных систем. Приводится численный пример расчета системы на языке MATLAB.

Ключевые слова: нелинейная многомерная система регулирования, метод гармонической линеаризации, метод характеристических передаточных функций, явление захватывания.

Задача исследования вынужденных одночастотных колебаний в нелинейных многомерных системах автоматического регулирования (МСАР) является весьма сложной и многообразной [1]. Особенно это относится к исследованию так называемого явления захватывания в автоколебательных нелинейных МСАР, когда внешнее воздействие навязывает системе свою частоту, подавляя при этом существующие автоколебания. К настоящему времени эта задача достаточно полно решена на основе метода гармонической линеаризации нелинейностей, только для обычных систем автоматического регулирования (САР) [2]. В данной статье дается распространение разработанной в [2] методики на случай нелинейных гармонически линеаризованных МСАР. В качестве основного аппарата используется известный в теории многосвязного регулирования метод характеристических передаточных функций (ХПФ), предложенный для исследования линейных квадратных МСАР известным английским ученым А.Макфарланом [3] и развитый на случай нелинейных МСАР в работах О.Н.Гаспаряна [1].

Рассмотрим нелинейную МСАР с N входами и N выходами (рис. 1), где $W(s)$ - квадратная передаточная матрица линейной части; $F(x)$ - функциональная матрица нелинейностей; x и y - соответственно векторы входных и выходных переменных нелинейных элементов; $\varphi(t)$ - вектор внешних воздействий.

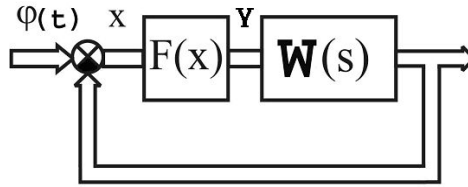


Рис. 1. Матричная структурная схема нелинейной МСАР

Допустим, в нелинейной МСАР (рис. 1) при отсутствии внешних воздействий ($\varphi(t) = 0$) существует режим одночастотных автоколебаний и выполняется свойство фильтра линейной части [2]. Тогда, осуществляя гармоническую линеаризацию нелинейностей, получим следующее приближенное (с учетом только первой гармоники автоколебаний) уравнение динамики МСАР:

$$[I + W(j\omega)G(\bar{A})]\bar{X} = 0, \quad (1)$$

где ω - частота автоколебаний; $G(\bar{A})$ - матрица коэффициентов гармонической линеаризации нелинейностей; $\bar{A}$ - вектор амплитуд A_r колебаний на входах нелинейностей; $\bar{X}$ - соответствующий вектор комплексных амплитуд колебаний с компонентами $X_r = A_r \exp\{j\gamma_r\}$, γ_r - сдвиги по фазе колебаний в r -ом канале.

Как известно [4], в режиме установившихся автоколебаний в гармонически линеаризованных нелинейных МСАР возбуждается только одна характеристическая система, а вектор комплексных амплитуд колебаний направлен по соответствующей оси канонического базиса МСАР. Данное обстоятельство приводит к существенным особенностям исследования вынужденных колебаний при условии захватывания в МСАР, поскольку при этом система должна перейти в режим вынужденных колебаний на частоте входа, а возбуждаемая при автоколебаниях одномерная характеристическая система должна в ряде случаев стать устойчивой. Сказанное в первую очередь относится к не имеющей аналогов в одномерном случае задаче исследования вынужденных колебаний вдоль осей канонического базиса системы, в силу чего основное внимание уделяется именно этой задаче. Что же касается проблемы анализа вынужденных колебаний при произвольных направлениях вектора входных колебаний, когда в МСАР “реагируют” все характеристические системы, то она сводится к решению обычных систем нелинейных алгебраических уравнений и рассмотрена в [5].

Предположим, что на входы автоколебательной нелинейной МСАР на рис. 1 подаются гармонические воздействия с общей частотой Ω и компонентами

$$\varphi_r(t) = B_r \sin(\Omega t + \psi_r), \quad r = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Выясним условия, при которых в нелинейной МСАР возбуждается (реагирует) только одна, например r -я, одномерная характеристическая

система. Поскольку при этом вектор комплексных амплитуд входа $\bar{\varphi}$ должен быть направлен по γ -й оси $C_\gamma(j\Omega, \bar{A})$ канонического базиса, его можно представить в виде

$$\bar{\varphi} = |\bar{\varphi}| C_\gamma(j\Omega, \bar{A}) . \quad (3)$$

Тогда, учитывая известные свойства двойственного базиса [3], получим

$$\bar{X} = \{1/[1 + q_\gamma(j\Omega, \bar{A})]\} |\bar{\varphi}| C_\gamma(j\Omega, \bar{A}) , \quad (4)$$

где $q_\gamma(j\Omega, \bar{A})$ - ХПФ γ -й характеристической системы.

Из (4) следует, что в режиме вынужденных одночастотных колебаний с возбуждением γ -й характеристической системы вектор комплексных амплитуд колебаний на входах нелинейностей $\bar{X}$ направлен по той же оси канонического базиса, что и входной вектор $\bar{\varphi}$, а его модуль равен

$$|\bar{X}| = |\bar{A}| |\bar{\varphi}| / |1 + q_\gamma(j\Omega, \bar{A})| . \quad (5)$$

Кроме того, из указанного выше условия коллинеарности векторов $\bar{X}$ и $C_\gamma(j\Omega, \bar{A})$ вытекает известное из задачи исследования автоколебаний в МСАР [4] условие коллинеарности вектора амплитуд $\bar{A}$ и нормированного действительного вектора $m_\gamma(\Omega, \bar{A})$, составленного из модулей компонент вектора $C_\gamma(j\Omega, \bar{A})$, то есть

$$\bar{A} = |\bar{A}| m_\gamma(\Omega, \bar{A}) . \quad (6)$$

Таким образом, для того чтобы при фиксированной частоте Ω входных гармонических воздействий возбуждалась только γ -я одномерная характеристическая система, необходимо выполнение условий (3),(5),(6). Для определения вектора $\bar{A}$ по этим условиям можно воспользоваться следующей графической методикой, являющейся распространением известной методики Е.П. Попова [2].

На основании (3),(5),(6), запишем

$$|\bar{A}| \exp\{j\Delta\gamma\} = |\bar{\varphi}| / [1 + q_\gamma(j\Omega, \bar{A})] , \quad (7)$$

где $\Delta\gamma$ - одинаковые сдвиги по фазе колебаний переменных x_γ по отношению к входным переменным φ_γ , и представим его в виде

$$Z_\gamma(j\Omega, \bar{A}) = |\bar{\varphi}| \exp\{-j\Delta\gamma\} , \text{ где } Z_\gamma(j\Omega, \bar{A}) = |\bar{A}| [1 + q_\gamma(j\Omega, \bar{A})] . \quad (8)$$

Для всех векторов $\bar{A}$, удовлетворяющих при заданной частоте Ω условию коллинеарности (6), построим на комплексной плоскости кривую $Z_\gamma(j\Omega, \bar{A})$ (8) с параметром $|\bar{A}|$ и проведем окружность радиуса $|\bar{\varphi}|$ с центром в начале координат (рис. 2). Тогда пересечение кривой $Z_\gamma(j\Omega, \bar{A})$ с этой окружностью дает решение задачи исследования вынужденных

колебаний в нелинейных МСАР в направлении γ -й оси канонического базиса системы.

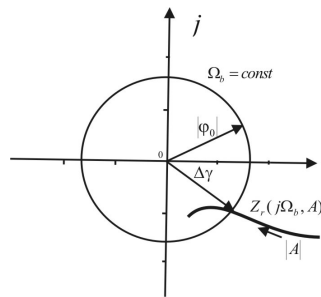


Рис. 2. Графическое решение задачи методом Е.П. Попова

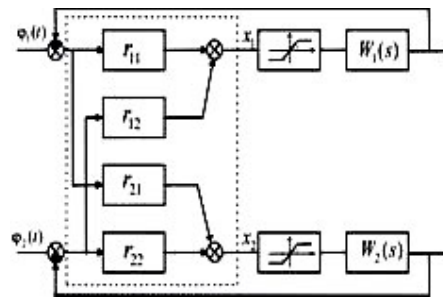


Рис. 3. Двумерная нелинейная система с насыщениями в отдельных каналах

Существенной особенностью рассматриваемой задачи является неравнозначность осей канонического базиса МСАР, поскольку при отсутствии внешних гармонических воздействий вектор комплексных амплитуд автоколебаний $\bar{X}$ всегда направлен по одной из осей базиса, согласованной с возбуждаемой характеристической системой. Поэтому характер изменения пороговой кривой $|\bar{\phi}_{\text{пор}}|$ (т. е. кривой порогового значения модуля вектора комплексных амплитуд входа $\bar{\phi}$, при котором в системе происходит захватывание) вдоль оси канонического базиса, “возбуждаемой” при автоколебаниях, значительно отличается от характера соответствующей кривой вдоль любой другой оси. При этом, если мы хотим получить вынужденные колебания вдоль “неавтоколебательной” оси, то, чтобы МСАР действительно перешла в подобный режим, необходимо, чтобы, помимо выполнения условия захватывания, колебания вдоль “автоколебательной” оси были подавлены. При этом возбуждаемая при автоколебаниях характеристическая система должна стать устойчивой. Это является существенным свойством нелинейных автоколебательных МСАР, которое должно учитываться при их исследовании.

Для иллюстрации данных положений приведем численный пример. С этой целью рассмотрим двумерную нелинейную систему (рис. 3), где передаточные функции $W_1(s)$ и $W_2(s)$ имеют вид

$$W_1(s) = \frac{41,25}{s(1,2s+1)(0,05s+1)}, \quad W_2(s) = \frac{65}{s(1,5s+1)}, \quad (9)$$

а коэффициенты матрицы взаимных связей равны

$$r_{11} = 0,866; \quad r_{12} = 0,5; \quad r_{21} = -0,342; \quad r_{22} = 0,94. \quad (10)$$

Зоны линейности элементов насыщения в отдельных каналах примем равными: $\Delta_1 = 2$; $\Delta_2 = 4$.

Можно показать, что при отсутствии внешних воздействий в МСАР на рис.3 устанавливается режим одночастотных автоколебаний с частотой $\omega = 3,84$ 1/с и амплитудами $A_1 = 6,41$ и $A_2 = 1,075$.

Для нахождения зависимостей пороговых значений $|\bar{\varphi}_{\text{пор}}|$ от частоты Ω входных гармонических воздействий, направленных вдоль осей канонического базиса автоколебательной МСАР на рис. 3, воспользуемся рассмотренной выше методикой (все приведенные ниже расчеты и графические построения осуществлены при помощи разработанной автором программы на языке MATLAB).

На рис. 4а приведена серия параметрических кривых $Z_r(j\Omega, \bar{A})$ при различных $\Omega = \text{const}$, построенных для “неавтоколебательной” оси канонического базиса, а на рис. 4б даны аналогичные построения для “автоколебательной” оси.

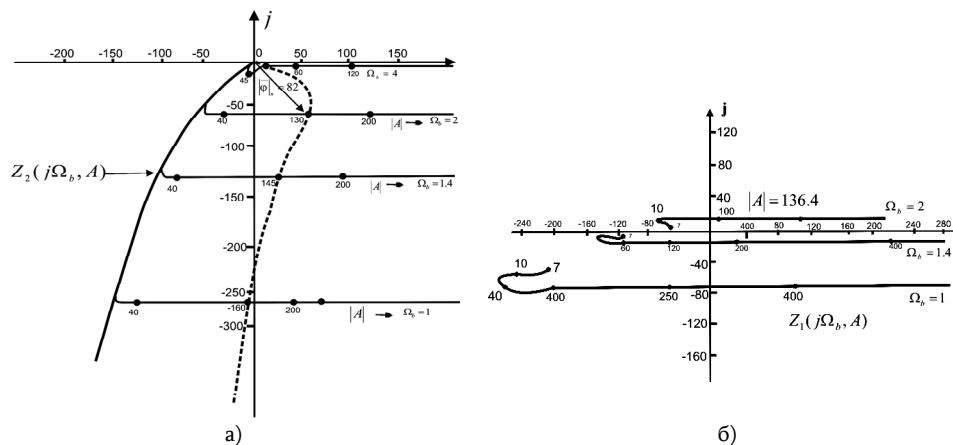


Рис. 4. Анализ вынужденных колебаний: а - вдоль “неавтоколебательной” оси;
б - вдоль “автоколебательной” оси

На основании данных расчетов были найдены зависимости пороговых значений от частоты входных гармонических воздействий (рис. 5). Как видно из данного рисунка, кривая пороговой зависимости вдоль “автоколебательной” оси (кривая 1) имеет такой же характер, что и аналогичная кривая для случая САР с одним входом и выходом [2]. Так, на частоте входа Ω , совпадающей с частотой автоколебаний в МСАР $\omega = 3,84$ 1/с, пороговое значение $|\bar{\varphi}_{\text{пор}}|$ обращается в ноль. Что же касается соответствующей кривой вдоль другой оси канонического базиса (кривая 2), то она имеет монотонный характер.

Указанное свойство неравнозначности осей канонического базиса автоколебательных МСАР в задаче исследования вынужденных колебаний при условии захватывания наблюдается только в многомерных системах и не имеет аналогов в случае САР с одним входом и выходом.

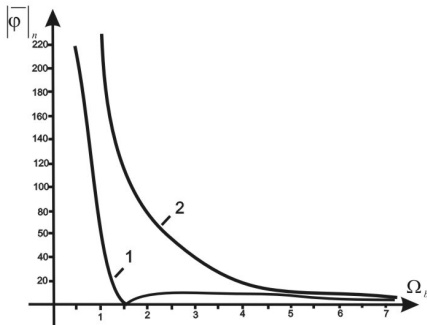


Рис. 5. Кривые зависимостей пороговых значений модуля вектора входных гармонических воздействий МСАР на рис. 3 от частоты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаспарян О.Н.** Вынужденные колебания и частотные показатели качества нелинейных многосвязных систем регулирования // Изв.АН АрмССР. Сер. ТН.-1985.-Т. XXXVIII, N 5.- С. 34-39.
2. **Попов Е.П.** Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах. -М.: Наука, 1973.-584 с.
3. **MacFarlane A.G.J., Belletrutti J.J.** The Characteristic Locus Design Method // Automatica, 1973.- Vol. 9, No 5.- P. 575-588.
4. **Гаспарян О.Н.** Исследование автоколебаний в нелинейных многосвязных системах методом характеристических передаточных функций // Изв.АН АрмССР. Сер. ТН.-1984.-Т. XXXVIII, N 5.-С. 47-51.
5. **Трдатян А.Г.** Вынужденные одночастотные колебания и захватывание в нелинейных многомерных системах автоматического регулирования // Моделирование, оптимизация, управление: Вестник ГИУА. Т.1. - Ереван, 2004. - С.142-150.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.11.2004.

Ա.Հ. ՏՐԴԱՏՅԱՆ

ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՏԱՏԱՆԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱՉԱՓ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԳՐԱՎՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Դիտարկվում է հարկադրական տատանումների և զրավման երևույթի հետազոտման մեթոդիկան ոչ գծային հարմոնիկ գծայնացված բազմաչափ կարգավորման համակարգերում (ԲԱԿՀ)՝ հիմնված ԲՓՖ մեթոդի վրա: Հիմնական ուշադրությունը դարձվում է բազմաչափ համակարգերում կանոնիկ բազիսի երկայնքով տատանումների հետազոտման խնդրի վրա, որը չունի իր նմանակը միաչափ համակարգերում: Ներկայացված է համակարգի թվային հաշվարկ՝ MATLAB լեզվով:

A.H. TRDATYAN

INVESTIGATION ON CATCHING PHENOMENON IN NONLINEAR AUTO-OSCILLATED MIMO CONTROL SYSTEMS

A method of studying forced oscillations and catching phenomenon in nonlinear harmonically linearized nonlinear Multiple - Input Multiple - Output (MIMO) control systems, based on applying characteristic locus design method is described. The main attention is focused on the task of analyzing the oscillations along the axes of the canonical basis of the MIMO systems. This task has no analogues in the classical theory of Single-Input Single-Output (SISO) control systems. A numerical sample of the calculation for a MIMO control system using MATLAB language is presented.

Г.Л. КУРКЧЯН

К ПРОЕКТИРОВАНИЮ НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СКАЛЯРНОГО КОМПЕНСАТОРА

Предложен метод проектирования нелинейных многомерных систем управления на основе концепции скалярного компенсатора, то есть скалярной матрицы, с идентичными передаточными функциями вдоль главной диагонали. Метод позволяет предугадать поведение системы при введении корректирующего звена и существенно упростить процедуру проектирования нелинейных многомерных систем регулирования.

Ключевые слова: проектирование нелинейных многомерных систем автоматического регулирования, скалярный компенсатор, метод характеристических передаточных функций, показатель колебательности.

Сложность современных объектов управления, постоянный рост требований к качеству проектируемых систем обуславливают необходимость дальнейшего развития теории многомерных систем автоматического регулирования (МСАР) (рис.1) и методов их проектирования. В качестве примеров МСАР можно привести: следящие системы антенн радиолокационных станций сопровождения, системы косвенного гидирования (слежения) астрономических телескопов, гироскопические системы, автоматизированные системы управления технологическими процессами в химической, текстильной, угольной и многих других отраслях промышленности. К настоящему времени частотные методы анализа качества и проектирования одномерных систем регулирования получили в инженерной практике широкое распространение. Простота и эффективность этих методов обуславливают целесообразность их развития на многомерный случай.

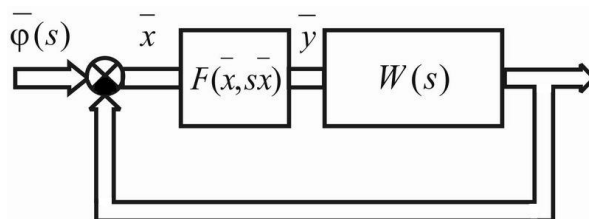


Рис.1. Структурная схема нелинейной МСАР

Несмотря на то, что существует большое количество работ в области исследования нелинейных МСАР, вопросы создания эффективных инженерных

методов проектирования для перечисленных систем изучены в недостаточной степени.

В настоящей работе для проектирования нелинейных многомерных систем предложено использовать концепцию скалярного компенсатора. В математическом виде скалярный компенсатор - это скалярная матрица с одинаковыми передаточными функциями вдоль главной диагонали. Физически же под этим подразумевается введение в прямых каналах нелинейной МСАР одинаковых компенсаторов с идентичными передаточными функциями.

В [1,2] на базе метода характеристических передаточных функций (ХПФ) получены необходимые условия существования автоколебаний в нелинейных квадратных МСАР произвольно высокой размерности. На базе указанных условий удастся распространить на многомерные системы практически все основные результаты классической теории нелинейных систем регулирования с одним входом и одним выходом, касающиеся симметричных и несимметричных одночастотных колебаний, учета высших гармоник и уточнения первой и т.д. Показана возможность развития на многомерный случай такого частотного критерия качества, как показатель колебательности, который впервые было предложено использовать для оценки качества нелинейных одномерных систем в [3,4].

Метод ХПФ [1,6], ставя в соответствие линеаризованной МСАР n -го порядка множество из n одномерных характеристических систем(создает широкие возможности для решения указанной задачи. Так, применяя метод ХПФ, передаточную матрицу $Q(j\omega, \bar{A})$ разомкнутой гармонически линеаризованной МСАР можно представить в виде

$$Q(j\omega, \bar{A}) = C(j\omega, \bar{A}) \text{diag}\{q_i(j\omega, \bar{A})\} C^{-1}(j\omega, \bar{A}), \quad (1)$$

где $\bar{C}_i(j\omega, \bar{A})$ - нормированные собственные векторы матрицы $Q(j\omega, \bar{A})$; $q_i(j\omega, \bar{A})$ - собственные числа матрицы $Q(j\omega, \bar{A})$.

Многие общепринятые в классической теории регулирования частотные понятия и критерии сохраняют в рамках метода ХПФ свой обычный смысл. В особенности это относится к столь удобной для расчетов оценке запаса устойчивости и качества(каковой является показатель колебательности M (вычисляемый по относительной величине резонансного пика амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) замкнутой системы по выходу и ошибке.

Обозначив через M_i показатель колебательности для i - го направления канонического базиса, получим, что постоянным значениям $M_i = \text{const}$ геометрически соответствует на комплексной плоскости семейство концентрических окружностей с центром в $(-1, j0)$ и радиусом $1/M_i$. Отсюда приходим к выводу, что показатель колебательности M_i равен обратной величине радиуса той окружности, которая касается огибающей семейства годографов $q_i(j\omega, \bar{A})$ (рис.2), используемых при исследовании автоколебаний.

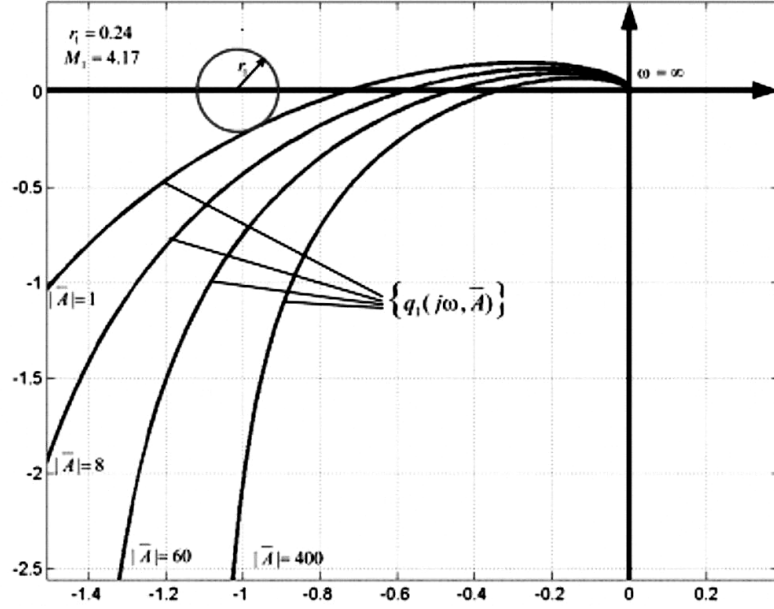


Рис. 2. Семейство характеристических годографов $q_i(j\omega, \bar{A})$ для различных $|\bar{A}| = \text{const}$

Как показано в [1,2], чтобы в системе существовали установившиеся автоколебания, необходимо, чтобы для одной из ХПФ выполнялось условие

$$q_r(j\omega, \bar{A}) = -1, \quad (2)$$

являющееся, как известно, условием нахождения r -й характеристической системы на границе устойчивости, записанным в частотной форме. Кроме того, вектор комплексных амплитуд $\bar{X}$ колебаний должен быть направлен вдоль соответствующей оси канонического базиса $C_r(j\omega, \bar{A})$, т.е. должно выполняться условие

$$\bar{X} = \alpha C_r(j\omega, \bar{A}), \quad (3)$$

где α - некоторая комплексная константа, модуль которой равен модулю вектора $\bar{X}$ и равен, согласно определению модуля комплексного вектора, модулю вещественного вектора амплитуд $\bar{A}$.

Из (2) однозначно вытекает условие коллинеарности вектора амплитуд $\bar{A}$ и нормированного действительного вектора $m_r(j\omega, \bar{A}) = [C_r(j\omega, \bar{A})]$, составленного из модулей компонент вектора $C_r(j\omega, \bar{A})$, т.е.

$$\bar{A} = |\alpha| m_r(j\omega, \bar{A}) = |\bar{A}| m_r(j\omega, \bar{A}). \quad (4)$$

Условия нахождения r -й характеристической системы на границе устойчивости и коллинеарности необходимы для существования симметричных одночастотных автоколебаний в нелинейных гармонически линеаризованных МСАР.

Большинство разработанных методов проектирования нелинейных МСАР не позволяют проектировщику без предварительной теоретической подготовки спроектировать систему и, тем более, предугадать дальнейшее ее поведение при введении коррекции. Предложенный в данной работе метод дает возможность в значительной степени решить данную проблему.

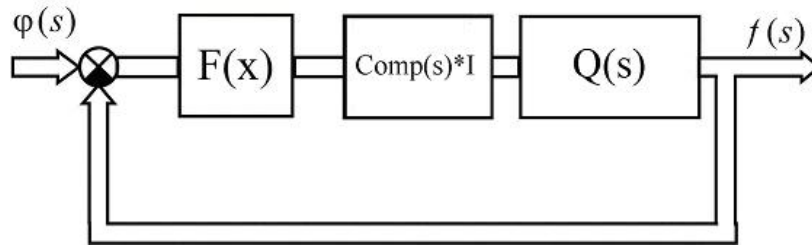


Рис. 3. Структурная схема нелинейной МСАР общего типа со скалярным компенсатором

Как известно из теории матриц [5], при умножении матрицы на произвольный скаляр (что имеет место в данном случае) собственные векторы матрицы не меняются, а собственные числа умножаются на тот же скаляр. Это означает, что введение скалярного компенсатора в исследованную систему (рис.3) не нарушает условия коллинеарности, так как канонический базис системы не меняется. На практике это означает, что в данном случае мы имеем возможность использовать для проектирования и выбора коррекции все вычисления и графические построения системы, которые были сделаны для вычисления вектора амплитуд автоколебания в исходной МСАР. То есть передаточная матрица разомкнутой гармонически линеаризованной МСАР описывается следующим уравнением:

$$Q(j\omega, \bar{A}) * Comp(j\omega) = C(j\omega, \bar{A}) \text{diag}\{q_i(j\omega, \bar{A}) * Comp(j\omega)\} C^{-1}(j\omega, \bar{A}), \quad (5)$$

откуда следует, что канонические базисы исходной и спроектированной систем совпадают, а ХПФ спроектированной системы удовлетворяют уравнению

$$q_{acr}(j\omega) = q_r(j\omega, \bar{A}) * Comp(j\omega), \quad (6)$$

$$r = 1, 2, \dots, n.$$

Следовательно, вводя скалярный компенсатор в исследованную МСАР, можно деформировать ближайшую к окружности $M_i = \text{const}$ характеристику таким образом, чтобы вывести ее из запретной зоны. Остальные же характеристики будут деформироваться пропорционально. Даже изменяя лишь коэффициент усиления корректирующего звена, можно добиться того, чтобы система удовлетворяла заранее заданному значению показателя колебательности.

Очевидно также и другое, не менее важное преимущество данного метода - он позволяет существенно упростить математические расчеты. В частности, рассчитав один раз систему, произведя все необходимые расчеты, в том числе связанные с условием коллинеарности, в последующем отпадает надобность перерасчета системы, так как, складывая кривые уже линеаризованных исходных ХПФ с кривой компенсатора, можно добиться желаемых значений показателя колебательности. Иными словами, вся процедура трудоемкого вычисления нелинейных уравнений системы выполняется один раз, и при введении скалярного компенсатора отпадает необходимость повторного громоздкого вычисления нелинейной МСАР, так как при этом канонический базис спроектированной системы не меняется. Таким образом, разработанная инженерная методика позволяет осуществлять проектирование нелинейных, гармонически линеаризованных МСАР на основе показателя колебательности так же, как и в случае одномерных систем.

Продemonстрируем вышеизложенные результаты на примере трехосной системы стабилизации телескопа [7], установленного в карданном подвесе на искусственном спутнике Земли. Линейная часть системы описывается передаточными функциями в отдельных каналах вида $W_{11} = \frac{160}{s(0,02s+1)(0,03s+1)}$, $W_{22} = \frac{160}{s(0,02s+1)(0,03s+1)}$, $W_{33} = \frac{120}{s(0,02s+1)(0,03s+1)}$ и матрицей R , являющейся матрицей естественных взаимных связей между отдельными каналами стабилизации, обусловленными несовпадением осей чувствительности звездных датчиков с осями стабилизации телескопа. Эта матрица имеет вид

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_2) & \sin(\alpha_1)\sin(\alpha_2) & -\cos(\alpha_1)\sin(\alpha_2) \\ 0 & \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) \\ 0 & -\sin(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) \end{bmatrix},$$

где $\alpha_1 = \alpha_2 = 10^\circ$, $\alpha_3 = -15^\circ$.

Нелинейная часть описывается диагональной матрицей коэффициентов гармонической линеаризации. В качестве нелинейных характеристик взяты нелинейности типа насыщения, в качестве компенсатора - линейный элемент с передаточной функцией интегро-дифференцирующего звена.

На рис.4 показаны характеристические передаточные функции исходной и спроектированной нелинейной МСАР, где $q_i(j\omega, \bar{A})$ - ХПФ первоначально заданной нелинейной МСАР; $q_i(j\omega, \bar{A})Comp(j\omega)$ - ХПФ скорректированной системы; $Comp(j\omega)$ - частотная передаточная функция компенсатора.

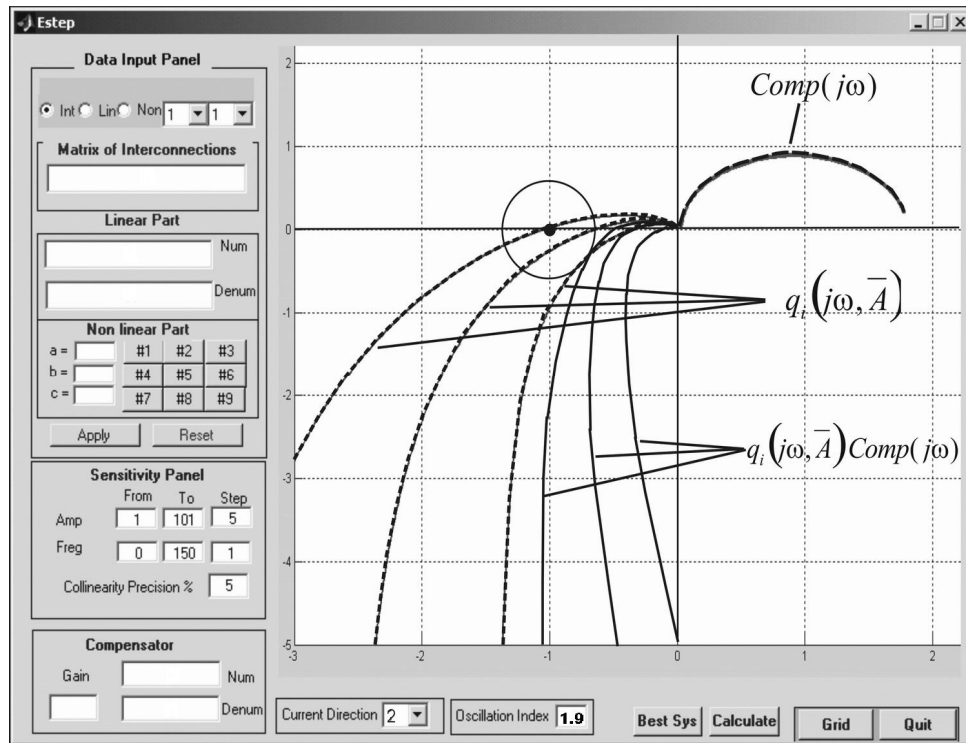


Рис.4. Характеристические передаточные функции исходной и спроектированной нелинейной MCSAR

Как видно из рис.4, при введении скалярного компенсатора в систему, то есть скалярной матрицы с одинаковыми линейными передаточными функциями $Comp(j\omega)$, исходные годографы деформируются так, что характеристические передаточные функции спроектированной системы огибают окружность, характеризуемую заранее заданным показателем колебательности. Очевидно, что, деформируя лишь ближайшую к кругу характеристическую передаточную функцию исходной системы, можно спроектировать MCSAR с заранее заданной величиной качества, а именно, показателем колебательности.

Таким образом, проектирование нелинейной MCSAR при помощи скалярного компенсатора на основе показателя колебательности сводится к задаче, которую можно решить, применив идеи метода проектирования и синтеза одномерных нелинейных систем на основе показателя колебательности, разработанного в [3,4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаспарян О.Н.** Метод характеристических передаточных функций в теории многосвязного регулирования // Тез. докл. Республ. научн.-техн. конф. "Современные системы автоматического управления и их элементы". - Ереван, 1981. - С. 3-9.
2. **Гаспарян О.Н.** Вынужденные колебания и частотные показатели качества нелинейных многосвязных систем регулирования // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1985. - Т.38, N(5). - С. 34-39.

3. **Пальтов И.П.** Качество процессов и синтез корректирующих устройств в нелинейных автоматических устройствах. - М.: Наука, 1975. -367 с.
4. **Попов Е.П.** Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах. - М.: Наука, 1973. -583 с.
5. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. - М.: Наука, 1967.- 470 с.
6. **Sigurd Skogestad, Ian Postlryhwaite.** Multivariable Feedback Control // John Wiley & Sons, Inc. —1996. —572.
7. **Манукян А.М.** Исследование свойств автоколебаний нелинейных многосвязных систем на основе функции чувствительности сингулярных чисел// Моделирование, оптимизация, управление: Сб.научн.тр.- Ереван, 1999.- Вып.2. - С179-184.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 03.09.2004.

Գ. Լ. ԲՈՒՐԲՅԱՆ

**ՄԿԱԼՅԱՐ ԿՈՄՊԵՆՍԱՏՈՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱՉԱՓ ԱՎՏՈՄԱՏ
ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ**

Սկայյար կոմպենսատորի մոտեցման հիման վրա առաջարկված է ոչ գծային բազմաչափ ավտոմատ կարգավորման համակարգերի նախագծման նոր մոտեցում, որը թույլ է տալիս սկայյար կոմպենսատորի կիրառման պարագայում գուշակել համակարգի հետագա վարքը և զգալիորեն դյուրինացնում է ոչ գծային բազմաչափ ավտոմատ կարգավորման համակարգերի նախագծման համար անհրաժեշտ հաշվարկները:

G. L. KURKCHYAN

**ON NONLINEAR MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEMS BASED
ON SCALAR COMPENSATOR**

A new approach for designing nonlinear multivariable control systems based on conception of a scalar compensator, i.e scalar matrix with identical linear transfer functions along main diagonal is proposed. The method allows to predict systems further behavior upon the appliance of the scalar compensator. The method enables to noticeably simplify calculations for designing nonlinear multivariable control systems.

А.В. ГРИГОРЯН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УКРУПНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СХЕМ

Описывается метод укрупнения элементов схемы, применяемый в целях сокращения времени ее функционального моделирования. Показана эффективность данного метода на примере тестировочных логических схем ISCAS85.

Ключевые слова: схема, укрупнение, моделирование, элемент, запись, метка.

Введение. Современные интегральные схемы (ИС) содержат огромное количество элементов, что приводит к затрате больших временных ресурсов при их моделировании. В связи с этим актуальной становится проблема уменьшения количества элементов ИС при условии сохранения функционального смысла схемы. Одним из решений этой проблемы является метод укрупнения элементов схемы. Опыт показывает, что современные ИС содержат многократно встречающиеся подсхемы, отличающиеся друг от друга только входными значениями. Замена таких подсхем одним элементом и является сутью метода укрупнения элементов схемы. Вышеуказанный метод реализован на схемах, описанных на языке построчной записи ИС Alex [1 - 5].

Запись схемы рисунка на языке Alex имеет вид

$$\begin{aligned} & \text{Nand}(2)\text{Nand}(2)x(0)M_3(1)x_3(0)M_1(1)\text{Nand}(2)x_2(0)M_2(1)\text{Nand}(2)M_3(0)x_6(0) \\ & \text{Nand}(2)\text{Nand}(2)M_2(0)x_7(0)M_1(0) \end{aligned} \quad (1)$$

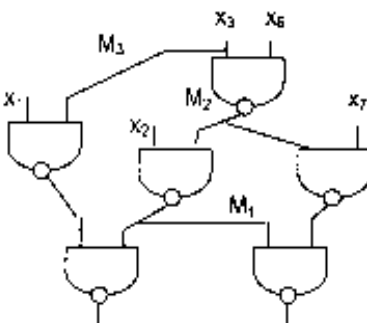


Рис.

1. Функциональное моделирование схемы. Пусть схема S имеет входы $x_1, \dots, x_n$ и выходы $y_1, \dots, y_m$. Под функциональным моделированием понимается процедура нахождения значений на выходах схемы, если известны входные значения схемы $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$. Моделирование осуществляется путем применения нижеследующих процедур (в любом порядке) на запись схемы:

1. Отрезок $f^{(n)} \alpha_1 \dots \alpha_n$ заменяется на значение функции $f(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$.
2. $M_i(1)\alpha$ и $M_i(0)$ заменяются на α .

В результате получают выходные значения.

В качестве примера рассмотрим запись (1). Присвоим входам $x(0), x_2(0), x_3(0), x_6(0)$ и $x_7(0)$ значения 1, 1, 0, 1 и 0 соответственно. Запись примет следующий вид:

$\text{Nand}(2)\text{Nand}(2)1M_3(1)0M_1(1)\text{Nand}(2)1M_2(1)\text{Nand}(2)M_3(0)1\text{Nand}(2)\text{Nand}(2)M_2(0)0M_1(0)$.

Процесс применения процедур 1 и 2 следующий:

$\text{Nand}(2)\text{Nand}(2)10M_1(1)\text{Nand}(2)1M_2(1)\text{Nand}(2)10\text{Nand}(2)\text{Nand}(2)M_2(0)0M_1(0)$

$\text{Nand}(2)1M_1(1)\text{Nand}(2)1M_2(1)1\text{Nand}(2)\text{Nand}(2)M_2(0)0M_1(0)$

$\text{Nand}(2)1M_1(1)0\text{Nand}(2)1M_1(0)0$

$\text{Nand}(2)10\text{Nand}(2)10$

1 1.

Полученные в результате значения 1 1 и являются выходными значениями схемы.

2. Описание метода укрупнения элементов схемы. Исходя из вышеописанного, нетрудно сделать вывод, что время моделирования прямо пропорционально количеству символов в записи схемы. Следовательно, для сокращения данного времени целесообразным становится поиск путей уменьшения объема записи схемы без изменения ее функционального смысла. Во многих случаях эту проблему можно эффективно решить путем укрупнения элементов схемы. Осуществить это можно, последовательно применяя следующие три процедуры:

1. Разложить запись схемы по уровням меток.
2. Найти функционально идентичные подсхемы, отличающиеся друг от друга (быть может) входами, и заменить их одним новым элементом.
3. Подсчитать и сохранить в таблице выходные значения для всех 2^n наборов $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ нового элемента, где n – число входов этого элемента.

В качестве примера рассмотрим запись схемы (1) с пятью входами $x(0), x_2(0), x_3(0), x_6(0)$ и $x_7(0)$ и двумя выходами y_1 и y_2 .

Применяя процедуру 1, получим

$$\begin{aligned} y_1 &= \text{Nand}(2)\text{Nand}(2)x(0)M_3(0)M_1(0) \\ y_2 &= \text{Nand}(2)\text{Nand}(2)M_2(0)x_7(0)M_1(0) \\ M_1(1) &= \text{Nand}(2)x_2(0)M_2(0) \\ M_2(1) &= \text{Nand}(2)M_3(0)x_6(0) \\ M_3(1) &= x_3(0). \end{aligned} \tag{2}$$

Нетрудно заметить, что y_1 и y_2 имеют одинаковую структуру и отличаются друг от друга лишь входами, а именно, $x(0)M_3(0)M_1(0)$ в случае y_1 и $M_2(0)x_7(0)M_1(0)$ в случае y_2 . Заменим в записи (1) все фрагменты $Nand(2)Nand(2)z_1(0)z_2(0)z_3(0)$ на $f(3)z_1(0)z_2(0)z_3(0)$, где $z_1(0), z_2(0)$ и $z_3(0)$ – соответствующие входы или нулевые метки, а f – имя нового элемента, получившегося после укрупнения. Также подсчитаем и сохраним в таблице выходные значения для всех 2^3 наборов $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ данного фрагмента.

После вышеописанных действий выражение (2) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} y_1 &= f(3) x(0)M_3(0)M_1(0) \\ y_2 &= f(3) M_2(0)x_7(0)M_1(0) \\ M_1(1) &= Nand(2)x_2(0)M_2(0) \\ M_2(1) &= Nand(2)M_3(0)x_6(0) \\ M_3(1) &= x_3(0). \end{aligned} \quad (3)$$

Переведя (3) на язык Alex, имеем

$$f(3)x(0)M_3(1)x_3(0)M_1(1)Nand(2)x_2(0)M_2(1)Nand(2)M_3(0)x_6(0)f(3)M_1(0)x_7(0)M_2(0).$$

Время моделирования схемы после применения метода укрупнения элементов сокращается за счет нескольких факторов. Во-первых, значения часто встречающихся фрагментов каждый раз не вычисляются, а берутся из таблиц, созданных заранее, т.е. сначала создается таблица для всех 2^n наборов $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ укрупненного элемента с соответствующими ему выходными значениями. При дальнейшем моделировании значения этих элементов заново не подсчитываются, а извлекаются из таблицы. Вторым немаловажным фактором является сокращение объема записи схемы.

Благоприятствующим фактором в процессе сокращения объема записи схемы является и то, что иногда структурно различные подсхемы реализуют одну и ту же функцию. В качестве примера рассмотрим следующие две схемы:

$$\begin{aligned} z_1 &= And(2)Nand(2)x_1(0)M_3(0)M_1(0) \\ z_2 &= And(2)M_1(0)Nand(2)x_1(0)M_3(0). \end{aligned}$$

Путем несложных преобразований можно убедиться в идентичности этих схем. Это происходит благодаря коммутативности функции $And(2)$, а именно, в случае z_1 аргументами функции $And(2)$ являются $Nand(2)x_1(0)M_3(0)$ и $M_1(0)$, а в случае z_2 – $M_1(0)$ и $Nand(2)x_1(0)M_3(0)$. При этом очередность аргументов не влияет на конечный результат. Коммутативность можно использовать также на уровне аргументов-функций. Нетрудно убедиться, что нижеследующие схемы z_1 и z_2 также идентичны:

$$z_1 = And(2)Nand(2)x_1(0)Or(2)M_3(0)x_2(0)M_1(0) \quad (4)$$

$$z_2 = And(2)M_1(0)Nand(2)Or(2)M_3(0)x_2(0)x_1(0).$$

Однако при замене таких подсхем одной функцией возникает проблема с заданием очередности аргументов. Так, в схеме z_1 (4) аргумент $x_1(0)$ является первым, а в z_2 – третьим. Для разрешения этой проблемы была разработана “стандартная” форма для таких “коммутативно – идентичных” функций, а именно, введен приоритет для аргументов: сначала идут “аргументы – функции”, затем “простые” аргументы, а среди “аргументов – функций” приоритет установлен в алфавитном порядке (на английском языке). После вышеописанной стандартизации схемы z_1 и z_2 из (4) принимают вид

$$z_1 = z_2 = And(2)Nand(2)Or(2)M_3(0)x_2(0)x_1(0)M_1(0).$$

Метод укрупнения элементов схемы был апробирован на тестировочных функциональных схемах ISKAS85. Результаты этих экспериментов приведены в таблице, где N_1, N_2 – соответственно число элементов в записи схемы до и после применения метода; t_1, t_2 – соответственно время моделирования схемы до и после применения метода (100 случайных наборов).

Таблица

Название	N_1	N_2	t_1	t_2	N сокр. %	t сокр. %
c432_bench	396	327	0,85	0,75	17	12
c499_bench	466	298	1,00	0,65	36	35
c1355_bench	1322	938	4,06	2,00	29	51
c1908_bench	1875	1221	6,15	2,66	35	57
c2670_bench	2615	1765	10,46	4,80	33	54
c3540_bench	3494	2563	22,38	9,65	27	56
c5315_bench	5192	3236	113,31	13,42	38	88
c6288_bench	6256	4816	224,18	71,45	23	68
c7552_bench	7475	4604	284,46	47,02	38	83

Для большей наглядности эффективности метода укрупнения элементов приведем записи на языке Alex одной и той же схемы c499_bench до и после применения вышеуказанного метода.

До применения метода:

combinational logic example "c499"

lines from primary input gates 41

lines from primary output gates 32

#

```
XOR(2)X_Gid0(0)AND(2)M_Gs0(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid0(0)X_Gid4(0)XOR(2)X_Gid8(0)X
_Gid12(0)XOR(2)AND(2)X_Gic0(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf4(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid16(0)X_Gid17(0)X
OR(2)X_Gid18(0)X_Gid19(0)M_Gf5(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid20(0)X_Gid21(0)XOR(2)X_Gid22(0)X_Gi
d23(0)M_Gwa(1)AND(5)M_Gs4(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid16(0)X_Gid20(0)XOR(2)X_Gid24(0)X
_Gid28(0)XOR(2)AND(2)X_Gic4(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf0(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid0(0)X_Gid1(0)XO
R(2)X_Gid2(0)X_Gid3(0)M_Gf1(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid4(0)X_Gid5(0)XOR(2)X_Gid6(0)X_Gid7(0)N
OT(1)M_Gs5(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid17(0)X_Gid21(0)XOR(2)X_Gid25(0)X_Gid29(0)XOR(2)
AND(2)X_Gic5(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf2(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid8(0)X_Gid9(0)XOR(2)X_Gid10(0)X
_Gid11(0)M_Gf3(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid12(0)X_Gid13(0)XOR(2)X_Gid14(0)X_Gid15(0)M_Gs6(1)XOR
(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid18(0)X_Gid22(0)XOR(2)X_Gid26(0)X_Gid30(0)XOR(2)AND(2)X_Gic6(0)X
_Gr(0)XOR(2)M_Gf0(0)M_Gf2(0)NOT(1)M_Gs7(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid19(0)X_Gid23(0)XOR
(2)X_Gid27(0)X_Gid31(0)XOR(2)AND(2)X_Gic7(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf1(0)M_Gf3(0)M_Gu0(1)OR(4
)AND(4)NOT(1)M_Gs0(0)NOT(1)M_Gs1(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid1(0)X_Gid5(0)XOR(2)X_Gi
d9(0)X_Gid13(0)XOR(2)AND(2)X_Gic1(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf6(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid24(0)X_Gid
25(0)XOR(2)X_Gid26(0)X_Gid27(0)M_Gf7(1)XOR(2)XOR(2)X_Gid28(0)X_Gid29(0)XOR(2)X_Gid30(
0)X_Gid31(0)NOT(1)M_Gs2(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X_Gid2(0)X_Gid6(0)XOR(2)X_Gid10(0)X_Gid1
4(0)XOR(2)AND(2)X_Gic2(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf4(0)M_Gf6(0)M_Gs3(1)XOR(2)XOR(2)XOR(2)X
_Gid3(0)X_Gid7(0)XOR(2)X_Gid11(0)X_Gid15(0)XOR(2)AND(2)X_Gic3(0)X_Gr(0)XOR(2)M_Gf5(0)
M_Gf7(0)AND(4)NOT(1)M_Gs0(0)NOT(1)M_Gs1(0)M_Gs2(0)NOT(1)M_Gs3(0)AND(4)NOT(1)M_Gs
```

$0(0)M_Gs1(0)NOT(1)M_Gs2(0)NOT(1)M_Gs3(0)AND(4)M_Gs0(0)NOT(1)M_Gs1(0)NOT(1)M_Gs2(0)$
 $NOT(1)M_Gs3(0)XOR(2)X_Gid1(0)AND(2)M_Gs1(0)M_Gwa(0)XOR(2)X_Gid10(0)AND(2)M_Gs2(0)$
 $M_Gwc(1)AND(5)NOT(1)M_Gs4(0)M_Gs5(0)M_Gs6(0)NOT(1)M_Gs7(0)M_Gu0(0)XOR(2)X_Gid11(0)$
 $AND(2)M_Gs3(0)M_Gwc(0)XOR(2)X_Gid12(0)AND(2)M_Gs0(0)M_Gwd(1)AND(5)NOT(1)M_Gs4(0)$
 $M_Gs5(0)NOT(1)M_Gs6(0)M_Gs7(0)M_Gu0(0)XOR(2)X_Gid13(0)AND(2)M_Gs1(0)M_Gwd(0)XOR(2)$
 $X_Gid14(0)AND(2)M_Gs2(0)M_Gwd(0)XOR(2)X_Gid15(0)AND(2)M_Gs3(0)M_Gwd(0)XOR(2)X_Gid$
 $16(0)AND(2)M_Gs4(0)M_Gwe(1)AND(5)M_Gs0(0)NOT(1)M_Gs1(0)M_Gs2(0)NOT(1)M_Gs3(0)M_Gu1$
 $(1)OR(4)AND(4)NOT(1)M_Gs4(0)NOT(1)M_Gs5(0)NOT(1)M_Gs6(0)M_Gs7(0)AND(4)NOT(1)M_Gs4$
 $(0)NOT(1)M_Gs5(0)M_Gs6(0)NOT(1)M_Gs7(0)AND(4)NOT(1)M_Gs4(0)M_Gs5(0)NOT(1)M_Gs6(0)$
 $NOT(1)M_Gs7(0)AND(4)M_Gs4(0)NOT(1)M_Gs5(0)NOT(1)M_Gs6(0)NOT(1)M_Gs7(0)XOR(2)X_Gi$
 $d17(0)AND(2)M_Gs5(0)M_Gwe(0)XOR(2)X_Gid18(0)AND(2)M_Gs6(0)M_Gwe(0)XOR(2)X_Gid19(0)A$
 $ND(2)M_Gs7(0)M_Gwe(0)XOR(2)X_Gid2(0)AND(2)M_Gs2(0)M_Gwa(0)XOR(2)X_Gid20(0)AND(2)$
 $M_Gs4(0)M_Gwf(1)AND(5)M_Gs0(0)NOT(1)M_Gs1(0)NOT(1)M_Gs2(0)M_Gs3(0)M_Gu1(0)XOR(2)X$
 $_Gid21(0)AND(2)M_Gs5(0)M_Gwf(0)XOR(2)X_Gid22(0)AND(2)M_Gs6(0)M_Gwf(0)XOR(2)X_Gid23($
 $0)AND(2)M_Gs7(0)M_Gwf(0)XOR(2)X_Gid24(0)AND(2)M_Gs4(0)M_Gwg(1)AND(5)NOT(1)M_Gs0(0)$
 $M_Gs1(0)M_Gs2(0)NOT(1)M_Gs3(0)M_Gu1(0)XOR(2)X_Gid25(0)AND(2)M_Gs5(0)M_Gwg(0)XOR(2)$
 $X_Gid26(0)AND(2)M_Gs6(0)M_Gwg(0)XOR(2)X_Gid27(0)AND(2)M_Gs7(0)M_Gwg(0)XOR(2)X_Gi$
 $d28(0)AND(2)M_Gs4(0)M_Gwh(1)AND(5)NOT(1)M_Gs0(0)M_Gs1(0)NOT(1)M_Gs2(0)M_Gs3(0)M_G$
 $u1(0)XOR(2)X_Gid29(0)AND(2)M_Gs5(0)M_Gwh(0)XOR(2)X_Gid3(0)AND(2)M_Gs3(0)M_Gwa(0)X$
 $OR(2)X_Gid30(0)AND(2)M_Gs6(0)M_Gwh(0)XOR(2)X_Gid31(0)AND(2)M_Gs7(0)M_Gwh(0)XOR(2)$
 $X_Gid4(0)AND(2)M_Gs0(0)M_Gwb(1)AND(5)M_Gs4(0)NOT(1)M_Gs5(0)NOT(1)M_Gs6(0)M_Gs7(0)$
 $M_Gu0(0)XOR(2)X_Gid5(0)AND(2)M_Gs1(0)M_Gwb(0)XOR(2)X_Gid6(0)AND(2)M_Gs2(0)M_Gwb(0)$
 $XOR(2)X_Gid7(0)AND(2)M_Gs3(0)M_Gwb(0)XOR(2)X_Gid8(0)AND(2)M_Gs0(0)M_Gwc(0)XOR(2)$
 $X_Gid9(0)AND(2)M_Gs1(0)M_Gwc(0)$

После применения метода:

$F1(3)X_Gid0(0)M_Gs0(1)F4(8)X_Gid0(0)X_Gid4(0)X_Gid8(0)X_Gid12(0)X_Gic0(0)X_Gr(0)M_Gf4(1)F$
 $3(4)X_Gid16(0)X_Gid17(0)X_Gid18(0)X_Gid19(0)M_Gf5(1)F3(4)X_Gid20(0)X_Gid21(0)X_Gid22(0)X_G$
 $id23(0)M_Gwa(1)F5(5)M_Gs5(1)F4(8)X_Gid17(0)X_Gid21(0)X_Gid25(0)X_Gid29(0)X_Gic5(0)X_Gr(0)$
 $M_Gf2(1)F3(4)X_Gid8(0)X_Gid9(0)X_Gid10(0)X_Gid11(0)M_Gf3(1)F3(4)X_Gid12(0)X_Gid13(0)X_Gid1$
 $4(0)X_Gid15(0)M_Gs7(1)F4(8)X_Gid19(0)X_Gid23(0)X_Gid27(0)X_Gid31(0)X_Gic7(0)X_Gr(0)M_Gf1(1)$
 $F3(4)X_Gid4(0)X_Gid5(0)X_Gid6(0)X_Gid7(0)M_Gf3(0)M_Gs4(1)F4(8)X_Gid16(0)X_Gid20(0)X_Gid2$
 $4(0)X_Gid28(0)X_Gic4(0)X_Gr(0)M_Gf0(1)F3(4)X_Gid0(0)X_Gid1(0)X_Gid2(0)X_Gid3(0)M_Gf1(0)M$
 $_Gs6(1)F4(8)X_Gid18(0)X_Gid22(0)X_Gid26(0)X_Gid30(0)X_Gic6(0)X_Gr(0)M_Gf0(0)M_Gf2(0)M_Gu$
 $0(1)F2(4)M_Gs0(0)M_Gs1(1)F4(8)X_Gid1(0)X_Gid5(0)X_Gid9(0)X_Gid13(0)X_Gic1(0)X_Gr(0)M_Gf6(1)$
 $F3(4)X_Gid24(0)X_Gid25(0)X_Gid26(0)X_Gid27(0)M_Gf7(1)F3(4)X_Gid28(0)X_Gid29(0)X_Gid30(0)$
 $X_Gid31(0)M_Gs2(1)F4(8)X_Gid2(0)X_Gid6(0)X_Gid10(0)X_Gid14(0)X_Gic2(0)X_Gr(0)M_Gf4(0)M_G$
 $f6(0)M_Gs3(1)F4(8)X_Gid3(0)X_Gid7(0)X_Gid11(0)X_Gid15(0)X_Gic3(0)X_Gr(0)M_Gf5(0)M_Gf7(0)F1$
 $(3)X_Gid1(0)M_Gs1(0)M_Gwa(0)F1(3)X_Gid10(0)M_Gs2(0)M_Gwc(1)F5(5)M_Gs4(0)M_Gs7(0)M_Gs5($
 $0)M_Gs6(0)M_Gu0(0)F1(3)X_Gid11(0)M_Gs3(0)M_Gwc(0)F1(3)X_Gid12(0)M_Gs0(0)M_Gwd(1)F5(5)M$
 $_Gs4(0)M_Gs6(0)M_Gs5(0)M_Gs7(0)M_Gu0(0)F1(3)X_Gid13(0)M_Gs1(0)M_Gwd(0)F1(3)X_Gid14(0)M$
 $_Gs2(0)M_Gwd(0)F1(3)X_Gid15(0)M_Gs3(0)M_Gwd(0)F1(3)X_Gid16(0)M_Gs4(0)M_Gwe(1)F5(5)M_Gs1$
 $(0)M_Gs3(0)M_Gs0(0)M_Gs2(0)M_Gu1(1)F2(4)M_Gs4(0)M_Gs5(0)M_Gs6(0)M_Gs7(0)F1(3)X_Gid17(0)$
 $M_Gs5(0)M_Gwe(0)F1(3)X_Gid18(0)M_Gs6(0)M_Gwe(0)F1(3)X_Gid19(0)M_Gs7(0)M_Gwe(0)F1(3)X$
 $_Gid2(0)M_Gs2(0)M_Gwa(0)F1(3)X_Gid20(0)M_Gs4(0)M_Gwf(1)F5(5)M_Gs1(0)M_Gs2(0)M_Gs0(0)M$
 $_Gs3(0)M_Gu1(0)F1(3)X_Gid21(0)M_Gs5(0)M_Gwf(0)F1(3)X_Gid22(0)M_Gs6(0)M_Gwf(0)F1(3)X_Gid23$
 $(0)M_Gs7(0)M_Gwf(0)F1(3)X_Gid24(0)M_Gs4(0)M_Gwg(1)F5(5)M_Gs0(0)M_Gs3(0)M_Gs1(0)M_Gs2(0)M_Gu1(0)$
 $F1(3)X_Gid25(0)M_Gs5(0)M_Gwg(0)F1(3)X_Gid26(0)M_Gs6(0)M_Gwg(0)F1(3)X_Gid27(0)M_Gs7(0)M_Gwg(0)F1($
 $3)X_Gid28(0)M_Gs4(0)M_Gwh(1)F5(5)M_Gs0(0)M_Gs2(0)M_Gs1(0)M_Gs3(0)M_Gu1(0)F1(3)X_Gid29(0)M_Gs5(0)$
 $M_Gwh(0)F1(3)X_Gid3(0)M_Gs3(0)M_Gwa(0)F1(3)X_Gid30(0)M_Gs6(0)M_Gwh(0)F1(3)X_Gid31(0)M_Gs7(0)M_G$
 $wh(0)F1(3)X_Gid4(0)M_Gs0(0)M_Gwb(1)F5(5)M_Gs5(0)M_Gs6(0)M_Gs4(0)M_Gs7(0)M_Gu0(0)F1(3)X_Gid5(0)M$
 $_Gs1(0)M_Gwb(0)F1(3)X_Gid6(0)M_Gs2(0)M_Gwb(0)F1(3)X_Gid7(0)M_Gs3(0)M_Gwb(0)F1(3)X_Gid8(0)M_Gs0(0)$

)M_Gwc(0)F1(3)X_Gid9(0)M_Gs1(0)M_Gwc(0)

В схеме использовались следующие шаблоны, где через $Z_{(0)}$ обозначены входы:

$F1(3)Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}=XOR(2)Z_{(0)}AND(2)Z_{(0)}Z_{(0)}$

$F3(4)Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}=XOR(2)XOR(2)Z_{(0)}Z_{(0)}XOR(2)Z_{(0)}Z_{(0)}$

$F4(8)Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}=XOR(2)F3(4)Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}XOR(2)AND(2)Z_{(0)}Z_{(0)}XOR(2)Z_{(0)}Z_{(0)}$

$F5(5)Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}=AND(5)NOT(1)Z_{(0)}NOT(1)Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}Z_{(0)}$

$F2(4)Z_1(0)Z_2(0)Z_3(0)Z_4(0)=OR(4)AND(4)NOT(1)Z_1(0)NOT(1)Z_2(0)NOT(1)Z_3(0)Z_4(0)AND(4)NOT(1)Z_1(0)NOT(1)Z_2(0)Z_3(0)NOT(1)Z_4(0)AND(4)NOT(1)Z_1(0)Z_2(0)NOT(1)Z_3(0)NOT(1)Z_4(0)AND(4)Z_1(0)NOT(1)Z_2(0)NOT(1)Z_3(0)NOT(1)Z_4(0)$

Необходимо отметить, что при использовании шаблона F5(5) учтена коммутативность функции AND(5), а в случае шаблона F2(4) ввиду совпадения некоторых аргументов между собой число аргументов сократилось с 16 до 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бозоян Ш.Е.** Язык описания функциональных схем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1978. – N4. – С. 82 – 90.
2. **Бозоян Ш.Е.** Приспособление языка Лукасевича к описанию функциональных схем: ДАН АрмССР, 1979. – Т. 63, N 4. – С. 116 – 122.
3. **Бозоян А.Ш., Бозоян Ш.Е.** О приближении логических схем минимальными ее подсхемами // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. научн. тр. ГИУА. – 1999. – Вып. 2. – С. 25 – 30.
4. **Бозоян Ш.Е., Егиазарян В.С.** Некоторые процедуры над логическими схемами и их реализация на языке Alex // Электронный журнал “ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ”, <http://zhurnal.ape.relarm.ru/2003/073.pdf>. – С. 617 – 284.
5. **Бозоян Ш.Е., Егиазарян В.С.** Новый подход к модульно-ориентированному проектированию систем на чипах // Электронный журнал “ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ”, <http://zhurnal.ape.relarm.ru/2003/115.pdf>. – С. 1386-1395.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.05.2004.

Ա. Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ԿՐՃԱՏՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ
ՄԵԾՄԱՅԻ ՏԱՐԴԵՐԻ ԽՈՇՈՐԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԿԻՐԱԾՈՒՄԸ**

Նկարագրվում է սխեմայի տարրերի խոշորացման մեթոդը, որը թույլ է տալիս կրճատել վերջինիս ֆունկցիոնալ մոդելավորման ժամանակը: ISCAS85 տեստային սխեմաների օրինակի վրա ցույց է տրվում նշված մեթոդի արդյունավետությունը:

A. V. GRIGORYAN

APPYING THE ENLARGEMENT METHOD OF CIRCUIT ELEMENTS FOR REDUCING THE FUNCTIONAL SIMULATION TIME

The enlargement method of circuit elements used to reduce the functional simulation time is described. The efficiency of this method is performed by pattern of ISCAS 85 experimental logic circuits.

З.А. БАБАЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Рассматриваются вопросы моделирования технологического процесса производства облицовочных плит (ОП) с целью анализа уровня комплексного критерия количественного показателя технологических процессов (КПТ) на i -й операции, а также максимизации его в технологических операциях.

Ключевые слова: облицовочная плита, технологический процесс, моделирование, контроль надежности.

Для моделирования изучаемого технологического процесса производства ОП с целью анализа уровня комплексного критерия КПТ на i -й операции и максимизации его в тех $\{l\}$ технологических операциях, где

$$W_i < W_{\text{зад}}, \quad i = \{l\}, \quad (1)$$

с учетом значения достигнутого уровня W_i управления качеством ОП, выпускаемых в процессе производства гранитных, мраморных, базальтовых и туфовых облицовочных плит, нужно в первую очередь убедиться в том, что уровень вероятностей $P(H_2, i)$ и $P_i(H_1 O)$ достигает максимума. Для повышения уровня комплексного критерия КПТ (W_i) необходимо в процессе производства ОП сохранить полученную первоначальную вероятность $P_i(H_1 O)$ и не ухудшить ее за счет повышения вероятностей $P_i(A)$ и $P_i(K)$.

Таким образом, получаем задачу максимизации уровня вероятностей $P_i(A)$ и $P_i(K)$, для которых соответственно имеем

- для $P_i(A)$:

$$\max P(B/A, i), \quad \min P(B/\bar{A}, i); \quad (2)$$

- для $P_i(K)$:

$$\max P(H_s, i), \quad \max P_{01}(i), \quad \max P_0(i). \quad (3)$$

При этом используются данные пассивного статистического наблюдения, параметрического и визуального контроля на i -й операции технологического процесса ОП. При максимизации уровня вероятности $P_i(K)$ на i -й операции технологического процесса производства ОП, где осуществляется параметрический контроль, нужно повысить требования к контрольно-измерительному оборудованию, т.е. увеличить его точность по данному контролируемому параметру.

Это означает, что необходимо уменьшить допуск по контролируемому параметру:

$$(a_{2B} - a_{2H}) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Уменьшение контрольного допуска контрольно-измерительного оборудования связано с его конструктивными изменениями, которые сопровождаются дополнительными капиталовложениями. Поэтому необходимо свести к максимуму уровень вероятности $P_i(K)$ на тех технологических операциях, где производится визуальный контроль. Условия максимума уровня вероятности $P_i(K)$ в этом случае будут зависеть только от оператора-контролера:

$$\max P_i(K) = \min \left[\frac{\bar{P}_K(\bar{B}, i) + P_{\text{новк}, i}(B)}{P(\bar{B}, i)} \right] \quad (5)$$

и одновременно:

$$\max P_i(K) = \min \left[\frac{P_{\text{новк}, i}(B)}{P(\bar{B}, i)} \right]. \quad (6)$$

При максимизации уровня вероятности $P_i(A)$ используются данные пассивного статистического наблюдения, собранные в ходе технологического процесса производства ОП, о неисправностях ОП, выявленных в результате параметрического и визуального контроля i -й операции. Как видно, для повышения уровня вероятностей $P_i(K)$ и $P_i(A)$ в технологическом процессе производства ОП нужно по возможности обеспечить максимум уровня вероятностей в выражениях (2), (3). Вопрос повышения уровня вероятностей $P_{01}(i)$ считается решенным, так как уже произведен выбор данного метода технологического процесса производства ОП. Остается решить вопрос максимизации уровня вероятностей $P_i(K)$, $P(H_s, i)$, $P_0(i)$.

Уровень вероятности $P(H_s, i)$ зависит от степени воздействия случайных факторов окружающей среды на ход технологического процесса производства ОП, а уровень вероятностей $P_i(K)$ и $P_0(i)$ - соответственно от оператора-контролера и оператора по рабочим местам на i -й операции процесса производства ОП.

Для обеспечения вышеуказанных условий нужно решить задачи повышения уровней вероятностей $P(H_s, i)$, $P_i(K)$ и $P_0(i)$.

Таблица

Распределение размеров облицовочных плит по ширине с номиналом 300 мм
в выборке

Интер- валы, мм	Средний размер, $\bar{X}$, мм	Часто- та, f_i	$f_i x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 f_i$
298,5...299	298,75	2	597,5	-1,15	1,3225	2,640
299,0...299,25	299,25	2	598,5	-0,75	0,5625	1,125
299,5...300	299,75	58	17383,4	-0,15	0,0225	1,305
300,0...300,5	300,25	34	10208,5	+0,35	0,1225	1,102
300,5...301	300,75	2	601,5	+0,85	0,7225	1,445
301...301,5	301,25	2	602,5	+1,35	1,8225	3,645

Параметры вариационного ряда: $\bar{X} = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i}$, $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum f_i}} = 0,34$ мм, что свидетельствует о достаточно точных измерениях применяемого метода.

Рассмотрим использование данной методики применительно к результатам измерения ширины облицовочной плиты из базальта с номинальным значением 300 мм и допускаемой погрешностью, равной + 1 мм (см. рис.).

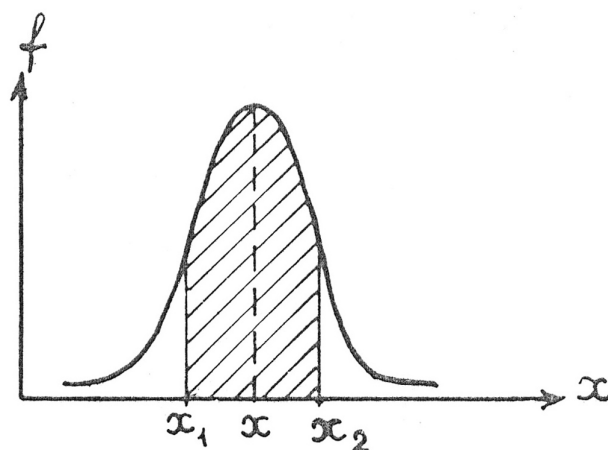


Рис. Кривая распределения размеров плит в выборке:

X – размеры плит, мм; X_1 и X_2 – соответственно нижний и верхний пределы размеров плит; f – частота отдельных размеров плит в выборке, %

В этом случае плиты с размерами в пределах 298...301 мм включительно будут признаваться годными. Результаты измерений и их обработки сведены в таблицу. Воспользуемся данными таблицы и произведем расчет по [1]:

$$P(X_1 < X < X_2) = \Phi\left(\frac{X_2 - \bar{X}}{S}\right) - \Phi\left(\frac{X_1 - \bar{X}}{S}\right) = \Phi(4,7) - \Phi(-4,1).$$

Выбрав из таблицы функции Лапласа, имеем

$$\Phi(4,7) = 0,49, \quad \Phi(-4,1) = 0,49.$$

Суммируя полученные значения, имеем

$$P(X_1 < X < X_2) = 0,98.$$

Это означает, что вероятность годных изделий в данной выборке составила $P = 0,98$.

Результат решения данной задачи дает возможность в сложных технологических процессах, где производится параметрический контроль, выбрать другие смещения, настройки интересующего параметра с таким расчетом, чтобы получить от данного процесса максимальную эффективность при заданных распределениях параметров, одновременно учитывая также “весовые коэффициенты” выпускаемых изделий в зависимости от принятых значений интересующего параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабаян З.А.** Методы повышения качества облицовочных плит из природного камня с разработкой методов и средств контроля: Дис. ... к.т.н. - Тбилиси, 1990. – 133 с.

ГЗАО “Камень и силикаты”. Материал поступил в редакцию 29.11.2002.

Ջ.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ

ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԶԱՓԱՆԻՇՈՎ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱՀԱՄԱՐՄԱՆ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Տեխնոլոգիական գործընթացների բազմակողմանի չափանիշի մակարդակի վերլուծության քանակական գնահատման նպատակով դիտարկվում է երեսպատման սալիկների արտադրության տեխնոլոգիական գործընթացի հետազոտման մոդելավորման հարցը՝ i-ական գործողություններում և տեխնոլոգիական գործընթացներում այն մաքսիմացնելով:

Z.A. BABAYAN

DEVELOPMENT OF METHODS FOR INCREASING COMPLEX CRITERION LEVEL FOR PROCESS RELIABILITY CONTROL

The problems of modeling technological production processes for facing slabs, complex criterion level analysis of quantitative process factor, as well as its maximization in technological operations are considered.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍՏԱԿՅԱՆ Մ.Գ., ԻՍԱԽԱՆՅԱՆ Կ.Յ.

ՀԱՐԹ ԵՎ ԱՍՏԻՃԱՆԱՎՈՐ ԼԻՍԵՆՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ
ՀԱՎԱՆԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ
*Հաղորդում 3. Նումդրամ՝ լիսենզիայի հոգնածային դիմադրության
ցուցանիշների որոշման համար* **3**

ՊԱՊՈՅԱՆ Ա.Ո.

ՏԵՔՍՏԻԼ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՀԱՄԱՌԱՆՅՔ ՌՈՏՈՐՆԵՐՈՎ ՈԼՈՐՈՂ-ՓԱԹԱԹՈՂ
ՕՐԳԱՆՆԵՐԻ ԸՆԴՀԱՆՐԱՅՎԱԾ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼ **13**

ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ Ա.Ի.

ԱՐԱԳԱՀԱՏ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ԿՏՐԻՉՆԵՐԻ
ԼԱՎԱՐԿՎԱԾ ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՊՈՂՊԱՏ 45-Ի ԵՎ BT5 ՏԻՏԱՆԻ
ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ **24**

ՉԻԲՈՒԽՉՅԱՆ Ս.Ս., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Հ.Լ.

ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔՈՒՄ ՇԱՀԱԳՈՐԾՎՈՂ ՄԻԿՐՈԱՎՏՈՐՈՒՄՆԵՐԻ ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ
ՏՈՒՓԻ ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ԹՎԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄ **30**

ՄԱՐԿՈՎԵՅ Ա.Վ., ՄԱԶԻՆ Լ.Ս.

ԿՏՈՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՄԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՄԵԽԱՆԻԶՄՈՎ ԿԱՐԻ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՍԵՂՄՈՂ
ԹԱԹԻԿԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ **33**

ԱԲՈՅԱՆ Ա.Հ., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ.

ԲՅՈՒՐԵՂԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՄՈՒԱՐԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ
ԱՌԱՋԱՅՄԱՆ ՀԱՅՏԱՆԻՇՆԵՐԸ **39**

ՄԱՄՅԱՆ Ս.Գ., ԱՆԴՐԻԱՍՅԱՆ Ա.Վ.

ՄԵՏԱՂԱՓՈՇՈՒ ԴԻՄՊԵՐՍՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՄԱՔՐՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋՄՄ
ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻՈՆ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ **47**

ԴՐՄԵՅԱՆ Հ. Ռ.

ՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ԱՆԿԱՏԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՄԻՐՈՒԹՅԱՆ
ՆՈՐ ՌԵՆՏԳԵՆՈՒՆՏԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԻԿ ՄԵԹՈԴ **54**

ԱԼԱՅԱՆ Ա.Ա., ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ Ա.Ս.

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ՓԱՅԼԱԹԻԹԵՂՆԵՐԻ
ՎԵՐԱԲՅՈՒՐԵՂԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԸ **59**

ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ԵՂՈՅԱՆ Է.Ա.

ՉՈՐ ՏԻՊԻ ԱՇՏԱՐԱԿԱՀՈՎԱՅՈՒՑԻՉՆԵՐՈՎ ԿԱՀԱՎՈՐՎԱԾ ԱՏՈՄԱՅԻՆ
ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՄԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ **67**

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Լ.Ա., ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ Հ.Գ.

ՓՀԷԿ-Ի ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՀՄԱՆՈՒՄԸ՝ ԳԵՏԻ ՌԵՍՈՒՐՍԻ ՌԱՅԻՈՆԱԼ
ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ **71**

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Կ.Վ.

ԲԱՐԴ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ
ՎԵՐԱՀԱՇՎՄԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՅՎԱԾ ՆՈՐ ԴԻԱԿՈՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ
ՄՈՂԵԼ **76**

ԱՐԱՄՅԱՆ Ս.Ա., ԱՐԱՄՅԱՆ Ա.Ս.

ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ **89**

ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ Վ.Ս., ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ Դ.Ա.

ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԼԱՐՄԱՆ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԱՆԱԼՈԳԱԹՎԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉ	103
ԱԹՈՅԱՆ Տ.Ո.	
ՉԻՊԵՐԻ ՎՐԱ ՀԻՄՆՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՍԿԱՆԱՎՈՐՈՂ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ԳԵՆԵՐԱՑԻԱ ԵՎ ԻՆՏԵՐՊՐԵՏԱՑԻԱ՝ ՇԱԲԼՈՆՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՕԳԵՆԻԹՅԱՄԲ	109
ԳԱՐԴԻՇԱՆ Հ.Կ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Լ.Լ.	
IP ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԶԱՅՆԱՅԻՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՄԱՆ ՄԵԿ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ	115
ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ Վ.Վ., ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ Լ.Ա.	
ԽԱՌՆՈՒՐԴԱՅԻՆ ԽՈՐԸ ԵՎ ԿՊՉՈՒՆ ՍԱԿԱՐԴԱԿՆԵՐ ՊԱՐՈՆԱԿՈՂ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄ- ԿԱՐԲԴԱՅԻՆ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ՏՐԱՆՁԻՍՏՈՐԻ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՅՈՒՆՆԵՐԸ	120
ԱՅՎԱԶՅԱՆ Գ.Ե., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ա.Հ., ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Գ.Հ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Վ.	
ՀՈՐԻՋՈՆԱԿԱՆ ԵՎ ԿՈՂՄՆԱՅԻՆ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՎՈԼՏԱՄՊԵՐԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ	127
ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ Գ.Շ.	
ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՓՈԽԱՆԶԱՏՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԸ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՆՐԱԹԵԼԱՅԻՆ ՀԱՂՈՐԴԱԿՅՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ	132
ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ռ.Հ., ՎԵՋԻՐՅԱՆ Է.Գ.	
ԱԿՈՆՍՈՒԼՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑՆԵՐԻ ՍՊԱՍԱՐԿՄԱՆ ՍԱՐՔ	137
ԵՓՐԵՍՅԱՆ Ա.Հ.	
ԹԵՐՍՈՒԼՇՈՒԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՉԱՓՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳ	142
ԹԵՐԶՅԱՆ Հ.Ա., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Գ.Գ.	
ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄԵՐ	147
ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Մ.Մ.	
ԹԻՍ-Ի ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ ՀՍԿՄԱՆ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԻ ՈՐՈՇ ՀԱՐՑԵՐ	154
ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ Գ.Ա.	
ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՊՈՊՈՎԻ ՉԱՓԱՆԻՇԻ ԵՐԿՐԱՉԱՓԱԿԱՆ ՄԵԿՆԱԲԱՆՈՒՄԸ ԲԱՑԱՐՉԱԿ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԵՏԱԶՈՏՈՂ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ	161
ՏՐԴԱՅԱՆ Ա.Հ.	
ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՏԱՏԱՆԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱՉԱՓ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ԳՐԱՎՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ	169
ՔՈՒՐՔՉՅԱՆ Գ. Լ.	
ՄԿԱԼՅԱՐ ԿՈՄՊԵՆՍԱՏՈՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱՉԱՓ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ	175
ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա. Վ.	
ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ԿՐՃԱՏՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ ՄԽԵՄԱՅԻ ՏԱՐԵՐԻ ԽՈՇՈՐԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԿԻՐԱԴՈՒՄԸ	182
ԲԱԲԱՅԱՆ Զ.Ա.	
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ՉԱՓԱՆԻՇՈՎ ՀՈՒՄԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱՀՍԿՄԱՆ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ԲԱՐՉՐԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ	188

СОДЕРЖАНИЕ

СТАКЯН М.Г., ИСАХАНИЯН К.Ц.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ГЛАДКИХ И СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Сообщение 3. Номограмма для определения показателей сопротивления усталости валов 3

ПАПОЯН А.Р.

ОБОБЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРУТИЛЬНО-ФОРМИРУЮЩИХ ОРГАНОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН С СООСНЫМИ РОТОРАМИ 13

САГРАДЯН А.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПЛАВОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 45 И ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ5 24

ЧИБУХЧЯН С.С., АРУТЮНЯН О.Л.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ МИКРОАВТОБУСОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В Г. ЕРЕВАНЕ 30

МАРКОВЕЦ А.В., МАЗИН Л.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИЖИМНОЙ ЛАПКИ ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТКАНИ.. 33

АБОЯН А.О., АГБАЛЯН С.Г.

ПРИЗНАКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ МУАРОВЫХ КАРТИН В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 39

МАМЯН С.Г., АНДРИАСЯН А.В.

ВЛИЯНИЕ ЧИСТОТЫ И ДИСПЕРСНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА ЭФФЕКТ ПОВЫШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТМО 47

ДРМЕЯН Г.Р.

НОВЫЙ РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕСОВЕРШЕНСТВ В МАТЕРИАЛАХ 54

АЛАЯН А. А., ГАСПАРЯН А. С.

ПРОЦЕСС РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФОЛЬГИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 59

МАРУХЯН В.З., ЕГОЯН Э. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АТОМНЫХ ЭНЕРГООБЛОКОВ, УКОМПЛЕКТОВАННЫХ СУХИМИ ГРАДИРНЯМИ 67

ГРИГОРЯН Л.А., ДЕМИРЧЯН Г.Г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ МАЛЫХ ГЭС (МГЭС) С УЧЕТОМ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕК 71

ХАЧАТРЯН К.В.

НОВАЯ ДИАКОПТИЧЕСКАЯ ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКЦИИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 76

АРАМЯН М.А., АРАМЯН А.М.

О МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ 89

АЛЕКСАНИЯН В.С., ШАХКАМЯН Д.А.

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА 103

АТОЯН Т.Р.	
ГЕНЕРАЦИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СКАНИРУЮЩИХ ЦЕПОЧЕК СИСТЕМ НА ЧИПАХ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ШАБЛОНОВ	109
ГАРДИШЯН Г.К., АРУТЮНЯН Л.Л.	
ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ ДАННЫХ В IP СЕТЯХ	115
БУНИАТЯН В.В., МИКАЕЛЯН Л. А.	
СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРБИД - КРЕМНИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСНЫМИ УРОВНЯМИ И УРОВНЯМИ ПРИЛИПАНИЯ	120
АЙВАЗЯН Г.Е., ВАРДАНЯН А.А., КИРАКОСЯН Г.Г., ПЕТРОСЯН А.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНЫХ И ТОРЦЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	127
ШМАВОНЯН Г.Ш.	
НОВОЕ ЯВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ОПТИКО-ВОЛО- КОННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	132
СИМОНЯН Р.А., ВЕЗИРЯН Э.Г.	
УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ	137
ЕПРЕМЯН А.О.	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМО-ЭДС	142
ТЕРЗЯН А.А., САРКИСЯН Г.Г.	
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ	147
ОСИПЯН М.М.	
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ	154
АЛЕКСАНИЯН Г.А.	
О ГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КРИТЕРИЯ ПОПОВА В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ АБСОЛЮТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ	161
ТРДАТЯН А.Г.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЗАХВАТЫВАНИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	169
КУРКЧЯН Г.Л.	
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СКАЛЯРНОГО КОМПЕНСАТОРА	175
ГРИГОРЯН А.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УКРУПНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СХЕМ	182
БАБАЯН З.А.	
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	188

CONTENTS

STAKYAN M.G., ISSAKHANYAN K.Ts.	
PROBABILITY ESTIMATION OF SMOOTH AND STEPPED SHAFT FATIGUE RESISTANCE	
<i>Message 3. Nomograph for determining shaft fatigue resistance factors</i>	3
PAPOYAN A.R.	
GENERALIZED DYNAMIC MODEL OF TWISTING-MOULDING ORGANS OF TEXTILE MACHINES WITH COAXAL ROTORS	13
SAGRADYAN A.I.	
SPECIFYING OPTIMAL GEOMETRICAL CUTTERS MADE OF HIGH-CUTTING ALLOYS IN MACHINING STEEL 45 AND TITANIUM BT5.....	24
CHIBUKHCHYAN S.S., HAROUTYUNYAN H.L.	
OPTIMIZATION OF TRANSMISSION GEAR RATIOS FOR MINIBUSES RUNNING IN YEREVAN	30
MARKOVETS A.V., MAZIN L.S.	
DYNAMICS RESEARCH OF SEWING MACHINE PRESSER FOOT WITH DIFFERENTIAL MECHANISM FOR FABRIC TRANSPORTATION	33
ABOYAN A.H., AGHBALYAN S.G.	
INDICATIONS OF ARISING X-RAY MOIRE PATTERNS IN CRYSTALLINE SYSTEMS	39
MAMYAN S.G., ANDRIASYAN A.V.	
METALLIC POWDER OF THE CLEANNESS AND DISPENSABILITY INFLUENCE ON THE EFFECT OF CONSTRUCTION HARDNESS USING TMT	47
DRMEYAN H.R.	
A NEW X-RAY INTERFEROMETRIC METHOD FOR INVESTIGATION OF IMPERFECTION IMAGES IN MATERIALS	54
ALAYAN A.A., GASPARYAN A. S.	
INVESTIGATION ON FOIL RECRYSTALLIZATION PROCESS FROM ALUMINIUM ALLOYS	59
MARUKHYAN V. Z., YEGHOYAN E. A.	
STUDY OF NUCLEAR POWER UNIT OPERATION COMPLETED WITH DRY COOLING TOWERS	67
GRIGORYAN L.A., DEMIRCHYAN H. G.	
DETERMINATION OF OPTIMUM POWER OF SHES BY TAKING INTO ACCOUNT THE RATIONAL USE OF THE WATER RESOURCES OF THE RIVER	71
KHACHATRYAN K.V.	
A NEW DIACOPTICAL GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF CORRECTING STEADY-STATE CONDITION IN COMPLEX ELECTRICAL POWER SYSTEM	76
ARAMYAN M.A., ARAMYAN A.M.	
ON ELECTROMAGNETIC FIELD INVESTIGATION METHOD	89
ALEKSANYAN V.S., SHAGHGAMYAN D.A.	
NONLINEAR ANALOG-DIGITAL CONVERTER OF CONSTANT CURRENT VOLTAGE	103
ATOYAN T. R.	
SoC SCAN CHAIN GENERATION AND INTERPRETATION VIA TPS	109
GARDISHYAN H.K., HAROUTYUNYAN L.L.	

AN APPROACH TO ORGANIZE VOICE DATA PROCESSING SYSTEMS IN IP NETWORKS	115
BUNIATYAN V.V., MIKAELIAN L.A.	
CONDUCTANCES OF SCHOTTKY BARRIER MESFET's WITH THE DEEP IMPURITY AND TRAP LEVELS	120
AYVAZYAN G.E. , VARDANYAN A.H., KIRAKOSYAN G.H., PETROSYAN A.V.	
INVESTIGATION OF THE PLANAR AND VERTICAL SOLAR CELLS CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS	127
SHMAVONYAN G.SH.	
A NEW OPTICAL SWITCHING EFFECT IN OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEMS	132
SIMONYAN R. A., VEZIRYAN E.G.	
MULTIPURPOSE DEVICE FOR SUPPORTING ACCUMULATOR BATTERIES	137
YEPREMYAN A.H.	
AUTOMATION SETUP FOR THE MEASUREMENT OF THERMO-EMF COEFFICIENT	142
TERZYAN A.A., SARGSYAN G.G.	
GENETICAL ALGORITHMS OF DECISION MAKING	147
HOVSEPYAN M.M.	
SOME PROBLEMS ON QUALITY ESTIMATION FOR DIGITAL CIRCUIT INPUT CONTROL	154
ALEKSANYAN G.A.	
ON GRAPHICAL INTERPRETATION OF POPOV'S CRITERION IN THE TASKS OF ABSOLUTE STABILITY INVESTIGATION OF NONLINEAR CONTROL SYSTEMS	161
TRDATYAN A.H.	
INVESTIGATION ON CATCHING PHENOMENON IN NONLINEAR AUTO- OSCILLATED MIMO CONTROL SYSTEMS	169
KURKCHYAN G. L.	
ON NONLINEAR MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEMS BASED ON SCALAR COMPENSATOR	175
GRIGORYAN A. V.	
APPLYING THE ENLARGEMENT METHOD OF CIRCUIT ELEMENTS FOR REDUCING THE FUNCTIONAL SIMULATION TIME	182
BABAYAN Z.A.	
DEVELOPMENT OF METHODS FOR INCREASING COMPLEX CRITERION LEVEL FOR PROCESS RELIABILITY CONTROL	188