ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ խմբ ա ալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (ա ա խա ա ո ար ո ար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ, Ժ.Դ.ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝ ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը՝ ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝ ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА
Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2008

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

ՀՏԴ 629.027 ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

Գ.Վ. ՄՈՒՍԱՅԵԼՅԱՆ, Է.Ժ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՄԱՐԴԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄՈԲԻԼԻ ԿԱԽՈՑՔԻ ՏԱՏԱՆՈՂԱԿԱՆ ՇԱՐԺՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Վերջավոր տարրերի մեթոդով մշակվել է թեթև մարդատար ավտոմոբիլի տատանողական մոդելը, որի օգնությամբ ուսումնասիրվել է դրա տատանման գործընթացը: Մուտքագրվել է ճանապարհային անհարթության սխեման, որի դեպքում դուրս է բերվել ավտոմոբիլի կախոցքի տատանման ամպլիտուդա-հաճախային բնութագիրը: Ուսումնասիրվել են ավտոմոբիլի անվտանգ շարժման արագությունները՝ տրված ալիքի երկարություն ունեցող ճանապարհով շարժվելիս:

Առանցքային բառեր. վերջավոր տարրերի մեթոդ, մարդատար ավտոմոբիլի կախոցք, տատանողական մոդել, ամպլիտուդա - հաճախային բնութագիր:

Բարձր արագությամբ շահագործվող ժամանակակից ավտոմոբիլների համար կարևորագույն շահագործական հատկություն է ավտոմոբիլի ընթացքի սահունությունը, որը բնութագրում է վերջինիս ունակությունը՝ շարժվելու արագության տրված միջակայքով, անհարթ մակերևույթ ունեցող ճանապարհով, առանց վարորդի, ուղևորների կամ փոխադրվող բեռի վրա նշանակալի թրթռոցների և հարվածային ներգործության: Նշված շահագործական հատկության լավարկման համար կարևոր նշանակություն ունի ավտոմոբիլի թափքի, որպես տատանողական համակարգի, հետազոտությունը:

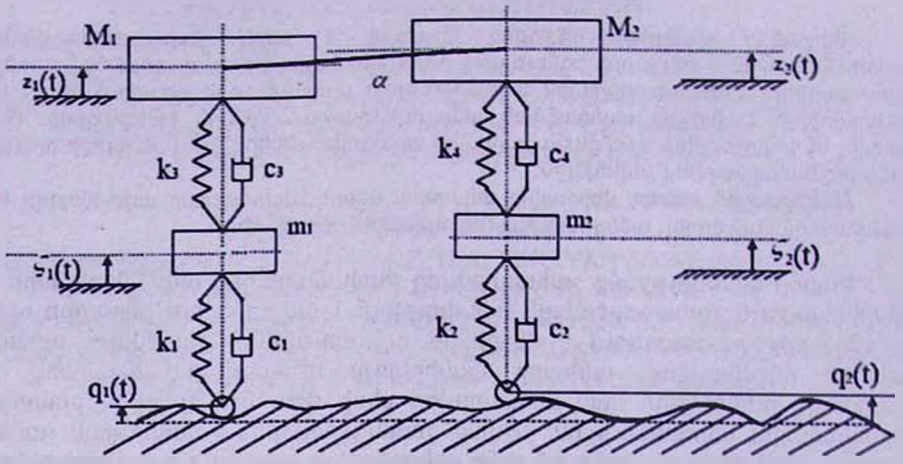
Դասական վերլուծական եղանակով տվյալ խնդրի լուծման ժամանակ ավտոմոբիլը ներկայացվում է որպես նյութական կետերից բաղկացած համակարգ, որը մոդելավորված է զսպակավորված և չզսպակավորված զանգվածներով [1]: Առջևի և հետևի կամրջակները միմյանց միացնող տարրը չի դեֆորմացվում: Թափքը դիտարկվում է բացարձակ կոշտ: Առջևի և հետևի կախոցքների ճկվածքների, թափքի թեքման անկյան և ավտոմոբիլի զսպակավորված զանգվածի ծանրության կենտրոնին համապատասխանող կետի ուղղահայաց տեղափոխության միջև կապը ստացվում է դեֆորմացման հայտնի հավասարումից: Վերը նշված հաշվարկների համար սխեման ունի նկ. 1- ում պատկերված տեսքը [2]:

$M_1, M_2, m_1 m_2$ զանգվածների համար գրվում են հավասարակշռության հավասարումները, որոնք 4X2 անվային բանաձև ունեցող ավտոմոբիլի համար ունեն երկրորդ կարգի գծային դիֆերենցիալ հավասարումների տեսք:

$$
\begin{aligned}
&Mz_0'' + Z_{n1} + Z_{n2} = 0\ ,\\
&-M\rho_y^2\alpha'' - Z_{n1}a + Z_{n2}b = 0\ ,\\
&m_1\varsigma_1'' - Z_{n1} + Z_{a1} = 0\ ,
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

$$m_2\zeta_2'' - Z_{a2} + Z_{s2} = 0,$$

որտեղ ζ_1-ը ,ζ_2 -ը զսպակավորված զանգվածների տեղափոխություններն են, a-ն, b-ն՝ ծանրության կենտրոնի հեռավորությունները անիվների առանցքներից, α-ն՝ ծանրության կենտրոնի թեքման անկյունը, ρ_y-ը՝ բևեռային կոորդինատը, Z_{s1}- ը, Z_{s2} - ը՝ ավտոմոբիլի առջևի և ետևի զսպակավորված զանգվածների վրա ազդող ուժերը, Z_{a1}-ը, Z_{a2}-ը՝ ավտոմոբիլի առջևի և ետևի չզսպակավորված զանգվածների վրա ազդող ուժերը:



Նկ.1. Ավտոմոբիլի տատանողական մոդելը

Որոշակի ձևափոխություններից հետո բերված հավասարումների համակարգը ընդունում է հետևյալ տեսքը.

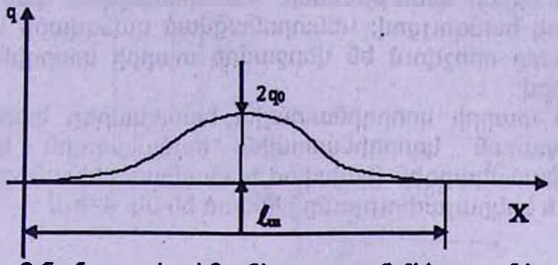
$$\left.\begin{aligned} M_1 z_1' + 2k_3 z_1' + 2c_3 z_1 + M_3 z_2'' - 2k_3\zeta_1' - 2c_3\zeta_1 = 0 \\ M_2 z_2'' + 2k_4 z_2' + 2c_4 z_2 + M_3 z_1'' - 2k_4\zeta_2' - 2c_4\zeta_2 = 0 \\ m_1\zeta_1'' + 2(k_3 + k_1)\zeta' + 2(c_3 + c_1)\zeta - 2k_3 z_1' - 2c_4 z_1 = 2k_1 q_1' + 2c_1 q_1 \\ m_2\zeta_2'' + 2(k_4 + k_2)\zeta_2' + 2(c_4 + c_2)\zeta_2 - 2k_2 z_2' - 2c_4 z_2 = 2k_1 q_2' + 2c_2 q_2 \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Հաշվարկի ընթացքում ընդունվում է, որ ճանապարհային անհարթությունների միկրոպրոֆիլը բաղկացած է սինուսոիդալ անհարթություններից (ալիքներից): Այն հաճախ օգտագործվում է հաշվարկների և փորձարկումների ժամանակ: Իրականում ճանապարհի միկրոպրոֆիլը պատահական ֆունկցիա է: Անհարթությունը ներկայացվում է կոսինուսի ֆունկցիայի մի մասի տեսքով: Հաճախության կախումը ԱՏՄ – ի շարժման արագությունից որոշվում է հայտնի բանաձևով,

$$q = q_0\left[1 - \cos(2\pi x / l,)\right], \quad (3)$$

որտեղ q_0 - ն ալիքի ամպլիտուդն է, x-ը՝ այն կետի աբսցիսը, որի համար որոշվում է q - ն, $l_ա$ -ն՝ ալիքի երկարությունը:

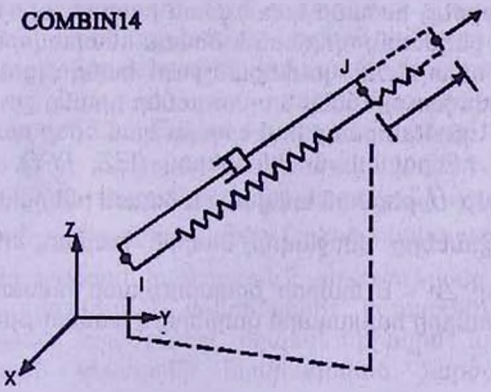
Անհարթության բաշխման գրաֆիկը բերված է նկ. 2 – ում:



Նկ. 2 Ճանապարհային անհարթության միկրոպրոֆիլը

Որպես օբյեկտ քննարկվում է ՎԱԶ 2106 մարդատար ավտոմոբիլը: Դիտարկված օբյեկտում կրող թափքը փոխարինվում է համարժեք կոշտությամբ ծողային համակարգով, ինչը հնարավորություն է տալիս տատանման ընթացքում հաշվի առնել նաև թափքի դեֆորմացիան: Օգտագործվել է ANSYS 8.0 ծրագրային փաթեթը: Նշված ծրագրային փաթեթով մշակված տատանողական մոդելը կառուցվում է COMBIN14, MASS21 և BEAM3 գրադարանային անվանումով վերջավոր տարրերի միջոցով (4,5):

COMBIN14-ը կարելի է կիրառել միաչափ, երկչափ և եռաչափ խնդիրներում: Երկայնական առածգական մարիչի համար նախատեսված պարամետրի համապատասխան ընտրությամբ կիրառվում է մեկ առանցքանի տարր, որը կրում է ձգման և սեղմման բեռնվածքներ: Այն յուրաքանչյուր հանգույցում ունի մինչև 3 ազատության աստիճան՝ x, y, և z առանցքներով: Մշակվող մոդելում առածգական տարրի ծռման և ոլորման հատկություններն անտեսվում են: COMBIN14 տեսակի վերջավոր տարրի երկրաչափական պարամետրերը, հանգույցների դիրքը և կոորդինատային համակարգը պատկերված են նկ. 3-ում: Վերջավոր տարրը որոշվում է 2 հանգույցներով, առածգականության K հաստատունով և մարման C գործակցով:

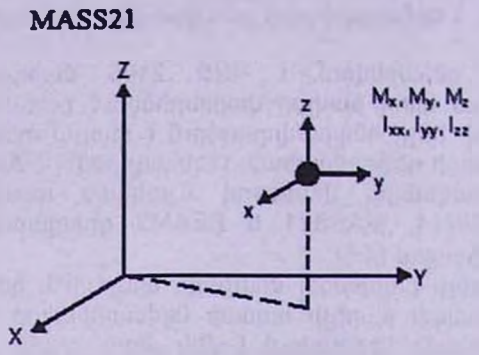


Նկ. 3. COMBIN14 վերջավոր տարրի տեսքը

Ավտոմոբիլի զսպակավորված և չզսպակավորված զանգվածների մոդելավորման համար օգտագործվում է MASS 21 վերջավոր տարրը :

MASS21-ը նյութական կետ ներկայացնող վերջավոր տարր է: Կոորդինատային յուրաքանչյուր ուղղությանը կարող են վերագրվել զանգվածների և իներցիայի մոմենտների տարբեր մեծություններ: Կենտրոնացված զանգվածով տարրը սահմանվում է միակ հանգույցով: Կենտրոնացված զանգվածի և իներցիայի մոմենտի բաղկացուցիչները որոշվում են վերջավոր տարրի կոորդինատային համակարգի ուղղություններով:

Վերջավոր տարրի կոորդինատային համակարգը կարող է զուգահեռ լինել գլոբալ դեկարտյան կոորդինատային համակարգին կամ կոորդինատների հանգուցային համակարգին (կախված համապատասխան պարամետրի արժեքից): Տարրի տեսքը և երկրաչափությունը բերված են նկ. 4–ում :

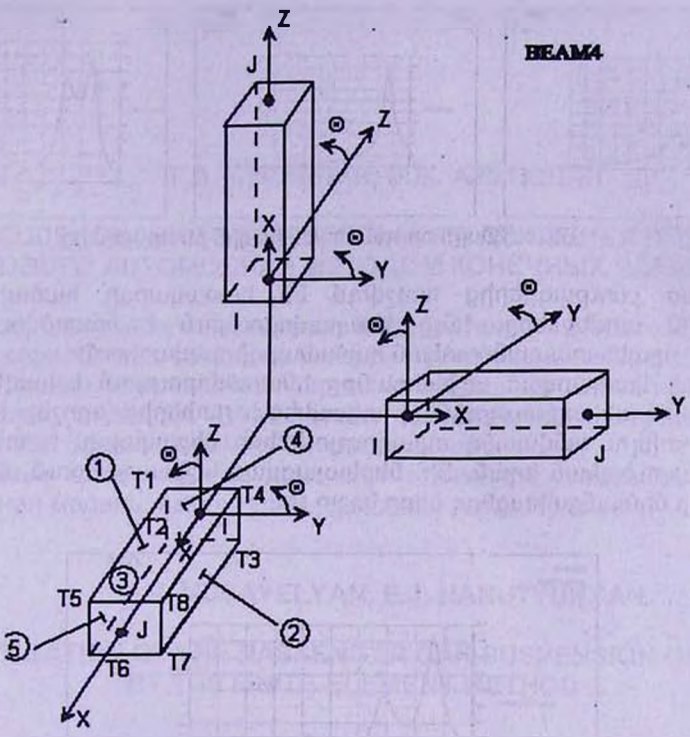


Նկ. 4. MASS21 վերջավոր տարրի տեսքը

Mx-ը, My-ը և Mz-ը տարրի կոորդինատային առանցքների ուղղություններով կենտրոնացված զանգվածի բաղադրիչներ են: Ixx-ը , Iyy -ը և Izz-ը տարրի կոորդինատային համակարգի առանցքների շուրջը իներցիայի մոմենտներն են:

BEAM4 վերջավոր տարրն օգտագործվել է տատանողական մոդելի թափքի կոշտությանը համարժեք հեծանի կառուցման համար (6) : Այն միառանցք տարր է, որն ունի ձգման ու սեղմման, ոլորման և ծռման հնարավորություններ: Տարրն ունի վեց ազատության աստիճան՝ յուրաքանչյուր հանգույցում՝ երեք առանցքների ուղղությամբ տեղափոխություններ և պտույտներ դրանց շուրջ: Տարրի տեսքը ցույց է տրված նկ. 5-ում: Այն մուտքագրվում է երկու կամ երեք հանգույցներով, հատույթի մակերեսով, երկու իներցիայի մոմենտներով (IZZ, IYY), հաստություններով, x առանցքի նկատմամբ θ թեքման անկյամբ և ծռման իներցիայի մոմենտով (IXX):

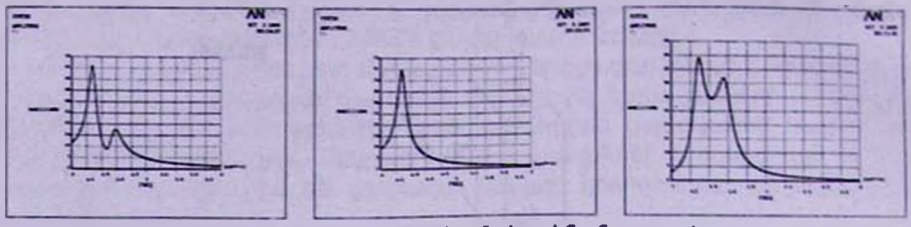
Ներքին դեֆորմացիաները վերջավոր տարրի համար մուտքագրվում են Δ/L մեծությամբ, որտեղ Δ - ն տարրի երկարությամբ հաստությունների տարբերություններն են, եթե տարրի հակադարձ ծայրերում հաստությունները տարբեր են [7]:



Նկ. 5. BEAM4 վերջավոր տարրի տեսքը

Բերված աշխատանքում որպես եզրային պայման առաջադրվում է ավտոմոբիլի անիվների տեղափոխության՝ վերը նկարագրված ճանապարհային անհարթությանը համապատասխան ֆունկցիան, ըստ որի ավտոմոբիլն անցնում է q բարձրություն ունեցող անհարթության վրայով: Մուտքագրվում են ժամանակի տվյալ պահին անիվների դիրքերը, որոնցից կախված, ստացվում է մարդատար ավտոմոբիլի կրող թափքի ցանկացած կետի տատանման բնութագիրը:

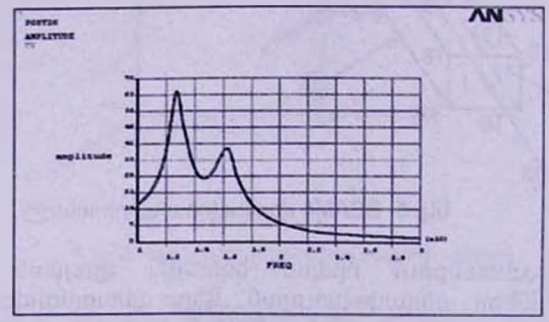
Նկ.6-ում բերված են ավտոմոբիլի երեք կետերի ամպլիտուդա - հաճախային բնութագրերն այն դեպքում, երբ ավտոմոբիլի բազան անհարթության երկարության պատիկն է: Նկ.7-ում պատկերված է այն դեպքը, երբ ավտոմոբիլի բազայի և անհարթության երկարության հարաբերությունը կամայական է: Վերը նշված (3) բանաձևում ընդունվում է, որ շարժումը հավասարաչափ է՝ $x = V * t$: Ակնհայտ է, որ առջի և ետևի անիվների աբսցիսների տարբերությունը ավտոմոբիլի բազան է, հետևաբար $x_ա = x_ե + L_p$: Օգտվելով վերը նշված հավասարումներից՝ առաջադրված պրոֆիլով ճանապարհով հաստատուն արագությամբ շարժվելիս ժամանակի տվյալ պահին որոշվում է ավտոմոբիլի յուրաքանչյուր անվի դիրքը: Մուտքագրելով ստացված արժեքները որպես եզրային պայման՝ որոշվել է ավտոմոբիլի ծանրության կենտրոնի նկարագրված շարժման ամպլիտուդա-հաճախային բնութագիրը:



Նկ. 6. Ամպլիտուդա - հաճախային բնութագրերը

Ստացված բնութագրերից որոշվում են համակարգի հաճախությունների ռեզոնանսային արժեքները, ինչը հնարավորություն է ստեղծվում կատարել ավտոմոբիլի՝ որպես տատանողական համակարգի, լավարկում:

Այսպիսով, կատարված աշխատանքը հնարավորություն է տալիս, կախված ճանապարհային անհարթությունների տեսակից և չափերից, որոշել տվյալ ճանապարհով շարժվելու անվտանգ արագությունների միջակայքը: Ի տարբերություն դասական վերլուծական եղանակի՝ ներկայացված աշխատանքում առջևի և ետևի կամրջակները միմյանց միացնող ծողը կոշտ չէ:



Նկ.7. Ծանրության կենտրոնի ամպլիտուդա - հաճախային բնութագիրը

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ротенберг И.С.** Подвеска автомобиля и ее колебания. –М.: Маш.лит., 1960.- 355 с.
2. **Лукин П., Гаспарянц Г., Родионов В.** Конструирование и расчет автомобиля. - М.: Машиностроение, 1984. -376 с.
3. **Литвинов А.С., Фаробин Я.Е.** Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989.- 240 с.
4. **Մուսայելյան Գ.Վ.** Վերջավոր տարրերի մեթոդների կիրառումը տրանսպորտային միջոցներում: Ուսումնական ձեռնարկ.- Երևան , ՀՊ�ճՀ, 2003. - 289 էջ:
5. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике. -М.: Мир, 1975.- 541 с.
6. **Кац А.М.** Автомобильные кузова — М.: Транспорт, 1980.- 272 с.
7. **MЪller G.** FEM fЪr Praktiker.- Expert Verlag, 1997.- 859 s.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 19.07.2008.

Г.В. МУСАЕЛЯН, Э.Ж. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Методом конечных элементов разработана колебательная модель легкового автомобиля, с помощью которой изучен его колебательный процесс. Приведена схема неровностей дороги и выведена амплитудно-частотная характеристика подвески. Исследован безопасный интервал скоростей автомобиля при данных параметрах неровностей дороги.

Ключевые слова: метод конечных элементов, подвеска автомобиля, колебательная модель, амплитудно-частотная характеристика.

G.V. MUSAYELYAN, E.J. HARUTYUNYAN

INVESTIGATION OF THE PASSENGER CAR SUSPENSION OSCILLATION BY THE FINITE-ELEMENT METHOD

By the finite-element method the oscillation model of passenger car is developed and with its help the car oscillation process is investigated. The circuitry of the road irregularity is introduced and the gain-frequency characteristics of suspension is obtained. The safe velocities of car on the road with given irregularity is investigated.

Keywords: finite-element method, suspension of the passenger car, oscillation model, gain-frequency characteristic.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.762.4.016:539.389.2

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ЗАКАРЯН, А.А. ПЕТРОСЯН

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВОВ

На основании научно-экспериментальных комплексных исследований разработана технология получения нового литейного алюминиевого антифрикционного сплава системы Al-Cu-Fe-Si-MoS_2, включающая расплавление исходных материалов, рафинирование и дегазацию расплава, легирование, литье, механическую и термическую обработку изделий.

Ключевые слова: алюминий, антифрикционный сплав, литье, закалка, старение, гетерогенная структура, дисульфид молибдена, трение, износ.

В современной промышленности, в том числе в авиа- и машиностроительной, пищевой, текстильной и т.д., а также в измерительной технике возникает необходимость в таких материалах, которые способны работать в условиях граничного и сухого трений, обладающих высокой удельной прочностью, теплопроводностью и коррозионной стойкостью. С этой точки зрения алюминиевые сплавы представляют большой интерес. Антифрикционные алюминиевые сплавы можно получить литьем и посредством порошковой металлургии. Однако не все алюминиевые сплавы можно получить технологией порошковой металлургии. Основная проблема заключается в том, что порошок алюминия из-за его высокой химической активности значительно окислен и может содержать более чем 20% Al_2O_3. Окисная пленка препятствует взаимодействию алюминия с легирующими элементами и, следовательно, образованию гомогенного сплава. Вследствие этого значительно затрудняется образование интерметаллидных фаз и обеспечение требуемых механических свойств. Это понижает несущую способность антифрикционного сплава. Кроме того, полностью не реализуется смазывающая способность твердой смазки (графит, дисульфид молибдена и т.д.) в отличие от интерметаллидного упрочнения сплава. При получении сплавов литьем вышеизложенная проблема полностью исключается. Поэтому разработка новых литейных антифрикционных алюминиевых сплавов и выбор оптимальных режимов литья и термической обработки являются актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка технологии получения антифрикционных алюминиевых сплавов, обладающих низким коэффициентом трения, которые способны работать в условиях сухого и граничного трений, и исследование процесса формирования их структуры и свойств.

В области триботехнического материаловедения произведен анализ и выявлена связь между составом и структурой пар трения [1 - 5].

При разработке антифрикционных материалов предложены теории молекулярно-механического и усталостного износа. С этой точки зрения предпочтительными являются антифрикционные материалы с гетерогенной структурой.

Произведен анализ процессов литья и термической обработки алюминиевых сплавов, который показал, что наибольший интерес представляют алюминиевые сплавы, легированные несколькими элементами, в которых упрочнение достигается как образованием твердых растворов, так и выделением интерметаллидов [6 - 10].

В качестве матрицы для алюминиевого антифрикционного сплава выбран сплав марки А5Е (Al=99,5%, Fe=0,35%, Si=0,12%, Cu=0,02%, Zn=0,04%, Ti=0,01%, другие элементы - 0,05%), в качестве легирующего элемента - первичная медь марок М0 или М1, а в качестве твердой смазки – дисульфид молибдена (MoS_2).

При разработке или выборе материалов для узлов трения в качестве основных показателей были выбраны коэффициент трения и износ. Что касается нагрузки, скорости скольжения, температуры, среды и т.д., то они рассматривались в качестве вторичных показателей. Узел трения может работать нормально при низких значениях коэффициентов трения, т.е. когда созданы условия для уменьшения сил трения между соприкасающимися поверхностями. В этом случае износ образуется из-за усталостных напряжений за счет действующих нагрузок, т.е. когда полностью реализовываются потенциальные возможности материала.

Изучены возможные двух- и трехфазные структурные модели материалов, которые обеспечивают минимальные значения коэффициента трения и высокую износостойкость. Показано, что материалы, имеющие двухфазную структуру, в которых первой фазой является матрица, берущая на себя внешнюю нагрузку после приработки, а второй фазой - твердая смазка, обеспечивающая образование вторичных структур на поверхностях трения, целесообразно использовать при средних и легких нагрузках в узлах, работающих в условиях смазки. Для работы в тяжелых условиях (большие нагрузки, скорости, граничное и сухое трение) целесообразно применение трехфазной структурной модели. В этом случае внешнюю нагрузку берет на себя третья фаза (рис.1 а), имеющая наибольшую твердость, под воздействием которой деформируются частицы матрицы, а затем и вторая фаза (рис.1 б). На вторую фазу начинают действовать силы трения, под воздействием которых между трущимися поверхностями образуются вторичные структуры, что обеспечивает положительный градиент механических свойств. Уровень допустимых значений внешних нагрузок в узлах трения зависит от упругих деформаций, т.е. от свойств матрицы, а также от размеров и распределения в ней твердых частиц.

Исследования показали, что сплав будет обладать высокими триботехническими свойствами (f, I), если в его структуре обеспечено оптимальное соотношение между механическими свойствами ($\sigma_{тек}$, E, t). Выбраны и обоснованы оптимальные режимы литья и химический состав Al-Cu-Fe-Si сплава. Основными параметрами, влияющими на жидкотекучесть и усадку сплавов, являются температура (T, ^{0}C) и химический состав (c, %) сплава, а также температура литейной формы (t, ^{0}C).

В качестве переменной была выбрана концентрация меди (с, %), поскольку в разработанном сплаве медь является основным упрочняющим элементом. На основании экспериментальных данных произведено математическое планирование эксперимента, где в качестве выходных параметров выбраны жидкотекучесть (λ) и линейная усадка (ε) сплава. На основании предварительных экспериментов выбрана следующая математическая модель:

$$\lambda(\varepsilon) = K \cdot \left(\frac{T}{10}\right)^{b_1} \cdot (10 \cdot c)^{b_2} \cdot t^{b_3},$$

где K, b_1, b_2, b_3 - коэффициенты, значения которых получены при помощи программы C++.

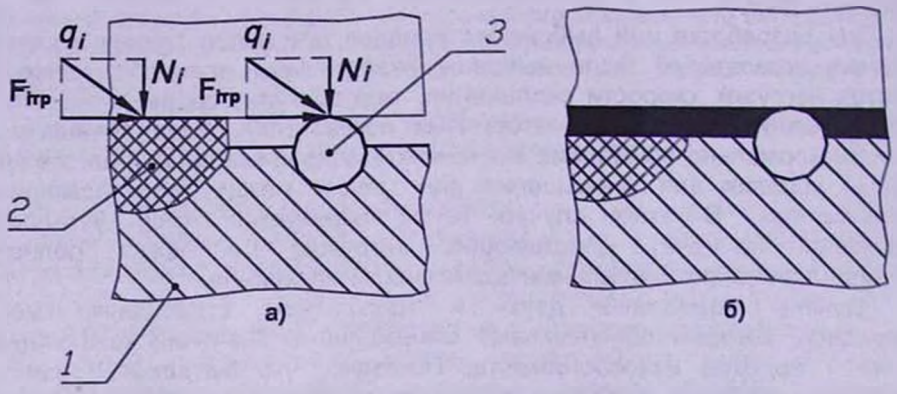


Рис.1. Структурная модель трехфазного материала:
а – до приработки, б – во время работы;
1 – первая фаза (матрица), 2– вторая фаза (твердая смазка),
3 – третья фаза (твердая частица)

Анализ модели показал, что в выбранном диапазоне переменных жидкотекучесть (линейная усадка) в первую очередь зависит от температуры расплава ($T_{распл}$), затем от температуры литейной формы и концентрации меди.

Экспериментальные параметры задачи совпадают с расчетными данными (рис. 2 – 4), в результате анализа которых выбраны следующие оптимальные режимы: температура расплава 720...730°С, температура литейной формы 120±10°С, концентрация меди 4%.

Одним из важнейших свойств антифрикционных сплавов является их несущая способность (PV), для чего они должны обладать определенными механическими свойствами, необходимый уровень которых можно обеспечить легированием и термической обработкой. Исследование проведено на сплаве системы Al-Cu-Fe-Si, который содержит 4% Cu. Литые образцы подвергались гомогенизационному отжигу ($T_{гом}$=500°С, $\tau_{выд}$=10 ч).

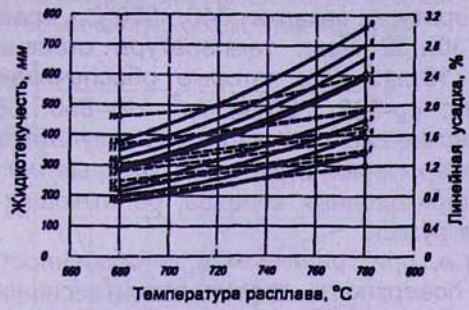


Рис.2. Зависимость жидкотекучести и линейной усадки от температуры расплава и литейной формы:
——— жидкотекучесть:
1-С=3%, $t_{л.ф}$=20°С; 2- С=3%, $t_{л.ф}$=120°С;
3-С=3%, $t_{л.ф}$=220°С; 4-С=4%, $t_{л.ф}$=20°С;
5-С=4%, $t_{л.ф}$=120°С; 6-С=4%, $t_{л.ф}$=220°С;
7-С=5%, $t_{л.ф}$=20°С; 8-С=5%, $t_{л.ф}$=120°С;
9-С=5%, $t_{л.ф}$=220°С;
- - - - - - линейная усадка:
10-С=3%, $t_{л.ф}$=20°С; 11-С=3%, $t_{л.ф}$=120°С;
12-С=3%, $t_{л.ф}$=220°С;13-С=4%, $t_{л.ф}$=20°С;
14-С=4%, $t_{л.ф}$=120°С; 15-С=4%, $t_{л.ф}$=220°С;
16-С=5%, $t_{л.ф}$=20°С; 17-С=5%, $t_{л.ф}$=120°С;
18-С=5%, $t_{л.ф}$=220°С

Рис.3. Зависимость жидкотекучести и линейной усадки от температуры литейной формы и концентрации меди:
——— жидкотекучесть:
1-$T_{расп}$=680°С, С=3%; 2-$T_{расп}$ =680°С, С=4%;
3-$T_{расп}$ =680°С, С=5%; 4-$T_{расп}$ =730°С, С=3%;
5-$T_{расп}$ =730°С, С=4%; 6-$T_{расп}$ =730°С, С=5%;
7-$T_{расп}$ =780°С, С=3%; 8-$T_{расп}$ =730°С, С=4%;
9-$T_{расп}$ =730°С, С=5%;
- - - - - - линейная усадка:
10-$T_{расп}$=680°С, С=3%; 11-$T_{расп}$=680°С, С=4%;
12-$T_{расп}$=680°С, С=5%; 13-$T_{расп}$=730°С, С=3%;
14-$T_{расп}$=730°С, С=4%; 15-$T_{расп}$=730°С, С=5%;
16-$T_{расп}$=730°С, С=3%; 17-$T_{расп}$=730°С, С=4%;
18- $T_{расп}$ =730°С, С=5%

Рис.4. Зависимость жидкотекучести и линейной усадки от концентрации меди и температуры литейной формы:
——— жидкотекучесть:
1-$T_{расп}$=680°С, $t_{л.ф}$=20°С; 2-$T_{расп}$=680°С, $t_{л.ф}$=120°С;
3-$T_{расп}$=680°С, $t_{л.ф}$=220°С; 4-$T_{расп}$=730°С, $t_{л.ф}$=20°С;
5-$T_{расп}$=730°С,$t_{л.ф}$=120°С;6-$T_{расп}$=730°С, $t_{л.ф}$=220°С;
7-$T_{расп}$ =780°, $t_{л.ф}$=20°С; 8-$T_{расп}$ =730°С, $t_{л.ф}$=120°С;
9- $T_{расп}$ =730°С , $t_{л.ф}$=220°С
- - - - - - - линейная усадка:
10-$T_{расп}$=680°С,$t_{л.ф}$=20°С;11-$T_{расп}$=680°С,$t_{л.ф}$=120°С;
12-$T_{расп}$=680°С,$t_{л.ф}$=220°С;13-$T_{расп}$=730°С,$t_{л.ф}$=20°С;
14-$T_{расп}$=730°С,$t_{л.ф}$=120°С;15-$T_{расп}$=730°С,$t_{л.ф}$=220°С;
16-$T_{расп}$=780°С, $t_{л.ф}$=20°С; 17-$T_{расп}$=780°С, $t_{л.ф}$=120°С; 18-$T_{расп}$ =780°С, $t_{л.ф}$=220°С

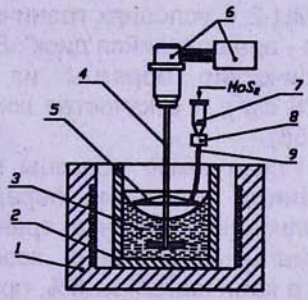


Рис.5. Установка для получения литейного сплава Al-Cu-Fe-Si-MoS_2:
1- печь, 2- тигель, 3- расплав,
4-вертикальная ось,
5- дисковая мешалка, 6-привод,
7- бункер, 8-дозатор,
9- питающая трубка

Экспериментальным путем были выбраны оптимальные режимы термической обработки сплава: температура закалки 540...550^{0}С, время выдержки при температуре закалки 30...32 *мин.*, температура старения 100...120^{0}С и длительность старения 10...15 *час*, которые обеспечивают высокий уровень механических свойств: $\sigma_в$=325...330 *МН/м^2*, НВ=850...860 *МПа*, δ =3...3,5%. Полученные механические свойства являются результатом образования алюминиевых сплавов с гетерогенной структурой, которые могут служить в качестве матрицы для антифрикционных сплавов, работающих с твердой смазкой при легких и средних нагрузках.

При тяжелых условиях работы, т.е. при граничном и, в особенности, сухом трениях, необходимо защитить поверхность трения от интенсивного износа и разрушения. Для этой цели широкое применение получили твердые смазки, разновидностью которых является дисульфид молибдена с низким коэффициентом трения f=0,017...0,047. Однако введение MoS_2 в алюминиевый расплав затруднено тем, что он обладает большим удельным весом, чем алюминий (ρ=4,8...5,16 *г/см^3*), и, кроме того, алюминиевый расплав имеет довольно высокую химическую активность, что может привести к частичному разложению MoS_2, если последний длительное время будет находиться в расплаве. Поэтому введение дисульфида молибдена в алюминиевый расплав было осуществлено с помощью изготовленного нами устройства (рис.5). При этом расплав непрерывно перемешивался и быстро охлаждался в кокиле.

Исследование антифрикционных свойств сплавов проводилось на машине СМЦ-2 в условиях граничного и сухого трений по схеме "неподвижная колодка - вращающийся диск". В качестве неподвижной колодки применялись цилиндрические образцы из исследуемого сплава (рабочая поверхность S=0,28 *см^2*), а в качестве контртела - термообработанные диски из стали 45 (HRC55).

Испытуемые образцы подвергались переработке в течение 1...2 *час*. Условиями окончания переработки служили уменьшение и последующая стабилизация момента трения. Проведенные исследования показали, что минимальные значения коэффициента трения соответствуют содержанию MoS_2 в количестве 4...5%, при котором сплав имеет следующие механические свойства: $\sigma_в$=240...245 *МН/м^2*, НВ=700...710 *МПа*, δ =11,5...13,5%. При увеличении содержания MoS_2 происходило постепенное увеличение коэффициента трения. Это объясняется частичным взаимодействием MoS_2 с матрицей, что приводит к структурным изменениям на поверхности трения.

В результате экспериментов (рис. 6 - 8) были выявлены оптимальные параметры трения. Макроструктуры поверхностей трения при сухом и граничном трениях приведены соответственно на рис. 9 и 10.

На основании проведенных научно-экспериментальных комплексных исследований разработана технология получения нового литейного алюминиевого антифрикционного сплава системы Al-Cu-Fe-Si-MoS_2, включающая расплавление сплава А5Е, рафинирование расплава флюсами, перегрев расплава до 730^{0}С и легирование медью, дегазацию и рафинирование полученного расплава введением MoS_2, быстрое и

интенсивное перемешивание расплава, литье (под давлением), механическую и термическую обработку изделий.

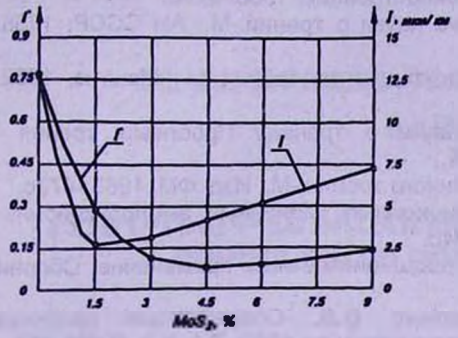


Рис.6. Зависимость коэффициента трения и износа от содержания MoS_2 (v=1,2 *м/с*), сухое трение

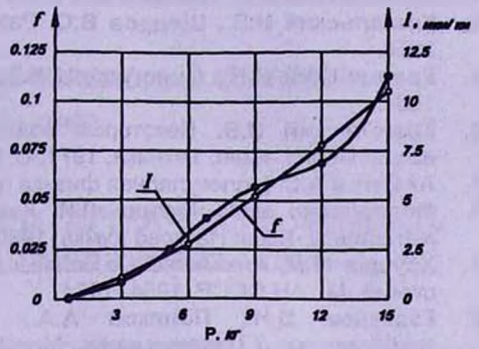


Рис.7. Зависимость коэффициента трения и износа нагрузки (v=1,2 *м/с*), граничное трение

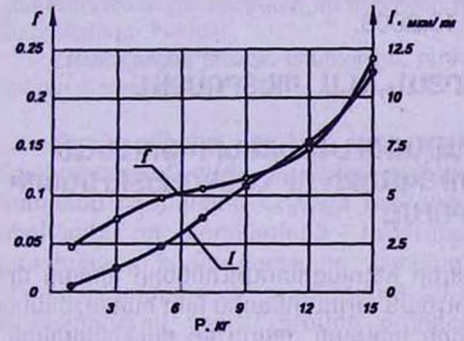


Рис.8. Зависимость коэффициента трения и износа нагрузки (v=2,4 *м/с*), граничное трение

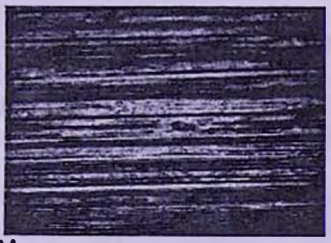


Рис.9. Макроструктура алюминиевого антифрикционного сплава (x50): P=5 *кг*, V=1,2 *м/с* (500 *об/мин*), сухое трение

Рис.10. Макроструктура алюминиевого антифрикционного сплава (x50): P=5 *кг*, V=1,2 *м/с* (500 *об/мин*), граничное трение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крагельский И.В.** Трение и износ.-М.: Машиностроение, 1968.-478с.
2. **Крагельский И.В., Щедров В.С.** Развитие науки о трении.-М.: АН СССР, 1956.-235с.
3. **Крагельский И.В., Виноградов И.Э.** Коэффициенты трения.-М.: Машгиз, 1962.-186с.
4. **Крагельский И.В.** Некоторые задачи науки о трении// Проблемы трения и изнашивания.-Киев: Техника, 1971.-С.11-16.
5. **Ахматов А.С.** Молекулярная физика граничного трения.-М.: Изд. ФМ, 1963.-472с.
6. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы.-Киев: Наукова думка, 1980.-404с.
7. **Хрущев М.М.** Алюминиевые сплавы для подшипников и их применение: Сборник статей.-М.: АН СССР, 1954.-147с.
8. **Гаркунов Д.Н., Поляков А.А., Семенов В.Я.** Современные проблемы триботехники // Трение и износ.-Минск: Наука и техника,1980.-Т.1, N 3.-С.393-402.
9. **Буйнов Н.Н., Мальцев М.В., Фридляндер И.Н.** Металловедение алюминия и его сплавов. 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Металлургия, 1983.- 280 с.
10. **Мондольфо Л.Ф.** Структура и свойства алюминиевых сплавов.-М.: Металлургия, . 1979.-640с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 30.10.2008.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Հ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՁՈՒԼՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՈՒ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ

Կատարված գիտափորձնական համալիր հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է Al-Cu-Fe-Si-MoS_2 համակարգի ձուլման ալյումինային նոր հակաշփական համածուլվածք, որը ներառում է ելանյութերի հալման, հալույթի ռաֆինացման և գազազերծման, լեգիրման, ձուլման, ձուլվածքների ջերմային և մեխանիկական մշակման գործընթացները:

Առանցքային բառեր. ալյումին, հակաշփական համածուլվածք, ձուլում, մխում, ծերացում, հետերոգեն կառուցվածք, մոլիբդենի դիսուլֆիդ, շփում, մաշում:

S.G. AGHBALYAN, A.H. ZAKARYAN, A.A. PETROSYAN

MOULDING TECHNOLOGY WORKING OUT AND STRUCTURE FORMATION OF PROPERTIES AND ALUMINIUM ANTIFRICTIONAL ALLOYS

On the basis of the spent scientifical-experimental complex researches reception technology of a new foundry aluminium antifrictional alloy of system Al-Cu-Fe-Si-MoS_2, which includes fusion of initial materials, refinement and decontamination of flux, alloy addition, moulding, mechanical and thermal processing of products is developed.

Keywords: aluminium, antifrictional alloy, moulding, training, ageing, heterogeneous structure, disulfide of molybdenum, friction, deterioration.

ISSN 0002-306X Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI. № 4.

ՀՏԴ 621.762 +669.15 ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ն.Ն.ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Մ.Է.ՄԱՍՈՒՆՑՅԱՆ

ՔԼՈՐԻԴՆԵՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՄԲ ՔՐՈՄԻՏՆԵՐԻ ԹՐԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՕՐԻՆԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Քննարկվում են քլորիդների առկայությամբ քրոմիտների թրծման գործընթացում վերջինիս բաղադրության մեջ պարունակվող երկաթի և մագնեզիումի քլորացման կինետիկական օրինաչափությունները: Ցույց է տրվում, որ քրոմիտները քլորիդների առկայությամբ թրծելիս ընտրողաբար քլորացվում են միայն երկաթի և մագնեզիումի օքսիդները: Ստացված փորձագիտական տվյալները ենթարկվել են կինետիկական վերլուծության: Առաջարկվել են ընդհանուր կինետիկական բանաձևեր՝ քլորացման պրոցեսը նկարագրելու համար:

Առանցքային բառեր. կինետիկա, քլորացում, թրծում, ակտիվացման էներգիա, քրոմիտ, երկաթ, մագնեզիում:

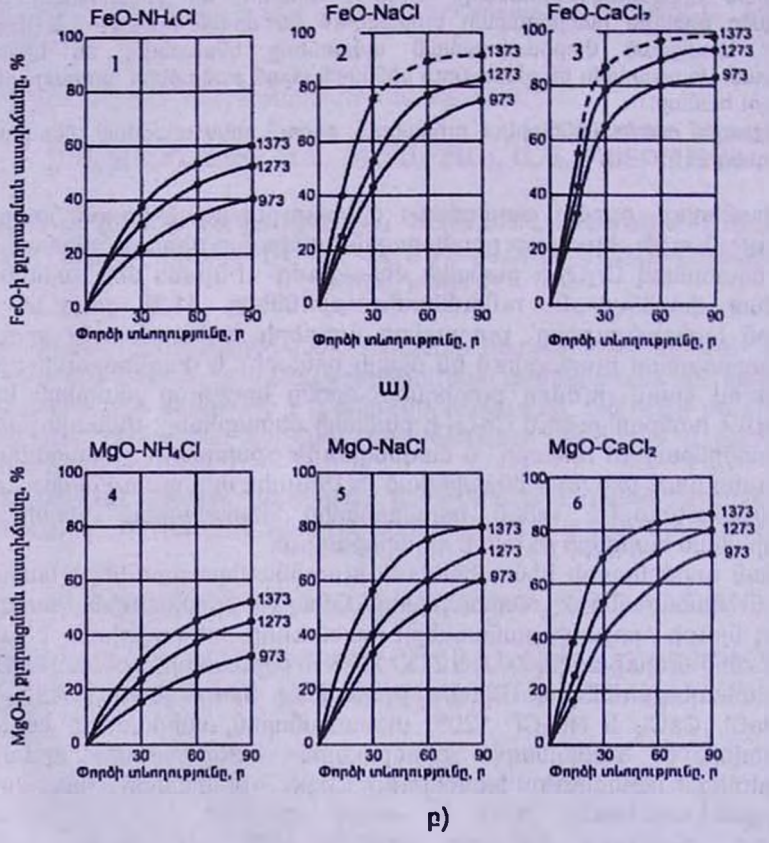
Քրոմիտներից քրոմի ստացման մետալուրգիական գործընթացում մեծ նշանակություն ունի ելանյութ քրոմիտային հանքանյութերում նախնական հարստացման եղանակով Cr_2O_3-ի քանակի մեծացումը: Ինչպես մեր, այնպես էլ որոշ հեղինակների փորձնական ուսումնասիրությունները [1,2], ցույց են տվել, որ քրոմիտային հանքանյութերը՝ քլորացնող նյութերի առկայությամբ թրծելիս քրոմիտից ընտրողաբար քլորացվում են միայն երկաթի և մագնեզիումի օքսիդները, առաջացնելով ջրում լուծվող քլորիդներ, որոնց կորզումը լվացման եղանակով հանգեցնում է հանքանյութում Cr_2O_3-ի քանակի մեծացմանը: Սակայն քրոմիտների թրծման գործընթացում երկաթի և մագնեզիումի օքսիդների քլորացման կինետիկան գրականության մեջ ուսումնասիրված չէ: Մինչդեռ այդ ուսումնասիրությունները կարևոր նշանակություն ունեն քրոմիտներից մետաղական քրոմի կորզման տեխնոլոգիական հարցերի լուծման գործընթացում:

Թրծման գործընթացի կինետիկական ուսումնասիրությունները կատարվել են մուֆելային վառարանում: Փորձարկվող նմուշը՝ քրոմիտային խտանյութի և քլորացնող նյութի որոշակի քանակների խառնուրդը, տեղափոխվել է շամոտային հալանոթի մեջ և տաքացվել 973, 1273, 1373 *K* ջերմաստիճաններում, 15, 30, 60, 90 *րոպե* տևողություններով: Որպես քլորացնող նյութ վերցվել են քիմիապես մաքուր NaCl, $CaCl_2$ և NH_4Cl՝ 120% տեսականորեն անհրաժեշտ քանակներով: Օգտագործվել է Տապասարի քրոմիտային հանքանյութի գրավիտացիոն հարստացումից ստացված խտանյութը, որի քիմիական բաղադրությունը ներկայացված է աղ. 1-ում:

Տապասարի քրոմիտների քիմիական վերլուծության տվյալները, %

Cr_2O_3	FeO	$FeO_{ընդ}$	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	SiO_2	CaO	կ.	p.ժ.
52,68	13,64	10,95	2,99	5,88	20,38	5,06	2,36		2,69

Վառարանի ջերմաստիճանը չափվել է պլատին-պլատինռոդիում թերմոզույգով և կարգավորվել էլեկտրոնային պոտենցիոմետրով: Ջերմաստիճանը, որոշակի նիշի հասնելուց հետո, պահպանվել է հաստատուն և հալքանոթը փորձանմուշով տեափոխվել ու պահվել է այդ ջերմաստիճանում՝ որոշակի տևողությամբ: Բոլոր փորձերի համար պահպանվել են հավասար պայմաններ: Փորձի ավարտից հետո փորձանմուշը սառեցվել է և լվացվել ջրով, ապա լվացող ջրերը ֆիլտրվել են որոշակի տարողության մեջ և ենթարկվել վերլուծության՝ ատոմա - ադսորբցիոն և քիմիական եղանակներով: Վերլուծության են ենթարկվել ինչպես լուծույթը, այնպես էլ ֆիլտրի պարունակությունը: Որոշվել են Fe^{2+}, Fe^{3+} և Mg^{2+} կատիոնների և Cl^- անիոնի քանակները [3]: Փորձերի արդյունքները ներկայացված են նկ.1-ում:



Նկ.1. Քրոմիտներում պարունակվող երկաթի ա) և մագնեզիումի բ) օքսիդների քլորացման աստճանի կախումը ջերմաստիճանից և թրծման տևողությունից՝ տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ (1,4-$NHCl_4$, 2,5-NaCl, 3,6-$CaCl_2$)

Ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ քրոմիտները քլորիդների առկայությամբ նշված ջերմաստիճանային տիրույթում թրծելիս, բոլոր դեպքերում ընտրողաբար քլորացվում են միայն երկաթի և մագնեզիումի օքսիդները, իսկ քրոմի, ալյումինիումի և սիլիցիումի օքսիդներն այդ պայմաններում չեն քլորացվում: Ինչպես երևում է կորերից, երկաթի և մագնեզիումի քլորացման աստիճանը մեծ է: Հատկապես առավելագույն քլորացման աստիճան է ստացվում, երբ քրոմիտի թրծումն իրականացվում է $CaCl_2$-ի առկայությամբ: Այս դեպքում երկաթի քլորացման աստիճանը փորձի 90 *րոպե* տևողության պայմաններում կազմում է 973 *K*-ում՝ - 84,0%, 1273*K*- ում՝ 96,1% և 1373*K*- ում՝ 99,1%:

Այդ պայմաններում մագնեզիումի քլորացման աստիճանը կազմում է համապատասխանաբար 72,2, 80,1 և 91,0%: Նույն պայմաններում, 1273 *K* ջերմաստճանում երկաթի քլորացման աստիճանը NH_4Cl-ի առկայությամբ կազմում է 60,3% և NaCl-ի առկայությամբ՝ 89,0%, իսկ մագնեզիումի օքսիդի քլորացման աստիճանը համապատասխանաբար կազմում է 60 և 81%: Թվում էր, թե քլորացումը NH_4Cl-ի առկայությամբ պետք է ընթանար ավելի արդյունավետ՝ շնորհիվ վերջինիս հեշտ ջերմային քայքայման: Սակայն ըստ երևույթին այդ քայքայումը տեղի է ունենում թրծման հենց սկզբնական պահերին և արդյունավետ ազդեցություն է ունենում քլորացման հետագա գործընթացի վրա:

Քրոմիտների՝ $CaCl_2$-ի առկայությամբ թրծման և հետագա լվացման արդյունքում ստացված խտանյութի քիմիական բաղադրությունը բերված է աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

Թրծման արդյունքում ստացված քրոմիտային խտանյութի քիմիական բաղադրությունը, %

Cr_2O_3	FeO	Al_2O_3	MgO	SiO_2	CaO
76,92	0,67	8,58	3,01	7,38	3,44

Ստացված խտանյութը միանգամայն բավարար հումք է մետալուրգիական եղանակով մետաղական քրոմի ստացման տեխնոլոգիական գործընթացում:

Փորձարարական տվյալները ենթարկվել են կինետիկական վերլուծության Երոֆեև-Կոլմոգորովի միացյալ բանաձևով [4] ՝

$$\alpha = 1 - e^{-K\tau^n}, \qquad (1)$$

և նույն բանաձևի լոգարիթմական ձևով՝

$$\lg[-\lg(1-\alpha)] = n\lg\tau + \lg(Klge), \qquad (2)$$

որտեղ α -ն երկաթ(II)-ի քլորացման աստիճանն է τ ժամանակահատվածում, միավոր մասերով, n-ը և K-ն հաստատուններ են, որոնց ֆիզիկաքիմիական մեկնաբանությունը տրված է [5-8] աշխատանքներում:

Ըստ (2) հավասարման՝ $\lg[-\lg(1-\alpha)] \rightarrow \lg\tau$ կոորդինատներում երկաթի (II) օքսիդի՝ տարբեր քլորացման նյութերի առկայությամբ թրծման գործընթացը նկարագրվում է ծռված գծերով (նկ.2), իսկ MgO-ի համար՝ուղիղ գծով (նկ.3): Դա վկայում է այն մասին, որ երկաթի (II) օքսիդի քլորացումը քրոմիտից ընթանում է երկու փուլով: Ըստ Սակովիչի [5]՝ այդ գծերի թեքության անկյան տանգենսով կարելի է մոտավորապես գնահատել ընթացող պրոցեսի ռեժիմը: Ներկա դեպքում բոլոր գծերը միմյանց զուգահեռ են՝ և FeO-ի և MgO-ի օքսիդներ տարբեր

քլորացնող նյութերի առկայությամբ ընթացող պրոցեսներում: Ելնելով նկ.1-ի տվյալներից՝ որոշվել է n-ը (աղ.3):

Աղյուսակ 3

n-ի արժեքները երկաթի և մագնեզիումի օքսիդների համար

T, K	FeO						MgO		
	NH_4Cl		NaCl		$CaCl_2$		NH_4Cl	NaCl	$CaCl_2$
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n		
973	0,95	0,25	0,77	0,36	1,44	0,51	0,82	0,62	1,06
1273	0,70	0,26	0,98	0,33	1,33	0,59	0,79	0,63	0,88
1373	0,65	0,32	1,08	0,25	1,31	0,82	0,77	0,64	0,83

Երկաթի (II) օքսիդի քլորացումը տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ ընթանում է երկու փուլերով: Բոլոր դեպքերում ռեակցիայի սկիզբն ընթանում է կինետիկական, իսկ վերջը՝ դիֆուզիոն ռեժիմներով: Ընդ որում, կորի ծռված մասն ընկած է 15...30 *րոպե* տևողության համապատասխան տիրույթում և տատանվում է 12...20% մինչև 35...40% քլորացման աստիճաններով: Երկաթի (II) օքսիդի դեպքում քլորացման գործընթացում անցումը կինետիկականից դիֆուզիոն ռեժիմի, ըստ երևույթին, կապված է Fe^{2+}-ի մինչև Fe^{3+} -ի օքսիդացման, ինչպես նաև շպինելային ցանցի քայքայման և հեղուկ $FeCl_3$-ի առաջացման հետ, որը ստեղծում է որոշակի դիֆուզիոն դժվարություններ: Ըստ հաշվարկի արդյունքների՝ MgO-ի քլորացման գործընթացը կախված է քլորացնող նյութի բնույթից և թրծման ամբողջ ընթացքում ընթանում է տարբեր ռեժիմներով. NH_4Cl և $CaCl_2$-ի առկայությամբ՝ կինետիկական, իսկ NaCl-ի առկայությամբ `դիֆուզիոն ռեժիմներով: Fe^{2+} օքսիդի քլորացման դեպքում ջերմաստիճանը բարձրացնելիս n_1-ի արժեքը փոքրանում է, մինչդեռ n_2-ի արժեքը՝ մեծանում: Մագնեզիումի օքսիդի դեպքում ջերմաստիճանը բարձրացնելիս n-ի արժեքը փոքրանում է, ինչը նույնպես կապված է մագնեզիումի քլորիդի՝ հեղուկ ֆազի առաջացման հետ: Ջերմաստճանի բարձրացումը բոլոր դեպքերում նպաստում է շպինելային ցանցի քայքայմանը և ազատ ֆազերի առաջացմանը, որից օքսիդների քլորացման արագությունն աճում է:

Ինչպես նշվում է [2] MgO-ի քլորացումը քրոմիտից ամբողջովին չի ընթանում, քանի որ մագնեզիումի մի մասը կապված է քրոմիտի և ալյումինատի ճևով և դժվար է քլորացվում: Ըստ երևույթին, դա է պատճառը, որ նշված պայմաններում Cr_2O_3-ը և Al_2O_3-ը բոլորովին չեն քլորացվում:

Ելնելով Սակովիչի՝ $K_C = nK^{1/n}$ բանաձևից [7] և K-ի արժեքներից՝ կարելի է որոշել ռեակցիայի արագության արժեքները՝ քրոմիտի բաղադրության մեջ գտնվող FeO-ի և MgO-ի տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ քլորացման ռեակցիաների համար:

Աղյուսակ 4

Քրոմիտների՝ տարբեր քլորացնող նյութերով քլորացման գործընթացի արագության հաստատունի արժեքները՝ կախված ջերմաստիճանից

T, K	FeO						MgO		
	NH_4Cl		NaCl		$CaCl_2$		NH_4Cl	NaCl	$CaCl_2$
	Kc'	Kc''	Kc'	Kc''	Kc'	Kc''	Kc		
973	0,0783	0,0586	0,053	0,045	0,119	0,185	0,0373	0,0193	0,152
1273	0,0498	0,070	0,324	0,26	0,426	0,60	0,0398	0,042	0,206
1373	0,096	0,073	0,38	0,68	0,639	0,875	0,0742	0,055	0,225

Բոլոր դեպքերում ջերմաստիճանի բարձրացումից քլորացման ռեակցիայի արագությունը մեծանում է (աղ. 4): Հատկապես մեծ են FeO-ի և MgO-ի $CaCl_2$-ի առկայությանը զուգընթաց քլորացման ռեակցիաների արագությունները, ինչը և հաստատում են նկ. 1-ում բերված փորձնական տվյալները: lgK_c-ի կախումը ջերմաստիճանի հակառակ մեծությունից(1/T), թույլ է տալիս հաշվել քլորացման ակտիվացման էներգիաների (Ea) արժեքները FeO-ի և MgO-ի քլորացման ռեակցիաներում՝ տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ (նկ.2 և 3):

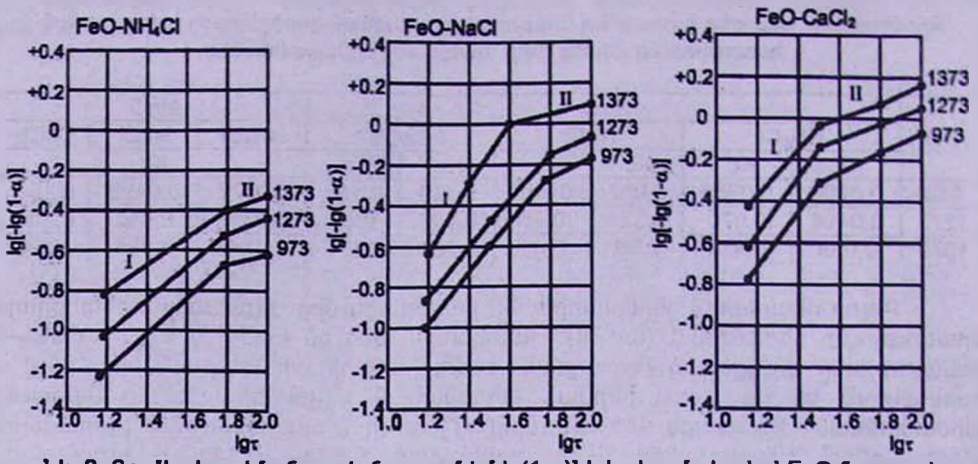
Աղ. 5-ում ներկայացված են Ea-ի արժեքները:

Աղյուսակ 5

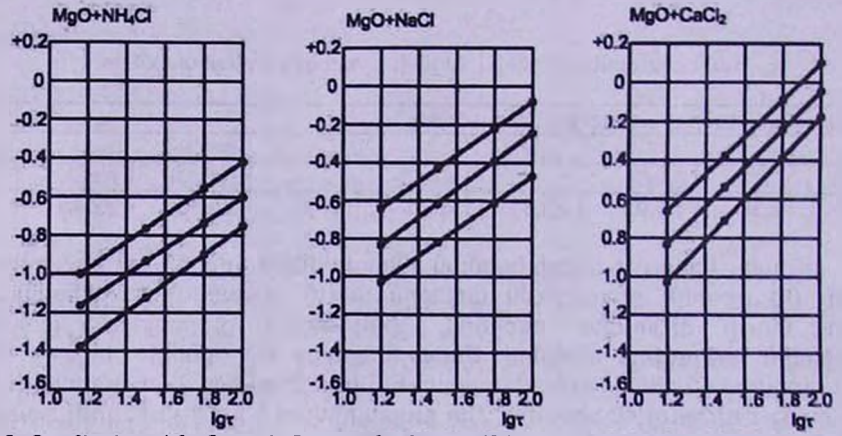
Ea-ի արժեքները FeO-ի և MgO-ի քլորացման ռեակցիաներում

Ակտիվացման էներգիայի արժեքները, կՋ/մոլ								
FeO						MgO		
NH_4Cl		NaCl		$CaCl_2$		NH_4Cl	NaCl	$CaCl_2$
63,32	11,39	56,95	23,31	46,5	17,6	25,38	32,45	10,79

Ինչպես երևում է ակտիվացման էներգիաների թվային արժեքներից, իրոք, երկաթի (II) օքսիդի քլորացումն առաջին փուլն ընթանում է կինետիկական և երկրորդ փուլը՝ դիֆուզիոն ռեժիմով, իսկ MgO-ի քլորացումն ընթանում է ամբողջովին դիֆուզիոն ռեժիմով: Սակայն երկաթ (II) օքսիդի երկրորդ փուլի և MgO-ի քլորացման ռեակցիաների համար Ea-ի արժեքները մի փոքր ավելի մեծ են, քան բնորոշ է դիֆուզիոն ռեժիմին: Դա բացատրվում է $FeCl_3$-ի հեղուկ ֆազի առաջացմամբ, որը, ինչպես նաև հեղուկ $MgCl_2$-ը, ստեղծում են որոշ դիֆուզիոն դժվարություններ: Դա զգալիորեն ազդում է Ea-ի արժեքների վրա, ո-ի՝1-ից փոքր արժեքների դեպքում:



Նկ. 2. Քրոմիտի թրծման գործընթացում lg[-lg(1-α)]-ի կախումը lgτ-ից՝ FeO-ն տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ քլորացնելիս



Նկ. 3. Քրոմիտի թրծման գործընթացում lg[-lg(1-α)]-ի կախումը lgτ-ից՝ MgO-ն տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ քլորացնելիս

Երկաթի (II) և մագնեզիումի օքիդների քլորացման պրոցեսը՝ քրոմիտների տարբեր քլորացնող նյութերի առկայությամբ թրծման պրոցեսի համար ներկայացված է ստորև:

Ընդհանուր առմամբ՝ $K_C=K_0 e^{E_a/RT}$:

Երկաթ (II) օքսիդի համար՝

NH_4Cl-ի առկայությամբ՝ $K_c'=1.2\ e^{3316/RT}$, $K_c'=1.2\ e^{1383/RT}$,

NaCl-ի առկայությամբ՝ $K_c'=0{,}1\ e^{2970/RT}$, $K_c'=0.1\ e^{2415/RT}$,

$CaCl_2$-ի առկայությամբ՝ $K_c'=0.6\ e^{1925/RT}$, $K_c'=0.6\ e^{918/RT}$:

K_C –ի արժեքներից նույնպես երևում է, որ քրոմիտների քլորացման պրոցեսն ավելի արդյունավետ և մեծ արագությամբ է ընթանում $CaCl_2$-ի առկայությամբ:

Ստացված փորձագիտական և կինետիկական վերլուծության արդյունքները կարող են օգտագործվել քրոմիտներից մետաղական քրոմի ստացման տեխնոլոգիական գործընթացներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Киреева М.В., Житкова Т.Н., Белова Н.Н., Мясникова Л.Я.** Химия и технология хромовых соединений. - М.: Химия, 1966.
2. **Шибнева Т.С., Фефелова Г.Ф.** Селективное хлорирование хромовых руд и концентратов // Сб. тр. / УНИХИМ.- Свердловк, 1966. – Вып.12. – С. 152-154.
3. **Пономорев А.И.** Методы химического анализа железных, титано-магнетитовых и хромовых руд. – М., 1966.
4. **Ерофеев Б. В., Соколова Н.Д.** Таблицы для расчетов по топохимическому уравнению. – Минск: Изд. АН БССР, 1963.
5. **Сакович Г.В.** Ученые записки Томского университета. –Томск, 1955. - N 26.
6. **Frost A. A., Rearson R. Y.** Kinetik and mechanism. 2ed. - New-York, London, 1961.
7. **Болдырев В.В.** Методы изучения кинетики термического разложения твердых веществ.-Томск: Изд. Томского универитета, 1958.
8. **Болдырев В.В.** Влияние дефектов в кристаллах на скорость термического разложения твердых веществ. - Томск, 1963.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.07.2008:

В.А. МАРТИРОСЯН, А.А. АЙВАЗЯН, Н.Н. АКОПЯН, М.Э. САСУНЦЯН

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЖИГА ХРОМИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Исследуются кинетические закономерности процесса обжига хромитов в присутствии хлорсодержащих веществ. Показано, что при хлорировании хромитов в присутствии хлорсодержащих веществ селективно хлорируются только оксиды железа и магния. Полученные экспериментальные данные были подвергнуты кинетическому анализу. Выведены общие кинетические уравнения, описывающие процесс хлорирования хромитов.

Ключевые слова: кинетика, обжиг, хлорирование, железо, магний, хромит.

V.H.MARTIROSYAN, A.A.AYVAZYAN, N.N. HAKOBYAN, M.E.SASUNTSYAN

REGULARITIES OF CHROMITE KILNING PROCESS IN PRESENCE OF THE CHLORINATION AGENTS

The kinetic regularities of iron and magnesium oxides, containing in chromite of kilning process in presence of the chlorination agents are discussed. Experimentally it is established that during chlorination process of the chromites the iron and magnesium oxides are chlorinated selectively. The results of experiments are to expose the kinetic analysis. The total kinetic formulas for the chromites chlorination process are deduced.

Keywords: kinetic, kiln, chlorination, iron, magnesium, chromite.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, №4.

УДК 675.026.2 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.С. КАРАПЕТЯН

УПРАВЛЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ КОЖ НА ОСНОВЕ РАДИАЦИОННО-ПРИВИВОЧНОЙ МОДИФИКАЦИИ

С целью комплексной оценки потребительских свойств кож исследованы функциональные зависимости их жесткости, водопроницаемости и водопромокаемости от концентрации метакриламида и величины дозы облучения. На основе установленных функциональных зависимостей показателей износостойкости и предела прочности при растяжении определен оптимальный уровень качества этих кож. С учетом заданных ограничений показателей свойств решена компромиссная задача с установлением оптимального уровня качества кож.

Ключевые слова: метакриламид, кожа титансинтанового дубления, водопроницаемость, водопромокаемость, аминокислоты, пептиды.

Применение ионизирующего излучения в технологических процессах выделки кож обеспечивает выпуск продукции высокого качества и экономическую эффективность производства. Так, облучение кожевенного сырья и кож гамма-лучами сопровождается структурными изменениями коллагенового белка, затрагивая всевозможные уровни, составляющие белковые молекулы, в том числе аминокислоты и пептиды.

Облучение аминокислот в сухом состоянии приводит к изменению аминных и карбоксильных групп, а в водных растворах происходит дезаминирование и выделение аммиака. Распад аминокислот происходит с образованием не только NH_3 и CO_2, но и альдегидов при более глубоком окислительном процессе [1, 2].

Под влиянием ионизирующего излучения пептиды также претерпевают изменения, аналогичные изменениям аминокислот [1]. Однако имеются некоторые специфические эффекты, обусловленные наличием пептидной связи. В растворе облученные пептиды образуют аммиак независимо от присутствия (отсутствия) аминогруппы [3], что свидетельствует о разрушении пептидной связи в процессе облучения. При облучении некоторых пептидов образуются органические перекиси, обладающие различной продолжительностью существования и разной химической активностью [4].

Под воздействием ионизирующей радиации в коллагене может одновременно происходить два процесса: расщепление пептидных связей в главных цепях молекулы коллагена и возникновение сшивок между функциональными группами белковых цепей [5]. В зависимости от исходного состояния коллагена (сухой, влажный или в растворе), состава атмосферы и дозы облучения, а также природы коллагена, доминирует тот или иной процесс.

При облучении кожевенного сырья и кож также были установлены оптимальные дозы (1...10 *кГр*), при которых превалирует структурирование над деструкцией, с образованием дополнительных межмолекулярных связей между белковыми цепочками [1]. Структурные изменения, происходящие в коллагене, отражаются на физико-механических и эксплуатационных свойствах готовой кожи.

Одним из наиболее распространенных способов улучшения эксплуатационных свойств различных видов кож является введение в них полимеров [1]. Положительные изменения, обусловленные введением в кожу полимеров, могут быть значительно усилены при гамма-облучении [6].

В связи с тем, что титансинтановое дубление является весьма перспективным направлением получения кож, в настоящей работе предпринята попытка осуществить радиационно-химическую прививку метакриламида к коллагену дермы.

Применение метакриламида в качестве наполнителя обусловлено тем, что он хорошо полимеризуется под влиянием ионизирующих излучений и широко применяется в легкой промышленности.

Метакриламид $CH_2=C(CH_3)CONH_2$ представляет собой бесцветные кристаллы без запаха, хорошо растворяется в воде. Химические свойства метакриламида определяются наличием амидной группы и двойной связью, сопряженной с карбомилом [7].

В качестве субстрата были использованы кожи титансинтанового дубления. Образцы отбирали перед процессом прокатки из чепрачной части по методу асимметрической бахромы. Всего было отобрано 9 групп дележек, а из каждой дележки испытанию подверглись 4 образца. Образцы обрабатывали водными растворами метакриламида при температуре 30^0С, затем облучали гамма-лучами. При этом концентрация метакриламида в растворе варьировалась в пределах 0...30%, а доза облучения – 0...10 *кГр*.

Зависимости износостойкости (во влажном состоянии) и предела прочности при растяжении титансинтанового дубления жестких кож от величины дозы облучения и концентрации метакриламида изучены в [8].

Для проведения комплексной оценки потребительских свойств с последующим выявлением оптимального уровня качества кож титансинтанового дубления исследованы функциональные зависимости показателей жесткости, водопроницаемости и водопромокаемости от концентрации метакриламида и дозы облучения. Эти показатели являются важнейшими составляющими в группе гигиенических свойств подошвенных кож.

Износостойкость кож во влажном состоянии определяли на приборе типа ИКВ, а водопромокаемость и водопроницаемость динамических условиях - на приборе типа ВПК, разработанном заводом "Ивмашприбор" совместно с ЦНИИКП.

Изучение гигиенических свойств кожи проводилось в двумерном пространстве (рис. 1 и 2).

Рис.1. Двумерное сечение поверхности отклика. Кривые влияния концентрации метакриламида и дозы облучения на жесткость кожи, *Н*

Из рис. 1 видно, что поверхность отклика представляют собой гиперболы типа минимакса. Жесткость кожи увеличивается при движении из центра фигуры по оси облучения и уменьшается при движении по оси концентрации метакриламида. В данном случае жесткость кожи изменяется с 3700 до 5000 *Н*.

Поверхность отклика, характеризующего водопромокаемость и водопроницаемость кож в динамических условиях, представлена на рис. 2.

Рис.2. Кривые влияния концентрации метакриламида и дозы облучения на водопромокаемость, *мин* (сплошные линии) и водопроницаемость кож, *г/см²час* (пунктирные линии)

Водопроницаемость кож представляет собой поверхность типа возрастающего возвышения и характеризуется контурными кривыми в виде парабол.

Из рис. 2 также видно, что с увеличением концентрации метакриламида водопромокаемость кож увеличивается, по всей вероятности, за счет радиационно-химической прививки и наполнения кож. Оптимальная доза в этом случае находится в пределах 1...5 *кГр*. Водопроницаемость при движении из центра по оси облучения уменьшается, а по оси концентрации метакриламида увеличивается. Если учесть, что уменьшение водопроницаемости положительно отражается на качестве кож, то на графике можно выбрать условия обработки, при которых полученная кожа обладает минимальной водопроницаемостью.

С целью определения оптимального уровня качества кож титансинтанового дубления были установлены функциональные зависимости показателей кож от концентрации метакриламида и дозы облучения:

$$У_{ж} = 4753{,}4 + 137{,}9x_1 + 55{,}9x_2 - 176{,}9x_1x_2 - 400{,}1x_1^2 + 117{,}7x_2^2, \quad (1)$$

$$У_{в.п} = 13{,}93 + 2{,}48x_2 - 2{,}45x_1x_2 - 1{,}89x_1^2 - 1{,}29x_2^2, \quad (2)$$

$$У_{в.прониц} = 0{,}0358 + 0{,}023x_1x_2 + 0{,}0365x_1^2. \quad (3)$$

С учетом уравнений зависимости для износостойкости и предела прочности при растяжении кож [8]

$$У_{из.} = 8{,}44 + 0{,}033x_1 + 1{,}18x_2 - 0{,}37x_1x_2 - 0{,}94x_1^2 - 0{,}68x_2^2, \quad (4)$$

$$У_{проч} = 26{,}6 - 0{,}87x_1 - 1{,}23x_2 - 0{,}43x_1x_2 + 0{,}14x_1^2 + 3{,}91x_2^2 \quad (5)$$

можно получить продукцию с заданными свойствами.

В (1)-(5) $У_ж$ – жесткость кож, *Н*; $У_{в.п.}$ – водопромокаемость кож, *мин*; $У_{в.прониц}$ – водопроницаемость в динамических условиях, *г/см²час*; $У_{из}$ – износостойкость кож, *ч/мм*; $У_{проч}$ – предел прочности при растяжении, *МПа*; x_1 – концентрация метакриламида в кодированном виде, %; x_2 – доза облучения также в кодированном виде, *кГр*.

Систему из полученных уравнений можно использовать для установления оптимального уровня качества кож титансинтанового дубления. Так, если принять $У_{из}$>6 *ч/мм*; $У_{проч}$>27 *МПа*; $У_{в.п}$ >10 *мин*; $У_{в.прониц.}$<0,04 *г/см²час*; $У_ж$>3500 Н; $x_1 \le 1{,}41$; $x_2 \ge -1{,}41$, то $(x_1, x_2) = \begin{bmatrix} -0{,}198 \\ -0{,}136 \end{bmatrix}$ или $\begin{bmatrix} 14{,}02\% \\ 4{,}524 кГр \end{bmatrix}$.

Таким образом, радиационная прививка метакриламида к коже титансинтанового дубления приводит к изменению показателей как эксплуатационных, так и гигиенических свойств кож.

Установленные функциональные зависимости позволяют управлять потребительскими свойствами и получать кожу с оптимальным уровнем качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Страхов И.П., Левенко П.И., Шифрин И.Г.** Ионизирующее излучение в кожевенной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1973. - 158 с.
2. **Шарпатый В.А.** О роли радикалов ОН в деструкции белковой молекулы // Химия высоких энергий. –М., 1993. - Том 27, N 1. –С. 93-94.
3. **Своллоу А.** Радиационная химия органических соединений. – М.: Изд-во ИЛ, 1963. - 408 с.
4. **Арипов Т.Ф.** Изучение взаимодействия свободных радикалов облученных биологически важных соединений с молекулярным кислородом: Автореферат дис.... канд. физ.-мат. наук. –Пущино, 1975. - 20 с.
5. **Grant R.A., Cox R.W.** and **Kent C.M.** The effects of gamma irradiation on the structure and reactivity of native and cross-linked collagen fibres // J. Anat. - 1973. - V.115, Pt 1. - P. 29-43.
6. **Страхов И.П., Шифрин И.Г.** // Известия ВУЗов. Техн. легкой промышленности. – 1963. –N 2. –С.56.
7. **Страхов И.П., Шифрин И.Г.** Кожевенная промышленность. Серия IX. Инф.1 / ЦИНТИЛегпром, 1965.
8. **Կարապետյան Ա.Ս., Գեւորգյան Ա.Վ.** Կոմպրոմիսային խնդիրների լուծումը որպես կաշվի որակի կառավարման կարևորագույն տարր // Ագրոգիտություն. –2003. – N 11-12. –էջ. 547-550.

Государственный экономический университет Армении. Материал поступил в редакцию 10.07.2008.

Ա.Ս.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ
ԿԱՇՎԻ ՍՊԱՌՈՂԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ ՃԱՌԱԳԱՅԹԵԼՈՎ-ՊԱՏՎԱՍՏԵԼՈՒ ՎԵՐԱՓՈԽՄԱՆ ՃԻՄՔՈՎ

Տիտանսինտանային դաբաղման կաշիները մշակվել են մետակրիլամիդի տարբեր խտության լուծույթներով և ճառագայթվել γ-քվանտով: Կաշվի սպառողական հատկությունների համալիր գնահատման նպատակով հետազոտվել են վերջինիս կոշտության, ջրաթափանցման և ջրաթրջման ցուցանիշների ֆունկցիոնալ կախումները մետակրիլամիդի խտության և ճառագայթման բաժնեչափի մեծություններից: Օգտագործելով նաև նախկինում սահմանված մաշակայունության և ձգման ամրության սահմանի ֆունկցիոնալ կախումները՝ որոշվել է այդ կաշվի որակի լավագույն մակարդակը: Առաջադրված հատկությունների ցուցանիշների սահմանափակումներով հանդերձ լուծվել է կոմպրոմիսային խնդիր՝ սահմանելով կաշվի լավագույն որակը:

Առանցքային բառեր. մետակրիլամիդ, տիտանսինթանային դաբաղման կաշիներ, ջրաթափանցում, ջրաթրջում, ամինաթթուներ, պեպտիդներ:

A.S. KARAPETYAN
MANAGING CONSUMER ATTRIBUTES OF LEATHER BASED ON RADIATION MODIFICATION

Titanclentenic panning leathers are carried out by different density solutions of metachrilamide and are radiated with γ quantum. For complex estimating consumer attributes of leather its solidity, waterpermeability and water-humidity indexes of functional suspensions from metachrilamides density and magnitude of radiation portion are studied. Using previously specified wearability and functional dependences of strain durability the best quality level of the leather is established. By proposed features with limitations a compromised problem is solved by specifying the best leather quality.

Keywords: metachrilamide, titancientenic panning leather, waterpermeability, aminoacids, pepcides.

ISSN 0002-306X Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI. № 4.

ՀՏԴ 661.21 ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱ

Լ.Ե. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՈՒՂՂԱԿԻ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱՆ, ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՎ ՌԵՆԻՈՒՄԻ ԵՐԿՍՈՒԼՖԻԴՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱ-ՀԻԴՐՈՕՔՍԻԴԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

Հետազոտվում են մոլիբդենիտային խտանյութի ուղղակի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման գործընթացի կինետիկական պարամետրերը: Առաջարկվում և հիմնավորվում է մոլիբդենի և ռենիումի երկսուլֆիդների էլեկտրա-հիդրոօքսիդացման մեխանիզմը:

Առանցքային բառեր. մոլիբդենիտ, երկսուլֆիդ, էլեկտրաքիմիական տարրալուծում, հիդրոօքսիդացում, մոլիբդատ, ռենատ:

Հայտնի է, որ սուլֆիդային միներալների (այդ թվում մոլիբդենիտի՝ MoS_2) հիդրոօքսիդացման - տարրալուծման համակարգում ամենաարդյունավետ ազդանյութը հիմնային լուծիչներն են [1]: Ընդ որում, դրանց ծախսը երկրորդային ռեակցիաների վրա շատ անգամ ավելի փոքր է, քան թթուներինը, քանի որ վերջիններս միաժամանակ տարրալուծում են նաև օքսիդներ, սուլֆատներ և կարբոնատներ:

Առավել արդյունավետ տարրալուծման միջավայր է նատրիումի հիպոքլորիդի (NaClO) լուծույթը [2], որի օքսիդարար ունակությունը հիմնային պայմաններում որոշվում է հետևյալ իոնային ռեակցիայով.

$$ClO^- + H_2O + 2e = Cl^- + 2OH^-, \quad E = 0,89 \text{ վ} \qquad (1)$$

Նատրիումի հիպոքլորիդն օժտված է բարձր ընտրողականությամբ սուլֆիդների նկատմամբ, ակտիվ է ցածր ջերմաստիճաններում և փոքր կոնցենտրացիաների դեպքում, հեշտությամբ կարող է վերարտադրվել էլեկտրոլիտիկ եղանակով:

Քլորիտ-իոնի (ClO^-) քայքայումը հիմնային լուծույթներում, ըստ

$$3ClO^- = 2Cl^- + ClO_3^-, \quad K_p \approx 10^{27} \qquad (2)$$

ռեակցիայի գործնականորեն կարող է տեղի ունենալ միայն 75^0C-ից բարձր ջերմաստիճաններում: Իսկ նոսր լուծույթներում նույնիսկ ջերմաստիճանի կտրուկ տատանումները չեն կարող նշմարելի չափով արագացնել ClO^- իոնների քայքայումը [3]: Դրանց գոյացման

$$Cl_2 + 2OH^- = Cl^- + ClO^- + H_2O, \quad K_p=7,6.10^{15} \qquad (3)$$

ռեակցիան հակառակ ուղղությամբ ընթանալ չի կարող [4], քանի որ շատ մեծ են նրա հավասարակշռության հաստատունի արժեքները:

Փորձ է արվել [2] NaClO - ի լուծույթը կիրառել հանքանյութի նկատմամբ, խողովակով այն մղելով դեպի հանքախորշ, հանքային մարմնում մոլիբդենիտի հիդրոօքսիդացման համար: Նատրիումի հիպոքլորիդի 30%-անոց լուծույթով

մոլիբդենի խտանյութի վերամշակման մասին (ռենիումի 91,5% կորզման աստիճանով) նշվում է նաև [5] աշխատությունում:

Աշխատանքում որպես ելանյութ է ընտրված Ագարակի ՊՄ կոմբինատում թողարկված մոլիբդենի խտանյութը (48-51% Mo, ~ 400 *գ/տ* Re, 1,4-2,0% Fe, 0,5-1,2% Cu, 2,0-3,8% SiO_2, 3,0-4,0% Al_2O_3, 3,0% CaO+MgO և այլն): Ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության եղանակով (ԴՐՕՒ-2,0, CuK_α-ճառագայթմամբ) հաստատվել է, որ դրա հիմնական բաղադրիչը մոլիբդենիտն է (MoS_2)՝ 6,15 *Ճ*, 3,068 *Ճ*, 2,25 *Ճ* և 1,825 *Ճ* բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումներով: Պղինձն ու երկաթը հանդես են գալիս հիմնականում խալկոպերիտի ($CuFeS_2$) տեսքով, երկաթն առանձին, նաև Fe_2O_3 ֆազով: Մաղային վերլուծության (ԳՕՍՏ-18318-73) տվյալներով խտանյութն իր հատիկաչափական կազմով հիմնականում մանր ֆրակցիայի փոշենյութ է (10...15% +0,07 *մմ*, 45...50% -0,07...+0,056 *մմ*, 22...25% -0,056...+0,04 *մմ*, մնացածը՝ 0,04 *մմ*):

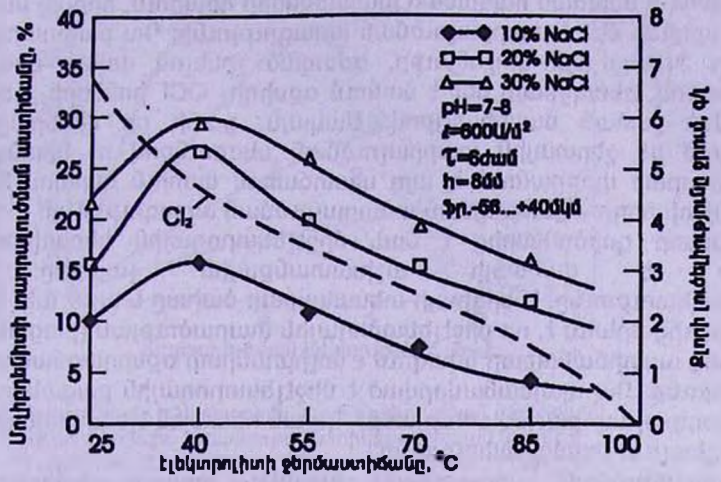
Հաշվի առնելով նաև նատրիումի հիպոքլորիտ աղի (NaClO) դժվար մատչելիությունը՝ փորձերի համար ընտրվել է դրա էլեկտրոլիտիկ վերարտադրման սկզբունքը՝ համատեղելով NaCl-ի հագեցած ջրային լուծույթի էլեկտրոլիզը խտանյութի տարրալուծման գործընթացին: Այդպիսի պայմաններում MoS_2 և ReS_2 սուլֆիդների օքսիդացման համար անհրաժեշտ ClO^- իոնների գոյացման աղբյուրը NaCl - ի էլեկտրոլիզի հետևանքով անոդի վրա անջատվող քլոր-գազի և հիդրօքսիլ իոնի փոխազդեցության հայտնի ռեակցիան է ($Cl_2 + 2OH^- = Cl^- + ClO^- + H_2O$):

Փորձերն իրականացվել են 1 լիտր տարողությամբ ապակեպատ էլեկտրոլիզային վաննայում, հարթ-զուգահեռ գրաֆիտե էլեկտրոդներով: Միջէլեկտրոդային տարածությունը կարգավորվել է 8...20 *մմ* սահմաններում: Էլեկտրոլիտի ջերմաստիճանի կարգավորումը կատարվել է հովացնող համակարգի օգնությամբ: Տարբեր կոնցենտրացիայի ելային էլեկտրոլիտները պատրաստվել են՝ թորած ջրում լուծելով տեղական արտադրության չյոդացված կերակրի աղը: Նատրիումի հիդրօքսիդի կոնցենտրացիան ելային էլեկտրոլիտում կարգավորվում է լուծույթի pH-ի միջոցով, որի արժեքը տեսականորեն պետք է լինի 7...8 սահմաններում: Վերջինիս նվազումը պրոցեսի ընթացքում փոխհատուցվում է NaOH- ի ավելացմամբ: Խտանյութի տարրալուծման աստիճանն ըստ մոլիբդենի որոշվել է լուծույթի կոնցենտրացիայի վերլուծությամբ ատոմա-աբսորբցիոն մեթոդով (AA 240 FS մակնիշի սարքի օգնությամբ):

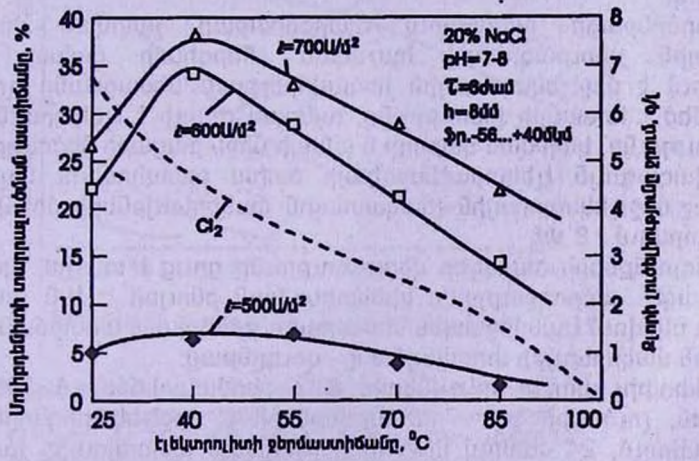
Հետազոտվել են խյուսի անընդհատ խառնման (խառնիչի պտուտաթվերը 120 պտ/րոպե) պայմաններում NaCl-ի ելային կոնցենտրացիայի, էլեկտրոլիտի ջերմաստիճանի, անոդային հոսանքի խտության, միջէլեկտրոդային տարածության, միներալների հատիկաչափական կազմի և տևողության ազդեցությունը մոլիբդենիտի տարրալուծման աստիճանի վրա: Նկ.1 և 2-ում բերված գրաֆիկներից երևում է, որ խտանյութի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման գործընթացում մոլիբդենիտի օքսիդացման աստիճանը բավականին զգայուն է ջերմաստիճանի նկատմամբ: Էլեկտրոլիտը տաքանալիս մինչև մոտավորապես 40^0C, մոլիբդենի օքսիդացման և դեպի լուծույթ նրա տեղափոխման արագությունը կտրուկ աճում է, այնուհետ աստիճանաբար փոքրանում և 85^0C - ից բարձր ջերմաստիճաններում հասնում իր նվազագույն արժեքին: 25...45 ^0C տիրույթում տարրալուծման մեծ արագությունը պայմանավորված է փոխազդող իոնների դիֆուզիայի գործակցի մեծացմամբ: Ջերմաստիճանի հետագա աճի դեպքում տարրալուծման գործընթացի դանդաղումը բացատրվում է ջրում էլեկտրոլիտիկ Cl_2 գազի լուծելիության նվազումով [6, 7]: Մոլիբդենիտի հիդրոօքսիդացման առավել արդյունավետ

ջերմաստիճանային տիրույթը 35...42^{o}C է: Այդ նկատառումով հետագա փորձերը կատարվել են՝ լուծույթի ջերմաստիճանը պահելով 38...40 ^{o}C սահմաններում:

Նատրիումի քլորիդի սկզբնական կոնցենտրացիայի մեծացմամբ մոլիբդենի կորզման աստիճանն ավելանում է: Ակնհայտ է, որ ավելի նպատակահարմար է գործընթացը մեկնարկել NaCl - ի 30 % կոնցենտրացիայով:



Նկ. 1. էլեկտրոլիտի ջերմաստիճանի և NaCl-ի կոնցենտրացիայի ազդեցությունը մոլիբդենիտի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման աստիճանի վրա (քլորի լուծելիության կորը ըստ [6] տվյալների)



Նկ. 2. Հոսանքի խտության ազդեցությունը մոլիբդենիտի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման աստիճանի վրա (քլորի լուծելիության կորը ըստ [6] տվյալների)

Նկ. 2 – ից երևում է, որ հոսանքի խտության մեծացումը 500- ից մինչև 600 *Ա/մ*^{2} կտրուկ ավելացնում է մոլիբդենիտի քայքայումը: 700 *Ա/մ*^{2} – ից ավելի բարձր պայմաններում էլեկտրոլիտի ջերմաստիճանը դառնում է անկառավարելի (չափազանց մեծ էկզոթերմիայի պատճառով):

Տարրալուծման-օքսիդացման կինետիկան ցայտուն կերպով դրսևորվում է՝ կախված ելային խտանյութի հատիկաչափային կազմից (նկ.3,4): Միատեսակ կշռաբաժնով և մնացած հավասար պայմանների դեպքում, որքան մանր է միներալը (MoS_2), այնքան մեծ է տարրալուծման արագությունը: Դա բացատրվում է նրանով, որ մանր ֆրակցիայի փոշենյութը, օժտված լինելով ավելի մեծ տեսակարար մակերևույթով, ռեակցիայի մեջ է մտնում օքսիդիչ OCl^- իոնների հետ միանգամից ավելի մեծ շփման մակերևույթով: Սակայն, քանի որ միներալի հատիկները քայքայվում են շերտային տարրալուծման սկզբունքով ու նրանց մակերևույթն աստիճանաբար փոքրանում է, այդ պատճառով սահուն կերպով նվազում է նաև մոլիբդենիտի հիդրոօքսիդացման-տարրալուծման արագությունը:

Կարևոր գործոններից է նաև միջէլեկտրոդային հեռավորությունը, որից կախված է վաննայի աշխատանքային լարումը, էլեկտրոլիզի արդյունավետությունը, էներգիայի տեսակարար ծախսը և այլն: Նկ. 5 – ում բերված գրաֆիկներից երևում է, որ միջէլեկտրոդային տարածության (բացակի) մեծացմանը զուգընթաց աստիճանաբար նվազում է մոլիբդենիտի օքսիդացման-տարրալուծման արագությունը: Դա պայմանավորված է միջէլեկտրոդային բացակում պոտենցիալի անհավասարաչափ բաշխվածությամբ: Որքան հեռու են էլեկտրոդները, այնքան մեծ է պոտենցիալի անհամաչափությունը:

Տարրալուծման արագության առավել կտրուկ փոփոխություններ են նկատվում հոսանքի բարձր խտությունների (>700 *Ա/մ*^{2}) պայմաններում, ինչը կարելի է բացատրել անոդային և կաթոդային հոսանքների՝ վաննայի մակերեսից դեպի էլեկտրոդների ստորին եզրերը անհավասարաչափ բաշխվածությամբ: Այս գործոնը, հավանաբար, արտադրական պայմաններում կարող է դեր չխաղալ, քանի որ լուծույթը շրջապտույտի մեջ է գտնվելու՝ հաջորդաբար դասավորված մի շարք բջիջներով:

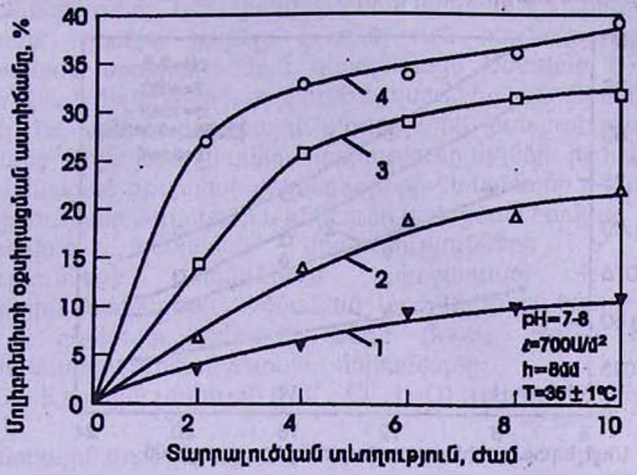
Գործընթացի ընթացքում պարբերաբար չափված փաստացի վոլտամպերային բնութագրերով հաշվված էներգիայի ծախսը, ընդհակառակն, ավելանում է միջէլեկտրոդային հեռավորության մեծացմանը զուգընթաց (նկ.6): Որքան մեծ է հոսանքի խտությունը, այնքան զգալի է էլեկտրաէներգիայի ծախսի փոփոխությունը՝ կախված կաթոդի և անոդի միջև բացակի մեծությունից:

Նվազագույն էլեկտրաէներգիայի ծախս ապահովելու նպատակով որպես օպտիմալ միջէլեկտրոդային (ճակատային մակերևույթների միջև) հեռավորության չափ ընտրվում է 8 *մմ*:

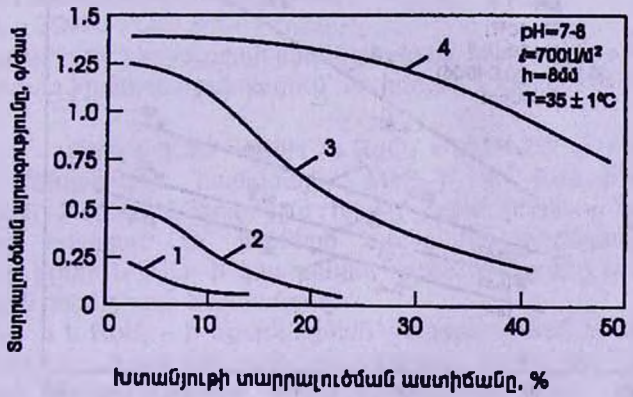
Արդյունքների համալիր վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ տարրալուծման գործընթացն ամբողջությամբ կինետիկական բնույթի է: Այն չունի խմորումային շրջան ու սկսվում է անմիջապես մեծ արագությամբ, որն աստիճանաբար նվազում է՝ ռեակցիոն մակերևույթի փոքրացմանը զուգընթաց:

Ամփոփիչ փորձի տվյալներով 40 ^0C ջերմաստիճանում, 700 *Ա/մ*^{2} հոսանքի խտության, լուծույթի pH = 7...8 արժեքների և միջէլեկտրոդային 8 *մմ* բացակի պայմաններում, 24 ժամում նախօրոք լվացված խտանյութից (առանց լրացուցիչ մանրացման) գրեթե ամբողջությամբ (99,16 %) տարրալուծվում է մոլիբդենը՝ MoO_4^{2-} իոնների տեսքով (24,8 *գ/լ* Mo ստացված լուծույթում): Ուղեկից ռենիումի անվերապահորեն անցումը լուծույթ՝ ReO_4^- իոնների տեսքով պայմանավորված է

նրանով, որ ReS_2-ը հանդես է գալիս MoS_2 միներալի կազմում՝ իզոմորֆ ծևով

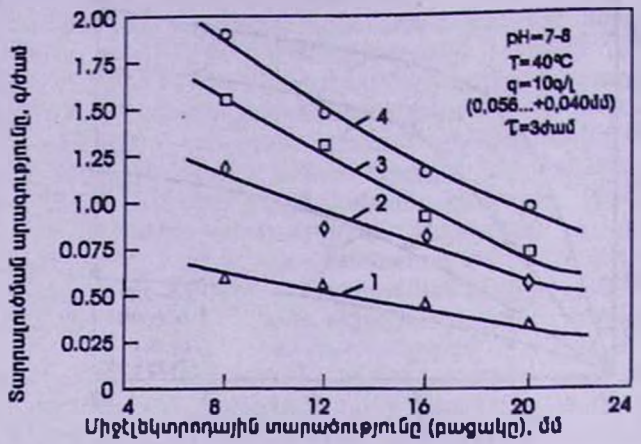


Նկ. 3. Սուլիբդենիտի էլեկտրաքիմիական օքսիդացման աստիճանի կախումը ելային խտանյութի հատիկաչափական կազմից՝ 1) - 0,071 *մմ*, 2) - 0,071...+ 0,056 *մմ*, 3) – 0,056...+ 0,040 *մմ*, 4) – 0,040 *մմ* (NaCl-ի 10 *գ/լ* կոնցենտրացիայով)

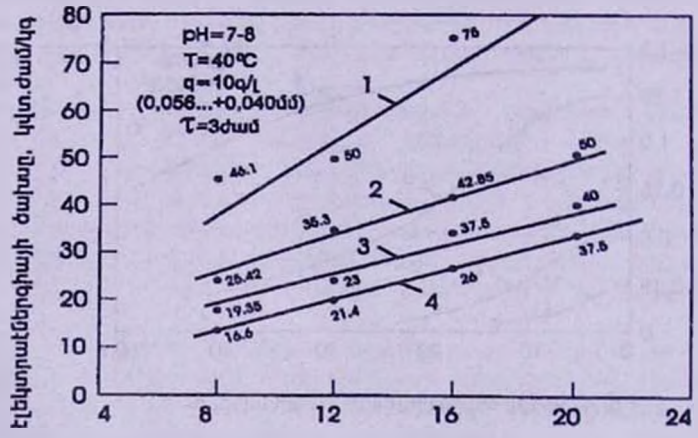


Նկ. 4. Տարբեր հատիկաչափական կազմով խտանյութի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման կինետիկական բնութագրերը՝ 1) - 0,071 *մմ*, 2) – 0,071...+0,056 *մմ*, 3) – 0,056...+0,040 *մմ*, 4) – 0,040 *մմ* (NaCl – ի 10 *գ/լ* կոնցենտրացիայով)

լուծված լինելով նրա շերտավոր բյուրեղային ցանցում: Անշուշտ, վերջինիս քայքայման ժամանակ մոլիբդենի հետ միասին ռենիումն էլ է անցնում լուծույթ: էլեկտրաէներգիայի փաստացի ծախսը կազմում է ~48 *կՎտ.ժամ/կգ Mo*.



Նկ. 5. Խտանյութի էլեկտրաքիմիական տարրալուծման միջին արագության կախումը միջէլեկտրոդային հեռավորությունից, տարբեր հոսանքի խտությունների պայմաններում՝
1)– 500 *Ա/մ²*, 2) – 600 *Ա/մ²*, 3) – 650 *Ա/մ²*, 4) – 700 *Ա/մ²*



Նկ. 6. Միջէլեկտրոդային հեռավորության ազդեցությունը էլեկտրաէներգիայի տեսակարար ծախսի վրա, հոսանքի տարբեր խտությամբ էլեկտրաքիմիական տարրալուծման ժամանակ՝
1) – 500 *Ա/մ²*, 2) – 600 *Ա/մ²*, 3) – 650 *Ա/մ²*, 4) – 700 *Ա/մ²*

Եզրափակիչ փուլի վերջում մնացած սորախցուկի (անլուծելի պինդ մնացորդ) սիլիկատային ու ռենտգենաֆազային վերլուծությունների տվյալներով խտանյութում առկա պղինձն ու երկաթը ($CuFeS_2$ և Fe_2O_3 տեսքով), ինչպես նաև մյուս օքսիդային միներալները, էլեկտրաքիմիական տարրալուծման գործընթացում մնում են անփոփոխ: Դրանից կարելի է անել այն հետևությունը, որ խտանյութի էլեկտրաքիմական տարրալուծման գործընթացն օժտված է բարձր ընտրողականությամբ միայն մոլիբդենի և ռենիումի երկսուլֆիդների նկատմամբ, ինչը կարելի է բացատրել, հավանաբար, իոնային բյուրեղային ցանցում դրանց բարձր վալենտականությամբ: Գործընթացի անտարբերությունը պղնձի ու երկաթի սուլֆիդների, ինչպես նաև մնացած օքսիդային միներալների նկատմամբ լավագույն նախադրյալ է բարձր մաքրությամբ մոլիբդենի և ռենիումի ստացման համար:

Կատարված տեսական վերլուծությունների և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում առաջադրվել և հիմնավորվել է մոլիբդենիտային խտանյութի հիմնական կորզվելիք բաղադրիչներ հանդիսացող մոլիբդենի և ռենիումի երկսուլֆիդների (MoS_2, ReS_2) էլեկտրաքիմիական օքսիդացման-տարրալուծման հետևյալ մեխանիզմը:

1. NaCl - ի ջրային լուծույթի (Na^+, Cl^-, H_2O) էլեկտրոլիզ՝ NaOH-ի հավելմամբ (pH = 7 ... 8).

1.1. Անոդային գործընթաց.

- քլորի իոնների լիցքաթափում և քլոր-գազի անջատում՝ $2Cl^- - 2e \rightarrow 2Cl^0$, $2Cl^0 \rightarrow Cl_2$:

1.2.Կաթոդային գործընթացներ.

- ջրի մոլեկուլների լիցքաթափում, OH^- և H^+ իոնների գոյացմամբ՝ $2H_2O + 2e \rightarrow 2OH^- + 2H^+$,
- ջրածնի վերականգնում՝ $2H^+ + 2e \rightarrow 2H^0$, $2H^0 \rightarrow H_2$:

2. Հիպոքլորիտ-իոնների գոյացում լուծույթի ծավալում՝ քլոր-գազի՝ հիդրօքսիլ իոնների հետ փոխազդմամբ.

$$Cl_2 + 2OH^- \rightarrow ClO^- + Cl^- + H_2O:$$

3. Նատրիումի հիդրօքսիդի ռեգեներացում՝ $Na^+ + OH^- \rightarrow NaOH$:

4. Երկսուլֆիդների օքսիդացում՝ մոլիբդատ և ռենատ իոնների գոյացմամբ.

$$\rightarrow$$

$$ReS_2 + 9ClO^- + 6OH^- \rightarrow ReO_4^- + 9Cl^- + 2SO_4^{2-} + 3H_2O:$$

Այս մեխանիզմի համաձայն, MoS_2-ի և ReS_2-ի էլեկտրաքիմիական օքսիդացման համար անհրաժեշտ հիպոքլորիտ իոնները գոյանում են NaCl-ի դիսոցումից գոյացած Cl^- իոնների անոդային լիցքաթափումից անջատված մոլեկուլյար քլորի և H_2O- ի կաթոդային լիցքաթափումից գոյացած OH^- իոնների փոխազդման ռեակցիայի հետևանքով:

MoS_2 - ի և ReS_2 – ի օքսիդացման-տարրալուծման ռեակցիաներն ընթանում են պինդ/հեղուկ ֆազային սահմանագծերում, որոնց հետևանքով մոլիբդենիտի բյուրեղային ցանցում առկա մոլիբդենի (ինչպես նաև ռենիումի) ատոմներն աստիճանաբար (շերտային քայքայման սկզբունքով) օքսիդանում են և անցնում լուծույթ՝ մոլիբդատ (MoO_4^{2-}) և ռենատ (ReO_4^-) իոնների տեսքով: Անտարակույս, դրանց ցեմենտացումն անհնար է, քանի որ լուծույթում առկա Na^+ իոնների հետ մոլեկուլների գոյացման դեպքում, միևնույն է, Na_2MoO_4 և $NaReO_4$ աղերը ջրում լուծելի միացություններ են:

Երկսուլֆիդների օքսիդացման-տարրալուծման ռեակցիաների հետևանքով փաստորեն վերարտադրվում են ինչպես անոդային ռեակցիայով ծախսված Cl^-

իոնները, այնպես էլ կաթոդային ռեակցիայով ծախսված ջրի մոլեկուլները: Այդ է պատճառը, որ գործընթացի ընթացքում վաննայում լրացուցիչ NaCl - ի և H_2O - ի կարիք չի զգացվում, բացառությամբ չնչին չափի գոլորշիացման: Սակայն, պետք է նկատի ունենալ, որ արտադրական պայմաններում համակարգը հերմետիկ փակ է լինելու, ուստի ջրի կորուստն էլ կարող է աննշան լինել:

Ինչ վերաբերում է լուծույթում SO_4^{2-} իոնների անընդհատ ավելանալուն (MoS_2 և ReS_2 սուլֆիդների տարրալուծման հետևանքով), ապա դրանք կարող են H^+ իոնների հետ միանալով գոյացնել ծծմբական թթու (H_2SO_4)՝ դրանով իսկ փոքրացնելով էլեկտրոլիտի pH - ը: Այդ պատճառով լուծույթում պարբերաբար ավելացվում է NaOH – ի լրացուցիչ կշռաբաժին, որպեսզի pH - ը պահպանվի 7...8 սահմաններում (երկսուլֆիդների քայքայման ռեակցիաների ընթանալու համար առավել բարենպաստ պայմանների ապահովման նպատակով):

Նատրիումի հիդրօքսիդի գոյացումը լուծույթում նույնպես հնարավոր է՝ OH^- իոնների ավելցուկի դեպքում, այնպես, ինչպես սովորաբար քլոր-գազի ստացման արտադրությունում նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթի էլեկտրոլիզի դեպքում ($Na^+ + OH^- = NaOH$):

Որպես էլեկտրաքիմիական տարրալուծման լավարկված տեխնոլոգիական ռեժիմ է ընտրված՝

- պինդ / հեղուկ հարաբերությունը խյուսում՝ 1 : 8 (ըստ ծավալի),
- ելային էլեկտրոլիտը՝ NaCl - ի հագեցած ջրային լուծույթ 25^0C - ում,
- լուծույթի pH-ը՝ 7...8 սահմաններում (կարգավորումը NaOH - ով),
- միջէլեկտրոդային հեռավորությունը՝ 8 *մմ*,
- հոսանքի խտությունը՝ 700 $Ա/մ^2$,
- էլեկտրոլիտի ջերմաստիճանը՝ $38...40^0C$,
- անընդհատ խառնում (արտադրական պայմաններում լուծույթը որոշակի արագությամբ հոսում է հաջորդաբար դասավորված էլեկտրոլիզային բջիջներով),
- տարրալուծման անհրաժեշտ տևողությունը՝ 24 *ժ*,
- էլեկտրաէներգիայի ծախսը (լոբորատոր տվյալներով)՝ 48 *կՎտ.ժ/կգ.Մօ*.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Яшина Г.М., Костарева М.А., Камаеж В.Д. и др.** // Цветная металлургия. Бюл. ЦНИИЭИЦМ.- 1991.- N 7.- С. 13 — 15.
2. **Яшина Г.М.** Возможности геотехнологического извлечения молибдена на основе гипохлоридного и сернистого выщелачивания // Цветные металлы.- 1992.- N4.— С.25-27.
3. **Кубасов В.Л., Банников В.В.** Электрохимическая технология неорганических веществ. — М.: Химия,1989.— 145 с.
4. **Коттон Ф., Уилкинсон Дж.** Современная неорганическая химия.— М.: Мир, 1969.— Т.2. — 430 с.
5. **Лебедев Л.Б.** Рений.- М.: Металлургиздат, 1963.— 207 с.
6. **Якименко И.М., Посмонник М.И.** Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлоропродуктов. Изд. 2 / Пер. с доп. — М.: Химия, 1976.— 440 с.
7. Кучное выщелачивание благородных металлов / Под. ред. **М.И. Фазлулина.**— М.: Изд-во Академии горных наук, 2001.— 647 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.07.2008:

Л.Е. САРГСЯН, А.Г. МИНАСЯН, А.М. ОГАНЕСЯН

КИНЕТИКА ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА, МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОГИДРОХЛОРИРОВАНИЯ ДИСУЛЬФИДОВ МОЛИБДЕНА И РЕНИЯ

Исследованы кинетические параметры прямого электрохимического выщелачивания молибденитового концентрата. Предложен и обоснован механизм электрогидроокисления дисульфидов молибдена и рения.

Ключевые слова: молибденит, дисульфид, электрохимическое выщелачивание, гидроокисление, молибдат, ренат.

L.YE. SARGSYAN, A.G. MINASYAN, A.M. HOVHANNISYAN

KINETICS OF DIRECT ELECTROCHEMICAL LEACHING OF MOLYBDENITE CONCENTRATE, MECHANISM OF ELECTRO-HYDROOXIDATION OF MOLYBDENUM AND RHENIUM DISULPHIDES

The kinetical parametres of direct electrochemical leaching of molybdenite concentrate are investigated. The mechanism of electro-hydrooxidation of molybdenum and rhenium disulphides is proposed and substantiated.

Keywords: molybdenite, disulphide, electrochemical leaching, hydrooxidation, molybdat, rhenat.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.039.586

А.А. ГЕВОРКЯН, В.З. МАРУХЯН

ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА И РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Анализируются проблемы, связанные с хранением, переработкой и захоронением отработанного ядерного топлива (ОЯТ) в мире. Приведены данные о среднегодовом образовании ОЯТ и радиоактивных отходов (РАО) в мире, а также в расчете на единицу мощности. Проведен сравнительный анализ разных методов обращения с ОЯТ и РАО, показаны преимущества и недостатки каждого метода.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, хранение, переработка и захоронение отработанного ядерного топлива.

Прогнозы МАГАТЭ и других международных организаций показывают, что в ближайшем будущем роль атомной энергетики в покрытии спроса на электроэнергию будет возрастать даже при реализации крупномасштабных мер по энергоснабжению и предельно возможном внедрении новых видов источников энергии, снижающих выбросы CO_2 в атмосферу. Развитие ядерной энергетики также связано с обеспечением режима нераспространения ядерных материалов при долговременном хранении и захоронении ОЯТ и РАО, образующихся при эксплуатации АЭС.

Развитие ядерной энергетики предполагает максимально эффективное использование действующих реакторов, продление срока службы реакторов и строительство новых ядерных энергоблоков. Наряду с этим важное значение имеет долгосрочный стабильный ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Стабильность ЯТЦ определяют два следующих фактора:

- стабильность на начальном этапе (поставка топлива);
- решение проблем на заключительном этапе (переработка и удаление ОЯТ).

Выбор заключительного этапа ЯТЦ может быть сделан лишь из следующих трех вариантов: переработка и рециклирование, прямое удаление, длительное временное хранение. Сравнение этих вариантов приведено в табл. 1.

При длительном хранении ОЯТ, даже при условии строгого и системного контроля, существует предельный срок хранения. Кроме того, этот вид хранения не дает окончательного решения для заключительного этапа – все равно не избежать выбора между переработкой и рециклированием и прямым удалением.

Комиссия по атомной энергии Японии провела сравнительный анализ обоих сценариев заключительного этапа ЯТЦ для Японии – переработки всего объема ОЯТ и прямого удаления [1]. Результаты сравнения по некоторым показателям приведены в табл. 2.

Таблица 1

Сравнение вариантов заключительного этапа ЯТЦ

	Вариант	Контроль за плутонием	Контроль за радиоактивными отходами
1	Переработка и рециклирование	Восстанавливается плутоний и осуществляется за ним контроль. Плутоний накапливается как ресурс ядерной энергетики для применения в будущем.	Путем химической обработки ОЯТ из него выделяются уран, плутоний, продукты деления и трансурановые нуклиды. Продукты деления и трансурановые нуклиды в виде брикетов хранятся в подземном хранилище, как отходы высокой удельной активности (ОВУА). Образующиеся в ходе переработки отходы низкой удельной активности (ОНУА) на основании соответствующей классификации хранятся под землей на надлежащей глубине.
2	Прямое удаление	ОЯТ без какой-либо обработки помещается в могильник. Контроль за плутонием не осуществляется. От ОЯТ отказываются, как от ресурса будущего.	ОЯТ без фракционирования отправляется в могильник глубокого заложения в качестве ОВУА.
3	Длительное хранение	ОЯТ в изначальном виде длительное время хранится и контролируется в хранилищах. В будущем решается: перерабатывать его или применить прямое удаление.	ОЯТ в изначальном виде длительное время хранится и контролируется в хранилищах. В будущем решается альтернатива: перерабатывать его или применить прямое удаление.

В конечном счете признано, что при переработке и рециклировании стоимость производства электроэнергии несколько превышает аналогичный показатель при прямом удалении, но по другим показателям в комплексе первый вид заключительного этапа ЯТЦ имеет преимущества. По результатам комплексной оценки Комиссия по атомной энергии Японии пришла к выводу о целесообразности курса на переработку ОЯТ, регенерацию и эффективное использование плутония и урана. При оценке преимуществ переработки и рециклирования на заключительном этапе ЯТЦ первоочередным является накопление плутония и безопасность.

Таблица 2

Результаты сравнения вариантов заключительного этапа ОЯТ
по некоторым показателям

	Показатель сравнения	Результаты сравнения обоих сценариев
1	Безопасность	Существенного различия между сценариями нет.
2	Техническая осуществимость	Существует сравнительно большой практический опыт переработки ОЯТ и недостаточные технические знания технологии прямого удаления.
3	Экономия ресурсов и стабильность поставок	Переработка и рециклирование дают экономию урана в пределах 20% и эффективную поставку топлива для будущих реакторов типа FBR.
4	Воздействие на окружающую среду	Снижение скрытой токсичности и сокращение площадей для хранилищ обусловливают преимущество варианта переработки и рециклирования.
5	Экономичность	Прямое удаление имеет преимущество – 0,5...0,7 *цент/кВтч*.
6	Ядерное нераспространение	Существенного различия между сценариями нет.
7	Опыт зарубежных стран	Страны, обладающие большим количеством ОЯТ, в основном выбирают переработку. Страны с малоразвитой ядерной энергетикой выбирают прямое удаление.
8	Реакция общества	Потеря доверительных отношений с населением районов размещения и, следовательно, трудности размещения промежуточных хранилищ и площадок для прямого удаления обусловливают преимущество курса на переработку.
9	Проблемы, связанные с изменением политики	Существуют проблемы выбора вида заключительного этапа ЯТЦ, связанные с изменениями политической ситуации в стране.
10	Обеспечение альтернативы (гибкость)	Курс на переработку обеспечивает большую способность реагировать на будущие неопределенности в технологиях переработки и в изменениях международного подхода к проблеме.

В табл. 3 представлены результаты сравнения двух сценариев по экономическим показателям.

Хранение ОЯТ является не конечным, а важным промежуточным этапом ЯТЦ, хотя следующим этапом может быть или его прямое удаление, или переработка и рециклирование топлива. Все ОЯТ или ОВУА, образовавшиеся при его переработке, в конечном счете должны быть захоронены. Это означает, что должна существовать возможность безопасного обращения с ОЯТ после его длительного временного хранения.

На начало 2008 г. в 30 странах мира находились в эксплуатации 435 ядерных энергоблоков общей установленной мощностью 369 *ГВт* [2]. Они произвели 2660 *ГВт·ч* электроэнергии, что составляет около 16% мировой выработки электроэнергии. Еще 29 блоков находятся в стадии строительства, их общая мощность составит 24 *ГВт*. Все действующие ядерные энергоблоки в среднем производят 11500 *т* ОЯТ в год в пересчете на тяжелый металл (ТМ)

(ежегодно из реактора типа LWR электрической мощностью 1000 *МВт* выгружают 20...25 *т* ОЯТ в пересчете на ТМ [3]).

Таблица 3

Результаты сравнения вариантов переработки по экономическим показателям

Этап	Показатель	Переработка, *цент/кВтч*	Прямое удаление, *цент/кВтч*
Начальный этап	Урановое топливо;	0,57	0,61
	МОХ топливо;	0,07	-
Заключительный этап	Переработка;	0,63	-
	хранение, транспортировка и удаление ОВУА;	0,16	-
	обработка, хранение и удаление трансурановых отходов;	0,11	-
	промежуточное хранение;	0,04	0,14
	прямое удаление ОЯТ.	-	0,19...0,32
Итого		1,6	0,9...1,1
Стоимость производства электроэнергии		5,2	4,5...4,7
Стоимость производства электроэнергии с включением расходов на изменение энергетической политики		5,2	5,4...6,2

В настоящее время треть всего ОЯТ подвергается переработке, около 8000 *т* ОЯТ в пересчете на ТМ в год требуют временного хранения. По состоянию на начало 2003 г. в хранилищах различного типа находилось около 227000 *т* ОЯТ в пересчете на ТМ. Прогнозы показывают, что к 2020 году, когда большинство ныне действующих ядерных энергоблоков выработают свой разрешенный срок эксплуатации, количество ОЯТ составит ~ 445000 *т* в пересчете на ТМ. Учитывая политику, существующую в данной области, можно предположить следующее:

- в Западной Европе количество отработанного топлива, подлежащего хранению, слегка уменьшится вследствие переработки части ОЯТ;
- в Восточной Европе количество ОЯТ удвоится в течение следующих 10 лет;
- Америка будет хранить все отработанное топливо в хранилищах, так что количество ОЯТ будет постоянно возрастать;
- в Азии и Африке количество ОЯТ, подлежащего хранению, так же, как и в Восточной Европе, удвоится в течение следующих 10 лет.

Страны, эксплуатирующие АЭС, используют хранилища разных типов. В начале 2003 года общая вместимость хранилищ мира составляла 244000 *т* ОЯТ в пересчете на ТМ, при этом вместимость бассейнов выдержки при реакторах – 163000 *т* ОЯТ в пересчете на ТМ. Практически все страны увеличивают свои возможности хранения ОЯТ либо путем более плотного его размещения в бассейнах выдержки за счет модернизации решеток хранилища или учета изменения изотопного состава топлива вследствие выгорания, либо за счет ввода в строй новых хранилищ вне реакторных зданий (табл.4). Таким образом, общемировая вместимость хранилищ примерно на 73000 *т* ОЯТ в пересчете на

ТМ превышает потребность в них. Это означает, что вновь образующееся ОЯТ могло бы полностью заполнить имеющиеся резервы хранилищ (с учетом строящихся) примерно к 2017 году, если к тому времени не будут построены новые хранилища [4].

Оценки, проведенные для условий Германии, показали, что расходы на создание и эксплуатацию сухого хранилища, включая снятие его с эксплуатации спустя 40 лет, могут составить около 80 *млн евро*, а аналогичные расходы для мокрого хранилища - ~ 200 *млн евро* [5].

Таблица 4

Вместимость действующих и строящихся хранилищ, 1000 *т* ОЯТ в пересчете на ТМ

Регион	Действующие хранилища				Строящиеся хранилища		
	БВ	ВРХ мокрые	ВРХ сухие	Всего	ВРХ мокрые	ВРХ сухие	Всего
Западная Европа	28,3	32,3	11,3	71,9	3,0	1,0	4,0
Восточная Европа	11,9	20,8	1,5	34,2	3,0	8,9	11,9
Америка	94,9	1,7	8,5	104,9	-	6,8	6,8
Азия и Африка	27,9	3,3	1,7	32,9	0,5	0,8	1,3
Весь мир	162,8	58,1	23,0	243,9	6,5	17,5	24,0

Ранее большинство стран Восточной Европы в вопросах обращения с ОЯТ сотрудничали с Советским Союзом. Теперь прежние соглашения о возврате ОЯТ в Россию переводятся на коммерческую основу. Вследствие экономических трудностей большинство этих стран выбирают вариант строительства собственных хранилищ ОЯТ [6,7].

При переработке ОЯТ образуются растворы ОВУА, в основном долгоживущие трансурановые элементы и продукты деления. На заводах по переработке ОЯТ также образуются отходы средней удельной активности (ОСУА) и ОНУА в виде шлаков (отверждаемых в цемент или битум и прессуемых твердых отходов). Так, при переработке ОЯТ, выгруженного из реактора PWR, объем образующихся ОВУА, ОСУА и ОНУА составляет (по данным фирмы AREVA Cogema, Франция) соответственно 4, 20 и 70 $м^3/ГВт{\cdot}год$. Объем ежегодно образующихся в странах Европейского Союза ОВУА, включая ОЯТ в форме, пригодной для прямого удаления, оценивается в 300...500 $м^3$. Согласно оценке, общий объем долгоживущих ОВУА в 2020 году в мире составит около 300000 $м^3$, а долгоживущих ОСУА – ~1000000 $м^3$.

Таблица 5

Сравнение затрат на хранилище ОЯТ и ОВУА, *млн евро*

Стадия проекта	Полная переработка ОЯТ			Прямое окончательное удаление ОЯТ		
	Базовая стоимость	Коэффициент неопределенности	Оценочная стоимость	Базовая стоимость	Коэффициент неопределенности	Оценочная стоимость
Строительство	190	1,95	371	430	2,40	1032
Эксплуатация	63	1,95	122	53	2,70	144
Закрытие	36	2,38	85	106	3,00	318
Всего	289	-	587	589	-	1494

Европейская комиссия в 2003 году приняла директиву, в которой содержится требование к правительствам стран-членов Европейского Союза ускорить процесс принятия национальных программ по удалению ОЯТ/ОВУА и долгоживущих ОСУА, чтобы не позднее 2008 года сделать выбор площадок для таких хранилищ и начать их эксплуатацию к 2018 году [8].

На международном уровне в качестве надежного способа долговременной изоляции от окружающей среды ОЯТ и/или ОВУА и долгоживущих ОСУА принята и разработана концепция хранилищ в глубокозалегающих породах, таких как гранит, глина, соль, туф. Доминирующими факторами, подтверждающими возможность безопасного захоронения в этих породах, являются их инертность к излучению и тепловыделению ОЯТ/ОВУА и низкие фильтрационные свойства, исключающие распространение радионуклидов с подземными водами. Согласно этой концепции, многобарьерная система изоляции ОЯТ/ОВУА с инженерными и природными барьерами обеспечивает целостность хранилища на протяжении длительного периода (10^4...10^5 лет), в течение которого происходит уменьшение активности тепловыделения и радиотоксичности удаленных отходов до безопасного уровня.

Согласно оценкам, стоимость хранилища для прямого захоронения ОЯТ может превысить в 2,5 раза стоимость хранилища для остеклованных ОВУА, образующихся в результате переработки ОЯТ (табл. 5) [9].

В табл. 6 приведены сведения о планах долговременного обращения с ОЯТ и/или ОВУА в странах Восточной и Западной Европы. Следует отметить, что некоторые страны, ранее выбравшие замкнутый ЯТЦ (с переработкой ОЯТ), в последние годы стали отдавать предпочтение концепции обращения с ОЯТ с вариантом его захоронения. Так, в Бельгии мораторий на переработку ОЯТ действует с 1993 года, в Германии – с 2005 года, а в Швейцарии в 2000 году принят новый закон, который ввел запрет или 10-летний мораторий на переработку ОЯТ.

Таблица 6

Планы введения в эксплуатацию глубоких хранилищ ОЯТ и/или ОВУА в странах Европы

	Страна	РАО, подлежащие удалению в глубокозалегающие породы	Начало эксплуатации хранилища (могильник)
1	2	3	4
1	Бельгия	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	В период 2035...2070 (2080) гг.
2	Болгария	ОЯТ	Решение отсрочено
3	Великобритания	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	Концепция обращения с ОВУА и долгоживущими ОСУА не принята
4	Венгрия	ОЯТ	2047 г.
5	Германия	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	Ранее планировали на 2012 г, но в 2000 г. введен мораторий на исследовательские работы
6	Испания	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	Принятие решения о строительстве отсрочено до 2010 г.
7	Италия	ОЯТ	Не определено

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
8	Литва	ОЯТ	Определена только концепция глубокого захоронения
9	Нидерланды	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	После 100 лет хранения отходов (2100 г.)
10	Румыния	ОЯТ	2049 г.
11	Республика Словакия	ОЯТ	2037 г
12	Словения	ОЯТ	2066 г.
13	Чешская Республика	ОЯТ	2065 г.
14	Финляндия	ОЯТ	2020 г.
15	Франция	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	Не определено
16	Швейцария	ОЯТ/ОВУА и долгоживущие ОСУА	2040 г.
17	Швеция	ОЯТ	2015 г.

На выбор стратегии обращения с ОЯТ и долгоживущими ОСУА влияют экономические, экологические, политические и регулирующие аспекты, аспекты безопасности и обеспечения режима нераспространения оружейных материалов.

Радиационное воздействие прямого захоронения или переработки ОЯТ считается довольно незначительным. Используя продукты, полученные при переработке ОЯТ, можно снизить объемы по добыче и переработке руды, что приведет к сокращению количества отходов, образующихся во время этих операций. Кроме того, при переработке образуется незначительное количество ОВУА, содержащих 99% всей радиоактивности ОЯТ и подлежащих удалению в глубокозалегающие подземные хранилища. С точки зрения радиационной опасности и аргументированного продолжения жизненного цикла АЭС, переработка рассматривается как более предпочтительный вариант.

Выделение плутония из ОЯТ снижает радиотоксичность оставшегося продукта в 10 раз (по сравнению с ОЯТ), появляется возможность использовать регенерированный уран и плутоний с целью изготовления топлива для энергетических реакторов.

В настоящее время в мире реализуют замкнутый ЯТЦ (Великобритания, Франция, Россия, Япония) с переработкой ОЯТ и использованием энергетического плутония в МОХ топливо реакторов PWR (Франция), а также открытый ЯТЦ (без переработки ОЯТ) в реакторах PWR и BWR (США и Швеция) и тяжеловодных реакторах CANDU/PHWR (Канада). На практике при переработке ОЯТ реакторов LWR в расчете на 1 *т* перерабатываемого топлива образуется ~ 0,1 $м^3$ остеклованного топлива и ~ 0,35 $м^3$ ОСУА, а также отходы ОНУА (для сравнения объем 1*т* ОЯТ составляет 1,5 $м^3$) [10]. На всех действующих промышленных заводах по переработке ОЯТ используется водно-экстракционная PUREX (Plutonium Uranium Extraction) технология, которая обеспечивает высокую очистку урана и плутония (более 99%) от продуктов деления.

Альтернативным ЯТЦ является DUPIC-цикл (Direct Use of Spent PWR fuel in CANDU). Анализ использования невыгоревшего урана реакторов PWR в DUPIC-цикле реактора CANDU показал, что может быть получен выигрыш за счет значительного сокращения потребностей в исходном сырье и трехкратного снижения выгружаемого ОЯТ в расчете на 1 *кВт·ч* электроэнергии, произведенной на АЭС с реактором CANDU, по сравнению с открытым циклом.

Таким образом, радиоактивные отходы – одна из основных проблем ядерной индустрии. Особую озабоченность вызывают долгоживущие высокоактивные отходы, к числу которых относится и ОЯТ. Очевидно, основные долгоживущие РАО должны быть либо изолированы от окружающей среды, пока их радиоактивность превышает уровни, рассматриваемые как безопасные (а эти времена измеряются тысячами лет), либо трансмутированы, т.е. переведены в форму, где долгоживущие радионуклиды превращены в короткоживущие или стабильные.

Решение этой проблемы видится в создании долговременных подземных хранилищ РАО, размещенных в геологически стабильных формациях. Соответствующие исследования ведутся уже длительное время. Мировое лидерство в данной области сохраняет США: на юго-востоке штата Нью Мексико с 1999 года эксплуатируют единственное пока в мире подземное хранилище трансурановых отходов (ТУО) – установку WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), а в 2010 году планируют ввод в эксплуатацию национального хранилища ОЯТ/ОВУА в Юкка-Маунтин (штат Невада). Большинство концепций многобарьерной системы изоляции предусматривают сооружение в выбранной породе сети горизонтальных тоннелей на глубине ниже уровня грунтовых вод. Одной из главных задач всех НИОКР по глубокой подземной изоляции является оценка качества многобарьерной системы хранилища ОЯТ/ОВУА, включающей инженерные и природные барьеры. К ключевым инженерным барьерам относятся: форма отходов (кондиционированное ОЯТ или остекловывание ОВУА); контейнер или верхняя оболочка упаковки; буферный материал, используемый для защиты контейнера и отделяющий его от вмещающей породы; закладочный материал (для засыпки тоннелей и шахт доступа) [11]. В ряде случаев они находятся на стадии разработки и даже реализации проектов, хотя надежность геологических захоронений в долгосрочном плане по-прежнему подвергается сомнению ввиду возможности сейсмических возмущений. Такие хранилища надлежащей емкости вступят в эксплуатацию еще не скоро. Во втором случае изучают различные варианты: ядерные реакторы, выжигающие долгоживущие радионуклиды, электроядерные системы с использованием ускорителей частиц и другие возможные способы осуществления необходимых для трансмутации ядерных реакций. Однако до окончательного решения проблемы здесь пока еще далеко, и налицо очевидные трудности технического и экономического плана.

В этой ситуации большое внимание сейчас уделяют увеличению емкости существующих пристанционных устройств хранения. Все большую привлекательность получает идея создания промежуточных хранилищ, куда ОЯТ могли бы помещать на временное хранение, пока появится возможность перевести их на окончательное размещение в геологическое хранилище или подвергнуть трансмутации.

Указанные проблемы, с разной степенью остроты, стоят перед всеми странами (большими и малыми), эксплуатирующими ядерные реакторы.

Многонациональные хранилища.

Одним из доступных способов решения проблемы конечного размещения ОЯТ для небольших стран могут быть многонациональные хранилища. Дискуссии о достоинствах и недостатках размещения РАО на многонациональной основе то вспыхивают, то затухают на протяжении длительного времени. Однако подход к этой проблеме часто не носит открытого и объективного характера. Обычно в дебатах с самого начала доминируют чисто экономические соображения, или они, не успев развернуться, выдыхаются под давлением чисто политических факторов. Некоторые предпринятые в последнее время исследования имеют целью более беспристрастное рассмотрение вариантов размещения ОЯТ. Так, проблема региональных хранилищ изучалась консультативной группой МАГАТЭ. В число наиболее важных вопросов входят следующие.

Технические вопросы. На чисто техническом уровне нет почти никаких факторов, которые влияют на выбор многонациональных и не влияют на выбор национальных проектов хранилищ. В обоих случаях требуется система размещения ОЯТ, обеспечивающая одинаково высокий уровень безопасности в течение длительного периода времени. Одинаково высокие научные и технико-технологические стандарты требуются для выбора площадки, строительства, эксплуатации и изоляции такого устройства. При решении задачи с таким большим горизонтом по времени не должно быть ни смягчения, ни неоправданного ужесточения стандартов безопасности и экологических требований в зависимости от текущего экономического или социального уровня развития в потенциальной стране сооружения многонационального хранилища.

Есть все же определенные технические проблемы, связанные с выбором места строительства. Наиболее очевидным является вопрос о наличии подходящих геологических формаций. Проекты хранилищ обладают определенной гибкостью, и требования по геологии могут быть относительно умеренными даже в случае ОВУА. Поэтому большинство стран могли бы подобрать подходящие площадки. Тем не менее технические проблемы деятельности по отбору и формированию характеристик площадки можно облегчить, если потенциальные места размещения выбрать как можно более "простыми", т.е. с протяженными, геологически стабильными и относительно однородными скальными основаниями [12].

Экономические вопросы. Совместные хранилища не должны быть необходимыми с технической точки зрения, но они определенно могут быть привлекательными с точки зрения экономической. Стоимость жизненного цикла глубоких геологических хранилищ исчисляется в миллиардах долларов. Это верно даже для небольших стран с малыми прогнозируемыми объемами генерируемых отходов. Кроме того, большая часть затрат носит фиксированный характер, так как они связаны с изыскательскими работами и обеспечением проходки шахт. Соответственно, можно получить значительную экономию, если небольшие страны объединят свои усилия, или если будет большая программа приема отходов от зарубежных источников. Согласно Хейсингу [13], расчеты различных сценариев реализации германской программы размещения ОЯТ показывают, что расчетную стоимость размещения, равную ~ 37 млрд дол.,

можно уменьшить до уровня ~ 14 млрд дол. только за счет долевого участия других нуждающихся в размещении своих отходов сторон.

Для страны, принимающей на размещение зарубежные отходы, очевидно, было бы экономически выгодно получать компенсацию за потенциальные социальные и экологические последствия такого размещения. Страны, оплачивающие размещение своих отходов за рубежом, также могли бы иметь финансовую выгоду, так как экономия, связанная с масштабным эффектом, позволяет обеспечить более низкие удельные затраты. Для экспортирующей отходы страны, однако, существуют и негативные экономические факторы, как, например, списание "замороженных" затрат, потеря инвестиций, вложенных в национальные проекты размещения отходов, а также уменьшение возможностей, связанных с участием в высокотехнологических предприятиях и проектах, таких как увеличение занятости и развитие предпринимательства.

Организационные и институциональные вопросы. Возможны различные потенциальные объединения партнеров в проекте совместного хранилища. Страна размещения хранилища, осуществляющая большую ядерную программу, могла бы принимать отходы у менее крупных стран. Страна с продвинутой технологией может привнести знания и умения, нужные для сооружения хранилища там, где меньше проблем, связанных с отведением площадки под его строительство. Безусловно, была бы ценной определенная степень многонационального надзора, и такой надзор мог бы осуществляться даже на этапах перевозки и охраны РАО.

Политические и этические вопросы и проблема приемлемости для населения. Существует очень мало или даже нет вообще препятствий, мешающих применению многонациональных хранилищ с точки зрения технических или институциональных вопросов. В политическом плане, однако, как оказывается, для большинства стран в настоящее время трудно поддерживать планы размещения отходов на многонациональной основе, особенно если данная страна является страной размещения такого хранилища. Действительно, в некоторых странах законодательно запрещен импорт зарубежных отходов с целью их размещения на хранение (например, во Франции и Швеции). В других странах (например, в Швейцарии) законодательные и регулирующие нормы сдерживают (хотя прямо не запрещают) даже экспорт РАО. Представляется, что потенциальные экономические преимущества перевешиваются на политической арене требованиями оппозиции, базирующейся на синдроме NIMBY (not-in-my-backyard, т.е. "не у меня"). Изменение политической позиции маловероятно до тех пор, пока одобрение общественностью и населением экономических преимуществ, причем как на национальном, так и на местном уровнях, не перевесит опасение населения в связи с размещением РАО. Точка зрения общественности связана, главным образом, со страхом распространения радиоактивности. Не важно, является ли этот страх рациональным или иррациональным - результат тот же. Есть несколько способов противостоять этому. Одним из них является предоставление доказательств обеспечения высоких уровней безопасности. Необходимо также завоевать доверие населения за счет высокого качества работ и тесного взаимодействия с местной общественностью, а также предоставить достаточные доказательства экономических преимуществ.

Связанные с размещением отходов этические вопросы довольно широко обсуждались на протяжении последних лет. Сформулированы принципы, которые поддерживаются сообществом людей, связанных с менеджментом отходов, и касаются интра - и интергенерационной эквивалентности. Очевидно, что в соответствии с этими принципами многонациональные хранилища отходов должны найти применение.

Вопросы безопасности хранилища, экономических выгод и этического поведения тесно связаны между собой. Если бы существовало достаточно широкое согласие относительно того, что принятие на своей территории хранилища сравнимо с принятием любого другого большого долгосрочного промышленного проекта с рассмотрением обычных экономических, социальных и экологических проблем, то не было бы никакой этической дилеммы в экспорте или импорте отходов для их размещения в хранилище. Размеры компенсации были бы основаны на суждении о ценности локализованной общины, выполняющей работы по оказанию услуг, направленных на общее благо. Возможно, появилась бы даже конкуренция за право принять у себя хранилище отходов, как это имело место для различных совместных многонациональных исследовательских установок.

Обработка и кондиционирование ОНУА и ОСУА

Эксплуатационные РАО - в основном отходы низкой и средней удельной активности. Последние в небольшом количестве возникают в результате обслуживания и функционирования вспомогательных систем ядерного реактора.

Доля образующихся РАО по отношению к общему количеству других отходов очень мала. Так, во Франции, где 78% производимой электроэнергии приходится на АЭС, доля РАО составляет 0,015% общего количества ежегодно производимых в стране опасных промышленных отходов, а в США, где эксплуатируется более 100 ядерных энергоблоков (почти 25% от мирового парка), – 0,05%.

МАГАТЭ разработало нормы безопасности при обращении с РАО и предложило унифицированную систему их классификации, в соответствии с которой выделены следующие категории отходов:

- отходы высокой удельной активности;
- отходы средней и низкой удельной активности, которые подразделяются на коротко- и долгоживущие отходы;
- отходы очень низкой удельной активности (ООНУА).

Большая часть короткоживущих ОСУА образуется при эксплуатации АЭС, а долгоживущие отходы ОСУА – в процессе переработки ОЯТ.

В нормальном режиме эксплуатации энергетических реакторов образуются, в основном, ОНУА и небольшое количество ОСУА. В частности, на АЭС мощностью 1000 *МВт(эл)* ОСУА (загрязненные фрагменты оборудования, ионообменные смолы, фильтры для очистки воды) составляют около 30% количества образующихся ОНУА, но активность ОСУА достигает 97% суммарной активности ОНУА.

Низкоактивные технологические отходы АЭС (ткань, бумага, картон, виниловые пленки и др.) и металлический скрап (металлолом), ежегодно образующиеся в количестве 100...300 *т* в результате операций по обслуживанию и ремонту одного блока АЭС, могут быть переведены в категорию ООНУА.

В последние годы во всех странах с развитой ядерной энергетикой достигнуто значительное снижение объема и, соответственно, затрат на обращение с эксплуатационными РАО. Так, во Франции в расчете на один блок реактора PWR мощностью 1000 *МВт(эл)* объем кондиционированных РАО, предназначенных на удаление в хранилище за период с 1985 по 1999 гг., был снижен почти в 4 раза (от 360 $м^3$ до менее 90 $м^3$). В США к 2000 г. на реакторах PWR и BWR по сравнению с 1993 г. было достигнуто уменьшение более чем в 2 раза объема образующихся кондиционированных ОНУА [14].

По данным WANO, среднее количество кондиционированных ОНУА, образующихся при эксплуатации одного энергоблока с реактором BWR, составляет 68 $м^3$, для PWR или PHWR – 41 $м^3$, а для GCR - 7 $м^3$. По оценкам, при выработке реактором типа PWR электроэнергии 1 *ГВт·год* на АЭС образуется ОНУА и ОСУА соответственно 86...130 и 22...33 $м^3$ [15]. Несмотря на то, что доля образующихся РАО по отношению к общему количеству производимых опасных промышленных отходов очень мала, обращение с РАО является довольно дорогостоящим и трудоемким процессом. С развитием ядерной энергетики в странах разработаны и используются безопасные и эффективные технологии окончательного удаления ОНУА и ОСУА.

Жидкие РАО в промышленном масштабе традиционно обрабатывают методами упаривания, ионного обмена и осаждения с целью концентрирования радиоактивных загрязнений. Кроме того, предстоит расширить применение таких перспективных методов обработки РАО, как гальванокоагуляция, высокоградиентная магнитная сепарация и мембранное деление (ультрафильтрация, обратный осмос, электродиализ), а также их комбинации с традиционными методами.

Помимо вышеуказанных методов, широкое использование, возможно, найдут комплексообразующие полимерные сорбенты, в том числе водорастворимые полимеры.

Твердые РАО подвергают сжиганию и прессованию, особенно суперпрессованию, что обеспечивает высокий коэффициент уменьшения объема отходов. Крупнейшими поставщиками суперпрессов являются фирмы HPA (Германия) и Fontijne Holland BV (Нидерланды).

Влажные ОСУА, образующиеся в результате переработки ОЯТ, занимают большие объемы для временного хранения.

Во Франции внедрение прессования вместо цементирования конструкционных отходов с перерабатывающих заводов UP3 и UP2 с последующим помещением их в универсальную канистру, используемую для остеклованных ОВУА, позволит сократить их объем в 4 раза [11].

Рециклирование металлических ОНУА. В настоящее время металлический скрап (металлические отходы) низкой удельной активности, возникающий при эксплуатации АЭС, подвергают дезактивации и/или плавлению. Последний процесс приводит к существенному снижению объема металлических отходов по сравнению с другими методами дезактивации. При плавлении происходит частичная очистка скрапа за счет перехода радионуклидов из расплава в шлак и/или в аэрозоли, оседающие на фильтре.

Кондиционирование ОНУА и ОСУА осуществляют традиционными методами: цементированием, битумированием с добавлением полимеров. В ряде

европейских стран для ОНУА и ОСУА используют следующие методы кондиционирования (табл. 7).

В последние годы в США получают распространение следующие перспективные методы: сушка в высокопрочных контейнерах (High–Integrity Containers - HIC) и остекловывание на основе технологий, разработанных для ОВУА. Технология промышленного остекловывания имеет преимущество с точки зрения минимизации отходов и приемлема для всех ОНУА, образующихся на АЭС. Тем не менее, в ближайшие десятилетия цементирование останется во многих странах наиболее простым, дешевым и достаточно безопасным методом кондиционирования ОНУА и ОСУА.

Во Франции такие отходы, как концентрат от упаривания и фильтры, обрабатывают и кондиционируют только на установках, расположенных на площадках АЭС, а более низкоактивные (технологические) отходы кондиционируют на установке, расположенной на площадке централизованного хранилища Об. Однако в Германии, Японии, Великобритании и США все типы отходов поступают в централизованное хранилище в кондиционированной форме.

Кондиционирование ОВУА. Надежным способом кондиционирования ОВУА (с целью их долговременной (104...105 лет) изоляции от биосферы) является их иммобилизация в неорганические матрицы, реализуемая с помощью высокотемпературных процессов. Стекло, керамика, минералоподобные композиции обладают более высокой химической, механической и радиационной устойчивостью, чем полимерные материалы и цементные компаунды.

В настоящее время остекловывание является единственным методом промышленного масштаба, позволяющим проводить отверждение жидких ОВУА в безопасную форму. В результате остекловывания происходит уменьшение объема жидких ОВУА на 1/3 их первоначального объема.

Остекловыванию подвергается смесь, содержащая ОВУА (концентрация до 5000 *Ки/л*) и ОСУА – 1...10 *Ки/л*.

Наряду с совершенствованием процессов остекловывания ОВУ разрабатывают методы, позволяющие получить минералоподобные материалы, термически и радиационно более стойкие, чем стекло (по некоторым данным, под действием облучения может произойти нарушение структуры стекломатрицы и растрескивание стекла, что вызовет утечку радионуклидов уже через 100 лет после размещения остеклованных ОВУА в хранилищах [17]).

В качестве перспективного материала для иммобилизации отходов с высоким содержанием актиноидов рассматривают синрок – керамический материал на основе титанатов.

Приповерхностные хранилища радиоактивных отходов.

Долгосрочная безопасность приповерхностных хранилищ (ПХ) обеспечивается сочетанием благоприятных характеристик площадки, на которой размещено хранилище, инженерно-технических характеристик проекта, соответствующего вида и состава РАО, эксплуатационных процедур и мер ведомственного контроля. РАО, подлежащие размещению в ПХ, характеризуются как отходы низкой удельной активности и, в основном, содержат короткоживущие радионуклиды, которые имеют низкие концентрации долгоживущих радионуклидов [18]. Отходы, подготавливаемые к хранению, имеют твердую или отвержденную форму.

Таблица 7

Обработка и кондиционирование ОНУА в ряде стран [16]

N	Страна	Методы обработки					Кондиционирование
		Выпаривание	Ионный обмен	Осаждение	Прессование	Сжигание	
1	Бельгия	+	-	+	+	-	бетон, битум
2	Болгария	+	-	+	-	-	бетон
3	Великобритания	-	+	-	+	+	цемент
4	Венгрия	Бетонирование жидких отходов					бетон
5	Германия	+	-	-	+	+	сушка, упаковка, суперпрессование, выпаривание тонким слоем

Согласно нормативам, разработанным в США, к ПХ предъявляют следующие требования:

- не превышать предельно допустимую концентрацию конкретных радионуклидов, выбрасываемых в окружающую среду, в том числе в грунтовые воды;
- владелец хранилища должен гарантировать защиту площадки от любого загрязнения, даже после ее закрытия;
- конструкция хранилища должна обеспечивать длительную стабильность эксплуатации и исключать необходимость техобслуживания в течение более 100 лет после закрытия площадки.

Чтобы удовлетворить этим требованиям, хранилище должно располагаться либо глубоко под землей, либо в специально заглубленном месте с техногенными защитными барьерами, предотвращающими или замедляющими миграцию радионуклидов.

Оценку и выбор технологических грунтов для использования в нижней части хранилища РАО должны осуществлять с учетом следующих положений:

- контакт между захораниваемыми ОНУА и грунтовой водой должен быть минимален;
- необходимо уменьшить потенциал миграции радионуклидов с площадки захоронения при отказе по каким-либо причинам техногенных барьеров.

Гидравлическая проводимость грунта заметно снижается с увеличением содержания в нем глины. Это происходит до тех пор, пока содержание глины не достигнет 33...50% от общей массы грунта; тогда частицы грунта становятся, по существу, окруженными глиняной матрицей.

Радионуклиды, содержащиеся в РАО, пока они находятся в безводном или сухом состоянии, могут перемещаться только за счет диффузии, которая определяется, в основном, тепловым состоянием объекта, и в течение 100 лет способны переместиться лишь на несколько микрон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Denky Kyoron.**- 2005.- V. 90, N9. – P. 36-34.
2. Nuclear Power Reactors in the World // IAEA. - Vienna, 2007.
3. Minimization of radioactive waste from nuclear power plants and the back end at the nuclear fuel cycle// Technical reports series N 377// IAEA. - Vienna, 1995.
4. **Fukuda K.** et.al IAEA overview of global spent fuel storage (IAEA-CN-102/60)// Proceeding of the International Conference "Storage of Spent Fuel from Power Reactors", IAEA. - Vienna, 2003.
5. **Flugge H.**On-site intermediate storage facilities in Germany (IAEA-CN-120/73).
6. **Krivov I., Banister P.** New interim spent fuel storage facility at INPP (IAEA-CN-120/32).
7. **Takats F., Buday G.** Spent fuel dry storage in Hungary (IAEA-CN-120/23).
8. Directives adopted, no option but geological disposal// Nuclear News.-2003. – V. 46, N13. – P. 74-75.
9. Belgium report Highlights cost of direct spent fuel storage // NucNet: Background.-2002.- N 2/ 02/A.
10. **Rahmau A.** Nuclear Waste Management in France//Nuclear Energy.- 2001.- V. 40, N6.- P. 391-395.
11. Hydro geological investigation of sites for the geological disposal of radioactive waste//Technical reports series N 391, IAEA.- Vienna, 1999.
12. **McCombie C.** Multi – national repositories// Nuclear Engineering International.-1997.-V. 42, N 516. - P. 32 -33.
13. **Hensing I.** Ansatze einer internationalen entsorgung hochradioaktiver abfalle// Oldenbourg Verlag Issues.- Munchen, 1996.
14. Statistos Shov US Nuclear Plants Always Improving//Nuclear News.-2001.-V.44, N 6.- P. 39-40.
15. **Ko W.I** et al. Radioactive waste arising from various fuel cycle options// International Nuclear Science and Technology.-2002.-V. 39, N 2.- P. 200-210.
16. **Kekki T., Teetta A.** Evaluation at the Olkiluoto Nuclear Power Plant-STUK//TO-TR-162.- 2000, March.-P.36.
17. Safe Waste for at Least a Thousand years // New Scientist.-2000.-V. 167, N2251.-P. 6.
18. Приповерхностные захоронения радиоактивных отходов //Требования безопасности – WS–R-1.- МАГАТЭ, Вена, 2003.- 38 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 11.12.2008.

Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ

ԱՇԽԱՏԱԾ ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ՎԱՌԵԼԻՔԻ ԵՎ ՌԱԴԻՈԱԿՏԻՎ ԹԱՓՈՆՆԵՐԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ, ՎԵՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ԵՎ ԹԱՂՄԱՆ ՀԵՏ ԿԱՊՎԱԾ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐ

Վերլուծվել են աշխատած միջուկային վառելիքի պահպանման, վերամշակման և թաղման հետ կապված հիմնախնդիրները: Բերված են աշխարհում առաջացող աշխատած միջուկային վառելիքի և ռադիոակտիվ թափոնների միջին տարեկան, ինչպես նաև միավոր հզորության հաշվով դրանց քանակի վերաբերյալ տվյալներ: Կատարված է աշխատած միջուկային վառելիքի և ռադիոակտիվ թափոնների հետ վարվեցողության տարբեր մեթոդների համեմատական վերլուծություն և ցույց են տրված յուրաքանչյուր մեթոդի առավելություններն ու թերությունները:

Առանցքային բառեր. ատոմային էլեկտրական կայան, աշխատած միջուկային վառելիքի պահպանում, վերամշակում և թաղում:

A.A. GEVORGYAN, V.Z. MARUKHYAN

PROBLEMS RELATED TO THE STORAGE, PROCESSING AND DISPOSAL OF SPENT NUCLEAR FUEL AND RADIOACTIVE WASTE

An attempt is made to analyze the problems related to the storage, reprocessing and disposal of spent nuclear fuel worldwide. The data relevant to the global average annual generation of spent nuclear fuel and radioactive waste, as well as the figures on that generation per capacity unit are shown. The comparative analysis is done for different methods of spent nuclear fuel and radioactive waste management, and the positive and negative sides of each method are shown.

Keywords: nuclear power plant, storage, processing and disposal of spent nuclear fuel.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.311

В.С. ХАЧАТРЯН

ФУНКЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В Y-ФОРМЕ С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Предлагается новая функция потерь активной мощности, основанная на Y-форме задания пассивной части с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов. Метод иллюстрируется на конкретной схеме замещения электроэнергетической системы (ЭЭС).

Ключевые слова: функция, активная мощность, потери, трансформатор, коэффициент, параметр, матрица, проводимость, схема.

В настоящее время разработано множество методов расчета режимов ЭЭС как с учетом, так и без учета коэффициентов трансформации трансформаторов [1-20]. Одним из важных вопросов при решении задачи оптимизации режимов ЭЭС как определенного этапа расчета установившегося режима является построение функции потерь активной и реактивной мощностей.

В [15, 16] предлагаются новые формулы потерь активной мощности, однако без учета коэффициентов трансформации трансформаторов, а в [14] - обобщенная формула потерь мощностей с учетом комплексных коэффициентов трансформации, в которой в качестве основных параметров выбираются коэффициенты распределения.

Как известно, матрица коэффициентов распределения в общем случае является прямоугольной и вызывает определенные неудобства при построении соответствующих математических моделей установившегося и других режимов ЭЭС. Однако даже при определенных упрощениях формула потерь мощностей является громоздкой, и ее применение, безусловно, может вызвать определенные вычислительные затруднения.

В настоящее время прямоугольные матрицы коэффициентов распределения вообще не применяются. При этом используют только Y, Z и Y-Z квадратные матрицы.

В [21] впервые строятся функции потерь мощностей, зависящие от коэффициентов трансформации трансформаторов. Метод позволяет учитывать как действительные, так и комплексные коэффициенты трансформации трансформаторов. В качестве пассивных параметров применяется квадратная неособенная матрица узловых комплексных сопротивлений в виде $\underline{Z}$ матрицы.

Применение $\underline{Z}$ матрицы параметров, которая строится с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов, вызывает некоторые затруднения при построении функции потерь мощностей.

В настоящей статье рассматривается вопрос построения функции потерь мощностей с применением квадратной неособенной матрицы узловых комплексных проводимостей в виде Y матрицы.

Область применения Y матрицы при построении соответствующих математических моделей подробно описывается в [6].

Для дальнейшего изложения материала принимается та же система индексов, что и в [19], причем число узлов в рассматриваемой ЭЭС принимается М.

Целью настоящей статьи является построение функции потерь мощностей с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов при Y форме задания состояния сети. При этом требуется установить связь между комплексными токами узлов и ветвей с трансформаторами.

Предполагается, что каждая ветвь схемы замещения имеет структуру, приведенную на рис. 1.

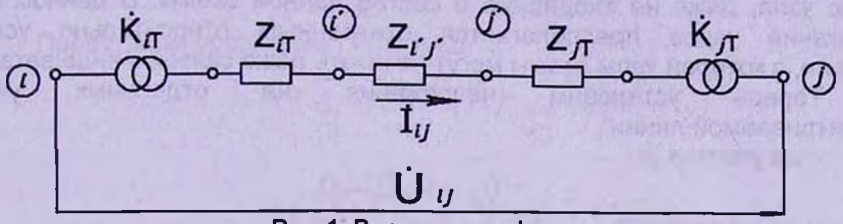


Рис. 1. Ветвь с трансформаторами

Как видно из рис. 1, схема замещения состоит из трех последовательно соединенных участков $i-i', j'-j$, которые характеризуются идеальными трансформаторами с комплексными параметрами $Z_{\Pi}, \dot{K}_{\Pi}; Z_{\Pi}, \dot{K}_{\Pi}$ соответственно, и $i'-j'$ с комплексным сопротивлением ветви Z_{ij}.

В случае отсутствия трансформаторов принимается $Z_T = 0, \dot{K}_T = 1$, а в случае, когда ветвь только трансформаторная, то $Z_{ij} = 0$, и соответствующие схемы будут иметь вид, приведенный на рис. 2.

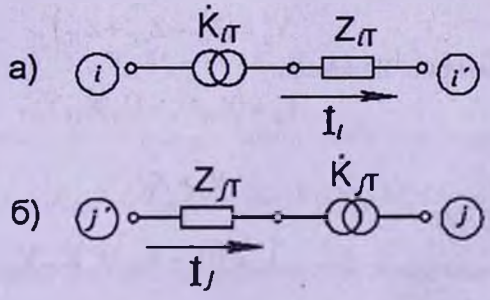


Рис. 2. Трансформаторная ветвь

Разумеется, что для установления выражения комплексных мощностей независимых узлов необходимо пользоваться схемой, приведенной на рис. 1.

На рис. 3 приводится распределение токов и напряжений по участкам схемы, приведенным на рис. 1.

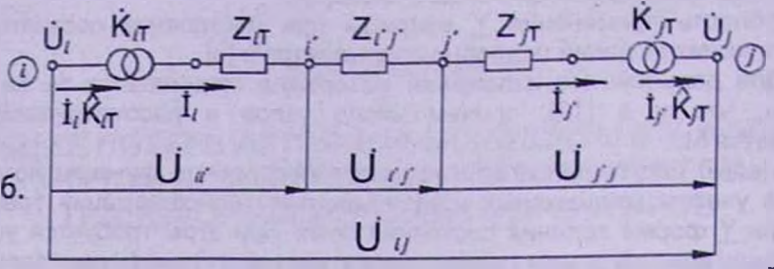


Рис. 3. Распределение напряжений и токов по участкам линий

При этом узловые напряжения могут быть определены относительно любого узла, даже не входящего в состав данной схемы. В данном случае напряжение узлов предполагается отнесенным относительно условной нейтрали, с которой узлы схемы могут не иметь даже связей в виде ветвей.

Теперь установим напряжения на отдельных участках рассматриваемой линии:

- на участке ii':

$$\dot{U}_{ii'} = \dot{K}_{i\pi}\dot{U}_i - \dot{U}_{i'}; \tag{1}$$

- на участке $i'j'$:

$$\dot{U}_{i'j'} = \dot{U}_{i'} - \dot{U}_{j'}; \tag{2}$$

- на участке $j'j$:

$$\dot{U}_{j'j} = \dot{U}_{j'} - \dot{K}_{j\pi}\dot{U}_j; \tag{3}$$

- на ветви :

$$\dot{U}_{ij} = \dot{K}_{i\pi}\dot{U}_i - \dot{K}_{j\pi}\dot{U}_j. \tag{4}$$

Ток ветви определяется на основании выражения

$$\dot{I}_{ij} = \left(\dot{K}_{i\pi}\dot{U}_i - \dot{K}_{j\pi}\dot{U}_j\right)\dot{K}_{i\pi}Y_{ij}, \tag{5}$$

где

$$Y_{ij} = \left(Z_{i\pi} + Z_{i'j'} + Z_{j\pi}\right)^{-1}. \tag{6}$$

Для схемы рис. 2а имеем

$$\dot{I}_{ij} = \left(\dot{K}_{i\pi}\dot{U}_i - \dot{U}_j\right)\dot{K}_{i\pi}Y_{ij}, \tag{7}$$

где

$$Y_{ij} = Z_{i\pi}^{-1}, \tag{8}$$

а для схемы рис. 2б:

$$\dot{I}_{ij} = \left(\dot{U}_i - \dot{K}_{j\pi}\dot{U}_j\right)\dot{K}_{i\pi}Y_{ij}, \tag{9}$$

где

$$Y_{ij} = Z_{j\pi}^{-1}. \tag{10}$$

Предположим, l-й узел схемы замещения рассматриваемой ЭЭС имеет вид, приведенный на рис. 4.

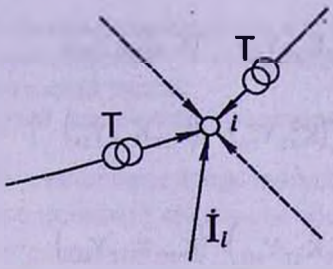


Рис. 4. i-й узел схемы замещения

Пользуясь законом баланса комплексных токов в узле, т.е. первым законом Кирхофа, можем написать следующее выражение:

$$\dot{I}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \left(\dot{U}_j \dot{K}_{jT} - \dot{U}_i \dot{K}_{iT} \right) \hat{K}_{iT} Y_{ij} . \qquad (11)$$

Представим уравнение (11) в виде

$$\dot{I}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \dot{U}_j \left(\dot{K}_{jT} \hat{K}_{iT} Y_{ij} \right) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \dot{U}_i \left(\dot{K}_{iT} \hat{K}_{iT} Y_{ij} \right) \qquad (12)$$

или

$$\dot{I}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \dot{U}_j \left(\dot{K}_{jT} \hat{K}_{iT} \right) Y_{ij} - \dot{U}_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \dot{K}_{iT}^2 Y_{ij} , \qquad (13)$$

где $i = \overline{1,M}$, а систему уравнений (13) в виде

$$\dot{I}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \left(\hat{K}_{iT} \dot{K}_{jT} Y_{ij} \right) \dot{U}_j - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} \left(\dot{K}_{iT}^2 Y_{ij} \right) \dot{U}_i . \qquad (14)$$

В развернутой форме уравнение (14) можно представить в виде системы уравнений, в данном случае:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = -\sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq 1}}^{N} \left(\dot{K}_{1T}^2 Y_{1j} \right) \dot{U}_1 + \left(\hat{K}_{1T} \dot{K}_{2T} Y_{12} \right) \dot{U}_2 + \left(\hat{K}_{1T} \dot{K}_{3T} Y_{13} \right) \dot{U}_3 + \cdots + \left(\hat{K}_{1T} \dot{K}_{MT} Y_{1M} \right) \dot{U}_M ; \\ \dot{I}_2 = \left(\hat{K}_{2T} \dot{K}_{1T} Y_{21} \right) \dot{U}_1 - \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^{N} \left(\dot{K}_{2T}^2 Y_{2j} \right) \dot{U}_2 + \left(\hat{K}_{2T} \dot{K}_{3T} Y_{31} \right) \dot{U}_3 + \cdots + \left(\hat{K}_{2T} \dot{K}_{MT} Y_{M1} \right) \dot{U}_M ; \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \dot{I}_M = \left(\hat{K}_{MT} \dot{K}_{1T} Y_{M1} \right) \dot{U}_1 + \left(\hat{K}_{MT} \dot{K}_{2T} Y_{M2} \right) \dot{U}_2 + \left(\hat{K}_{MT} \dot{K}_{3T} Y_{M3} \right) \dot{U}_3 + \cdots - \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j \neq M}}^{N} \left(\dot{K}_{MT}^2 Y_{Mj} \right) \dot{U}_M . \end{cases} \qquad (15)$$

В матричной форме система уравнений (15) представляется в виде

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_1\\ \dot{I}_2\\ \vdots\\ \dot{I}_M\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\sum\limits_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N}\left(\dot{K}_{1T}^2Y_{1j}\right) & \left(\dot{K}_{1T}\dot{K}_{2T}Y_{12}\right) & \left(\dot{K}_{1T}\dot{K}_{3T}Y_{13}\right) & \cdots & \left(\dot{K}_{1T}\dot{K}_{MT}Y_{1M}\right)\\ \left(\dot{K}_{2T}\dot{K}_{1T}Y_{21}\right) & -\sum\limits_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N}\left(\dot{K}_{2T}^2Y_{2j}\right) & \left(\dot{K}_{2T}\dot{K}_{3T}Y_{31}\right) & \cdots & \left(\dot{K}_{2T}\dot{K}_{MT}Y_{2M}\right)\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ \left(\dot{K}_{MT}\dot{K}_{1T}Y_{M1}\right) & \left(\dot{K}_{MT}\dot{K}_{2T}Y_{M2}\right) & \left(\dot{K}_{MT}\dot{K}_{3T}Y_{M3}\right) & \cdots & -\sum\limits_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N}\left(\dot{K}_{MT}^2Y_{Mj}\right)\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}\dot{U}_1\\ \dot{U}_2\\ \vdots\\ \dot{U}_M\end{bmatrix}. \quad (16)$$

Нетрудно заметить, что полученное матричное уравнение (16) является уравнением узловых напряжений, которое в векторно-матричной форме можно представить в виде

$$\dot{\mathrm{I}}=\mathrm{Y}\dot{\mathrm{U}}, \quad (17)$$

где $\dot{\mathrm{U}},\dot{\mathrm{I}}$ - многомерные векторы или столбцевые матрицы узловых комплексных напряжений и токов; Y - квадратная матрица узловых комплексных проводимостей.

Диагональные элементы Y матрицы определяются на основании выражения

$$\underline{Y_{ii}}=-\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{M}K_{i(U)T}^2Y_{ij}, \quad (18)$$

причем в случае, когда ветвь не содержит трансформатор, формула (18) принимает вид

$$Y_{ii}=-\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{M}Y_{ij}. \quad (19)$$

В случае, когда ветвь имеет вид рис. 2а, собственная проводимость узла имеет вид

$$Y_{ii}=-\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{M}K_{iT}^2Y_{ij}. \quad (20)$$

В случае рис. 2б собственная проводимость представляется в виде

$$Y_{ii}=-\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{M}K_{jT}^2Y_{ij}. \quad (21)$$

Недиагональные элементы Y матрицы определяется с помощью выражения

$$\underline{Y_{ij}}=\hat{K}_{iT}\dot{K}_{jT}Y_{ij}. \quad (22)$$

В выражениях (18) и (21) Y_{ij} - проводимость ветви $i-j$.

В алгебраической форме матричное уравнение (17) можно представить в виде

$$\dot{I}_i=\sum_{j}^{M}Y_{ij}\dot{U}_j. \quad (23)$$

При этом функции потерь мощностей при Y форме задания пассивной части с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов могут быть двух видов:

а) когда комплексные величины представляются в алгебраической форме;

б) когда комплексные величины представляются в полярной форме.

Если функции потерь активной мощности обозначить через Π_a, то она в первом случае определяется в виде

$$\Pi_a = \sum_{i=0}^{M}\sum_{j=0}^{M}\left[g_{ij}\left(U'_iU'_j + U''_iU''_j\right) + b_{ij}\left(U''_iU'_j - U'_iU''_j\right)\right], \qquad (24)$$

где U' и U'' - составляющие узловых комплексных напряжений, во втором случае:

$$\Pi_a = \sum_{i=0}^{M}\sum_{j=0}^{M}U_i\left[g_{ij}\cos\left(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}\right) + b_{ij}\sin\left(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}\right)\right]U_j, \qquad (25)$$

где U, Ψ - модули и аргументы комплексных напряжений.

Таким образом, основное затруднение при построении функции потерь мощностей связано с построением $\underline{Y}$ матрицы узловых комплексных проводимостей с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов.

Для иллюстрации построения $\underline{Y}$ матрицы узловых проводимостей предложенным методом рассмотрим схему замещения одной ЭЭС, приведенную на рис. 5.

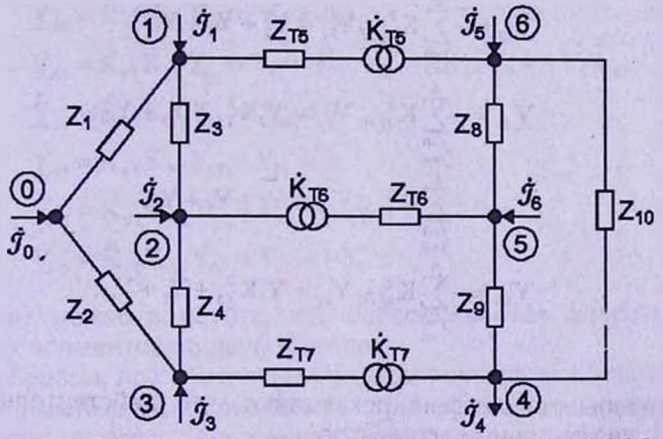


Рис. 5. Схема замещения рассматриваемой ЭЭС

В [18] построена следующая матрица узловых проводимостей:

$$\begin{bmatrix} Y_1+Y_2 & -Y_1 & 0 & -Y_2 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_1 & Y_1+Y_3+Y_5 & -Y_3 & 0 & 0 & 0 & -Y_6\dot{K}_{T6} \\ 0 & -Y_3 & Y_3+Y_4+Y_6K^2_{T6} & -Y_4 & 0 & -Y_6\dot{K}_{T6} & 0 \\ -Y_2 & 0 & -Y_4 & Y_2+Y_4+Y_7 & -Y_7\dot{K}_{T7} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Y_7\dot{K}_{T7} & Y_7K^2_{T7}+Y_9+Y_{10} & -Y_9 & -Y_{10} \\ 0 & 0 & -Y_6\dot{K}_{T6} & 0 & -Y_9 & Y_6+Y_8+Y_9 & -Y_8 \\ 0 & -Y_5\dot{K}_{T5} & 0 & 0 & -Y_{10} & -Y_8 & Y_5K^2_{T5}+Y_8+Y_{10} \end{bmatrix} \quad (26)$$

Целью дальнейшего изложения является получение матрицы (26) на основании Y матрицы матричного выражения (16). Поскольку (26) является особенной матрицей узловых проводимостей, то матрица выражения (16) также должна обеспечить особенность искомой матрицы.

Сначала установим выражения диагональных элементов матрицы, пользуясь формулами (18)-(21):

$$\begin{aligned}
\underline{Y}_{00} &= -\sum_{\substack{j=1\\ j\neq 0}}^{6} K^2_{0(j)T}\, Y_{0j} = Y_1 + Y_2; \\
\underline{Y}_{11} &= -\sum_{\substack{j=0\\ j\neq 1}}^{6} K^2_{1(j)T}\, Y_{1j} = Y_1 + Y_3 + Y_5; \\
\underline{Y}_{22} &= -\sum_{\substack{j=0\\ j\neq 2}}^{6} K^2_{2(j)T}\, Y_{2j} = Y_3 + Y_4 + Y_6 K^2_{T6}; \\
\underline{Y}_{33} &= -\sum_{\substack{j=0\\ j\neq 3}}^{6} K^2_{3(j)T}\, Y_{3j} = Y_2 + Y_4 + Y_7; \\
\underline{Y}_{44} &= -\sum_{\substack{j=0\\ j\neq 4}}^{6} K^2_{4(j)T}\, Y_{4j} = Y_7 K^2_{T7} + Y_9 + Y_{10}; \\
\underline{Y}_{55} &= -\sum_{\substack{j=0\\ j\neq 5}}^{6} K^2_{5(j)T}\, Y_{5j} = Y_6 + Y_8 + Y_9; \\
\underline{Y}_{66} &= -\sum_{\substack{j=0\\ j\neq 6}}^{6} K^2_{6(j)T}\, Y_{6j} = Y_5 K^2_{T5} + Y_8 + Y_{10}.
\end{aligned} \quad (27)$$

Полученные выражения показывают, что действительно обеспечена адекватность диагональных элементов.

Теперь установим выражения недиагональных элементов матриц, пользуясь формулой (22).

$$
\begin{aligned}
&\underline{Y}_{01} = \hat{K}_{\Gamma}\dot{K}_{\Gamma}Y_{01} = Y_{01} = -Y_1;\\
&\underline{Y}_{02} = \hat{K}_{\Gamma}\dot{K}_{\Gamma}Y_{02} = Y_{02} = 0;\\
&\underline{Y}_{03} = \hat{K}_{\Gamma}\dot{K}_{\Gamma}Y_{03} = Y_{03} = -Y_2;\\
&\underline{Y}_{04} = \hat{K}_{\Gamma}\dot{K}_{\Gamma}Y_{04} = Y_{04} = 0;\\
&\underline{Y}_{05} = \hat{K}_{\Gamma}\dot{K}_{\Gamma}Y_{05} = Y_{05} = 0;\\
&\underline{Y}_{06} = \hat{K}_{\Gamma}\dot{K}_{\Gamma}Y_{06} = Y_{06} = 0;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\underline{Y}_{50} = \hat{K}_{5T}\dot{K}_{0T}Y_{50} = Y_{50} = 0;\\
&\underline{Y}_{51} = \hat{K}_{5T}\dot{K}_{1T}Y_{51} = Y_{51} = 0;\\
&\underline{Y}_{52} = \hat{K}_{5T}\dot{K}_{2T}Y_{52} = \dot{K}_{2T}Y_{52} = -\dot{K}_{T6}Y_6 = -Y_6\dot{K}_{T6};\\
&\underline{Y}_{53} = \hat{K}_{5T}\dot{K}_{3T}Y_{53} = Y_{53} = 0;\\
&\underline{Y}_{54} = \hat{K}_{5T}\dot{K}_{4T}Y_{54} = Y_{54} = -Y_9;\\
&\underline{Y}_{56} = \hat{K}_{5T}\dot{K}_{6T}Y_{56} = Y_{56} = -Y_8;\\
&\underline{Y}_{60} = \hat{K}_{6T}\dot{K}_{0T}Y_{60} = Y_{60} = 0;\\
&\underline{Y}_{61} = \hat{K}_{6T}\dot{K}_{1T}Y_{61} = Y_{61} = \hat{K}_{6T}Y_{61} = -\hat{K}_{6T}Y_5 = -Y_5\hat{K}_{T5};\\
&\underline{Y}_{62} = \hat{K}_{6T}\dot{K}_{2T}Y_{62} = Y_{62} = 0;\\
&\underline{Y}_{63} = \hat{K}_{6T}\dot{K}_{3T}Y_{63} = Y_{63} = 0;\\
&\underline{Y}_{64} = \hat{K}_{6T}\dot{K}_{4T}Y_{64} = Y_{64} = -Y_{10};\\
&\underline{Y}_{65} = \hat{K}_{6T}\dot{K}_{5T}Y_{65} = Y_{65} = -Y_8.
\end{aligned}
\qquad (28)
$$

При этом можно заметить, что обеспечивается адекватность также недиагональных элементов по двум методам.

Таким образом, при построении функции потерь мощностей в Y форме с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов важным является вопрос построения $\underline{Y}$ матрицы с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мельников Н.А.** Расчет режимов работы сетей электрических систем.-М.: Госэнергоиздат, 1950.-324 с.
2. **Фазылов Х.Ф.** Теория и методы расчета электрических систем.-Ташкент: АН УзССР, 1953.-176 с.
3. **Ward J.B., Hale H.W.** Digital computer solution of power – flow problems // Power Apparatus and systems. -1956.- V. 75, N 24.- P. 398-404.
4. **Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х.** Линейные расчетные модели сетей электрических систем.-Ташкент: ФАН УзССР, 1982.-96 с.
5. **Мельников Н.А.** Метод расчета рабочих режимов для схем, содержащих элементы трансформации с комплексными параметрами // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1964.-N 4.-С. 427-433
6. **Brown H. E., Carter G. H., Happ H. H.** Z-matrix algorithms in load-flow programs //IEEE Transactions.-1968.-V. PAS-87, N 3.-P. 807-814.
7. **Бартоломей П.Н.** Об учете коэффициентов трансформации при расчете режимов электрических сетей методом уравнений узловых напряжений // Электричество.-1971.- N 10.-С 88-90.
8. **Сенди К.К.** Современные методы анализа электрических систем.-М.:Энергия, 1971.-360 с.
9. **Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х., Брискин И.Л.** К расчету установившихся режимов энергосистем с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов // Электричество.-1972.-N 12.-С. 7-9.
10. **Гурский С.К., Новицкий Б.Б., Уласевич А.Ф.** Формирование обобщенных параметров и уравнений режима электроэнергетических систем с учетом комплексных коэффициентов трансформации // Известия вузов СССР. Энергетика.-1979.-N 2.-С. 8-15.
11. **Жуков Л.А., Стратан И.П.** Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем.-М.: Энергия, 1979.-416 с.
12. **Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х.** Основы теории и расчета установивших режимов электрических систем.- Ташкент: ФАН Уз.ССР,1985.-76с.
13. **Александров О.И., Бабкевич Г.Г.** Оперативная коррекция режима электрической сети изменением коэффициента трансформации с регулированием под нагрузкой // Изв. вузов. Энергетика.-1991.-N6.-С.-16-19.
14. **Александров О.И., Домников С.В., Бабкевич Г.Г.** Обобщенная формула потерь мощности в электрических сетях с учетом комплексных коэффициентов трансформации в ветвях //Изв. вузов СССР. Энергетика.-1991.- № 9.-С.6-11.
15. **Хачатрян В.С., Гладунчик Е.А., Мнацаканян М.А.,Тохунц А.Р.** Минимизация потерь активной мощности в сетях электроэнергетической системы //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2004.- Т. 57, N 3.-С.434-444.
16. **Хачатрян В.С., Тохунц А.Р., Мнацаканян М.А.** Минимизация потерь активной мощности в электрических сетях с учетом ограничений, налагаемых на режимные параметры //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2005.- Т. 57, N 3.-С.481-489.
17. **Хачатрян В.С., Хачатрян К.В., Григорян С.Э.** Расчет и коррекция Y пассивных параметров при учете комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов //Вестник ИАА.- 2007.-Т. 4.-N4. - С.542-548.
18. **Хачатрян В.С., Хачатрян К.В., Григорян С.Э.** Метод построения Y матрицы обобщенных параметров с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов. //Вестник ИАА.- 2007.-Т. 4, N 3.- С.340-349.
19. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В.** Построение и коррекция Z матрицы обобщенных параметров электрической сети с учетом комплексных коэффициентов трансформации трансформаторов //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008.-TLXI, N1.-С.34-46.

20. **Хачатрян В.С., Мнацаканян М.А., Хачатрян К.В., Григорян С.Э.** Оптимизация режима большой электроэнергетической системы методом декомпозиции по активным мощностям электрических станций //Электричество.-2008.- N2.-С.10-22.
21. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В., Григорян С.Э.** Построение функции потерь мощностей, зависящих от коэффициентов трансформации трансформаторов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2008.- Т.61, N3. – С. 421-431.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.06.2008.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՍՏԻ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆ Y ՏԵՍՔՈՎ՝ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐՈՎ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ

Առաջարկվում է ակտիվ հզորության կորստի նոր ֆունկցիա՝ հիմնված էլեկտրաէներգետիկական համակարգի պասիվ մասի տրման Y-տեսքի վրա, որտեղ հաշվի են առնվում տրանսֆորմատորների տրանսֆորմացիայի համալիր գործակիցները: Առաջարկված մեթոդը ներկայացվում է կոնկրետ էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (ԷԷՀ) փոխարինման էլեկտրական սխեմայով:

Առանցքային բառեր. ֆունկցիա, ակտիվ հզորություն, կորուստ, տրանսֆորմատոր, գործակից, պարամետր, մատրից, հաղորդականություն, սխեմա:

V.S. KHACHATRYAN

ACTIVE POWER LOSS FUNCTION IN Y-FORM WITH COMPLEX COEFFICIENTS OF TRANSFORMER TRANSFORMATION

A new active power loss function based on Y-form task of passive part with complex coefficients of transformer transformation is proposed. The method is illustrated on particular scheme of changing electrical power system [EPS].

Keywords: function, active power, losses, transformer, coefficient, parameter, matrix, conductivity, scheme.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.3:622

М.К. БАГДАСАРЯН, С.М. ОВСЕПЯН, А.М. АВЕТИСЯН

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИКУ ПРИВОДА РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Предлагается модель, позволяющая имитировать процессы, происходящие в системе электропривода рудоразмольной мельницы. Используя пакет Matlab, содержащий в своем составе инструмент визуального моделирования Simulink, выявлены закономерности изменения электромагнитного момента двигателя и момента нагрузки упругого элемента при разных значениях демпфирующего элемента и разных законах изменения момента сопротивления, создаваемого рудоразмольной мельницей.

Ключевые слова: электромагнитный момент двигателя, инструмент визуального моделирования, упругий элемент.

Известно, что в период эксплуатации рудоразмольной мельницы в зависимости от состояния качественных и количественных характеристик измельчаемой руды, а также футеровки и коэффициента заполнения барабана мельницы внутримельничная загрузка во времени может изменяться по разным законам. Исследования показали, что изучение динамики привода рудоразмольной мельницы в условиях изменения загрузки во времени по разным законам является сложнейшей задачей со многими неизвестными. Вследствие обилия факторов и их взаимодействий, влияющих на процесс, возникает типичная для многих сложных производств ситуация. Детальное изучение таких технических систем невозможно, что приводит к необходимости создания адекватной модели, которая имитирует поведение исследуемой системы и позволяет прогнозировать тот или иной процесс, протекающий при определенных внешних воздействиях в системе.

Данная статья посвящена разработке модели для изучения динамики привода рудоразмольной мельницы.

Предлагаемая модель представляет собой имитационный объект исследования, выраженный аналитическими зависимостями. При получении аналитической модели необходимо иметь в виду механические, электромеханические и технологические процессы, происходящие в системе, т.е. модель должна учитывать электромагнитные явления, технологические процессы в мельнице и упругость системы.

Для разработки модели составлена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику систем синхронного привода рудоразмольной мельницы [1]:

$$\begin{cases} J_1 \dfrac{d^2\varphi_1}{dt^2} - c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M_м, \\ J_2 \dfrac{d^2\varphi_2}{dt^2} + c(\varphi_2 - \varphi_1) = M, \end{cases} \quad (1)$$

где M_M - приведенный момент сопротивления внутримельничной нагрузки; φ_1 - приведенное к валу двигателя перемещение мельниц; φ_2 - угол поворота вала двигателя; с - жесткость элемента трансмиссии; М - электромагнитный момент синхронного двигателя; J_1, J_2 - моменты инерции барабана мельницы и ротора синхронного двигателя.

Электромагнитный момент двигателя определяется уравнениями Парка-Горева [2]

$$\begin{cases} U_d = d\psi_d/dt - \psi_q\omega + ri_d, \\ U_q = d\psi_q/dt + \psi_d\omega + ri_q, \\ U_f = d\psi_f/dt + r_f i_f, \\ 0 = d\psi_{hd}/dt + r_{hd} i_{hd}, \\ 0 = d\psi_{hq}/dt + r_{hq} i_{hq}, \end{cases} \qquad (2)$$

где ω - угловая частота вращения ротора; i_d, i_q - ток статора по продольной и поперечной осям; U_f, i_f - напряжение и ток обмотки возбуждения; i_{Cd}, i_{Cq} - ток демпферной обмотки по продольной и поперечной осям; ψ_d, ψ_q - потокосцепление обмотки статора по продольной и поперечной осям; ψ_f - потокосцепление обмотки возбуждения; ψ_{hd}, ψ_{hq} - потокосцепление демпферной обмотки по продольной и поперечной осям; r, r_f - активные сопротивления фазы статора и обмотки возбуждения; r_{hd}, r_{hq} - активные сопротивления демпферной обмотки по продольной и поперечной осям; U_d, U_q - напряжения статора по продольной и поперечной осям, определяемые в виде

$$U_d = U_m \sin\theta, \qquad U_q = U_m \cos\theta.$$

Здесь U_m - амплитудное значение номинального фазного напряжения статора; θ - угол между вектором наведенной в статоре ЭДС от тока возбуждения и вектором напряжения сети.

Токи определяются по формулам [3]:

$$\begin{cases} i_d = \psi_d/x''_d - \psi_f/x''_{fd} - \psi_{hd}/x''_{dhd}, \\ i_q = \psi_q/x''_{hq} - \psi_{hq}/x''_{qhq}, \\ i_f = \psi_f/x''_f - \psi_d/x''_{df} - \psi_{hd}/x''_{fhd}, \\ i_{hd} = \psi_{hd}/x''_{hd} - \psi_f/x''_{fhd} - \psi_d/x''_{dhd}\, i_{hq} = \psi_{hq}/x''_{hq} - \psi_q/x''_{qhq}, \\ i_{hq} = \psi_{hq}/x''_{hq} - \psi_q/x''_{qhq}, \end{cases} \qquad (3)$$

где $x''_{fd}, x''_{fhd}, x''_{dhd}, x''_{qhq}$ – взаимоиндуктивные сверхпереходные сопротивления [3]; $x''_d, x''_q, x''_f, x''_{hd}, x''_{hq}$ – сверхпереходные сопротивления, определяемые с учетом приведенных расчетных схем (рис.1) по формулам

$$x''_d = x_\sigma + \frac{1}{1/x_{ad} + 1/x_{f\sigma} + 1/x_{hd\sigma}} \quad \text{(см. рис.1а)},$$

$$x''_q = x_\sigma + \frac{1}{1/x_{aq} + 1/x_{hq\sigma}} \quad \text{(см. рис.1б)},$$

$$x''_f = x_{f\sigma} + \frac{1}{1/x_{ad} + 1/x_\sigma + 1/x_{hd\sigma}} \quad \text{(см. рис.1в)},$$

$$x''_{hd} = x_{hd\sigma} + \frac{1}{1/x_{ad} + 1/x_\sigma + 1/x_{f\sigma}} \quad \text{(см. рис.1г)},$$

$$x''_{hq} = x_{hq\sigma} + \frac{1}{1/x_{aq} + 1/x_\sigma} \quad \text{(см. рис.1д)},$$

$x_{ad}=x_d-x_\sigma$, $x_{aq}=x_q-x_\sigma$.

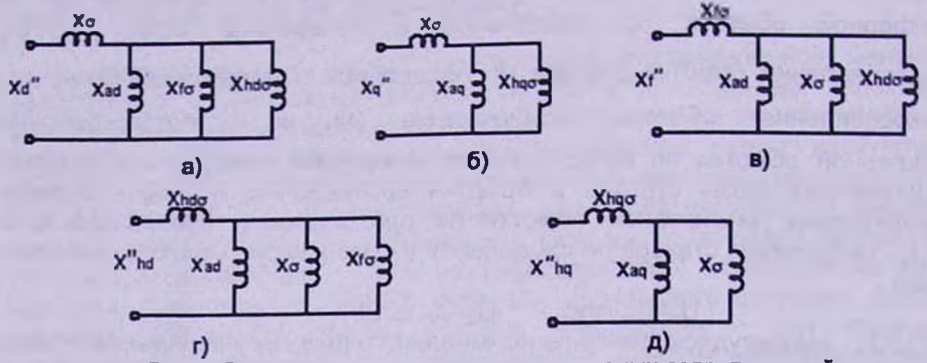


Рис.1. Схемы для расчетов сверхпереходных сопротивлений

В вышеприведенных уравнениях x_σ, $x_{f\sigma}$, $x_{hd\sigma}$, $x_{hq\sigma}$ - индуктивные сопротивления рассеяния статора в обмотках возбуждения и демпфера; x_d, x_q - индуктивные сопротивления статора по продольной и поперечной осям.

С учетов (3) и после соответствующих преобразований система уравнений (2) принимает следующий вид:

$$\begin{cases} d\psi_d/dt = U_d - \left(\psi_d/x''_d - \psi_f/x''_{fd} - \psi_{hd}/x''_{dhd}\right)r + \psi_q\omega_2, \\ d\psi_q/dt = U_q - \left(\psi_q/x''_q - \psi_{hq}/x''_{qhq}\right)r - \psi_d\omega_2, \\ d\psi_f/dt = U_f - \left(\psi_f/x''_f + \psi_d/x''_{fd} - \psi_{hd}/x''_{fhd}\right)r_f, \\ d\psi_{hd}/dt = -\left(\psi_{hd}/x''_{hd} - \psi_f/x''_{fhd} - \psi_d/x''_{dhd}\right)r_{hd}, \\ d\psi_{hq}/dt = -\left(\psi_{hq}/x''_{hq} - \psi_q/x''_{qhq}\right)r_{hq}. \end{cases} \quad (8)$$

Для исследования динамики привода рудоразмольной мельницы весьма эффективным является использование пакета Matlab, содержащего в своем составе инструмент визуального моделирования Simulink [4].

Структура составленной модели приведена на рис. 2 и 3.

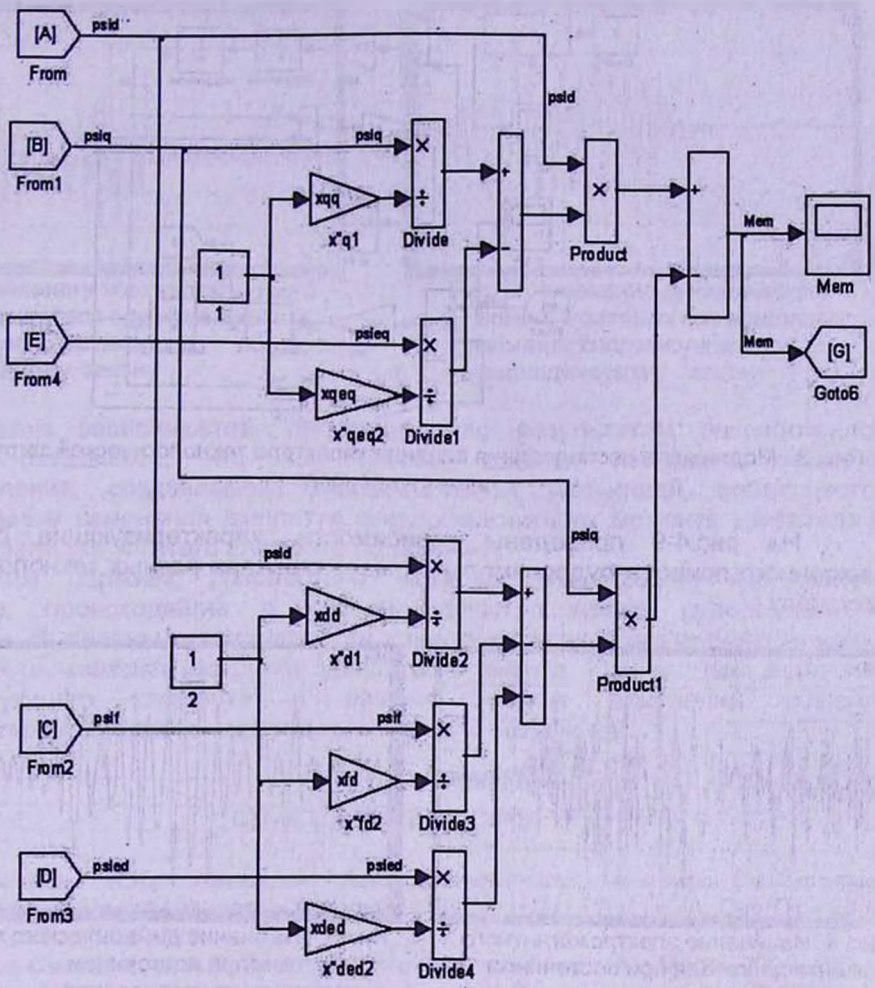


Рис. 2. Модель для выявления изменения электромагнитного момента

Динамика системы рассмотрена при следующих состояниях технологического загружения: момент сопротивления мельницы постоянный; момент сопротивления мельницы изменяется по экспоненциальному закону; момент сопротивления мельницы изменяется по периодическому закону.

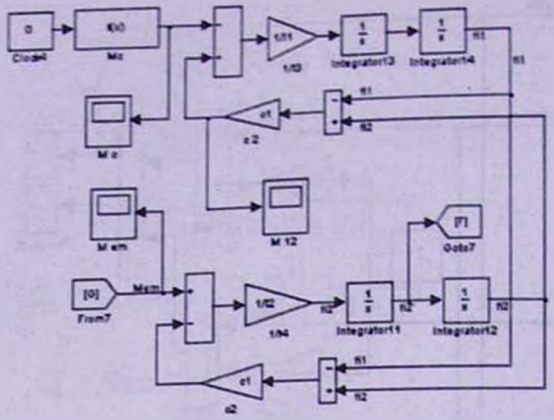


Рис. 3. Модель для исследования влияния характера технологической загрузки на динамику привода

На рис.4-9 приведены зависимости, характеризующие динамику синхронного привода рудоразмольной мельницы при разных технологических ситуациях.

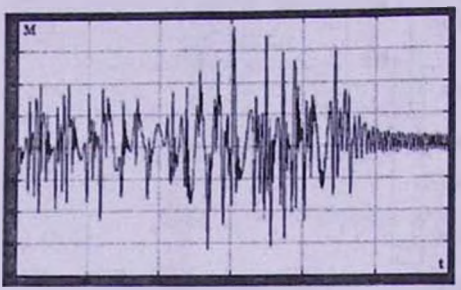


Рис. 4. Изменение электромагнитного момента двигателя при постоянном моменте сопротивления

Рис.5. Изменение динамического момента системы при постоянном моменте сопротивления

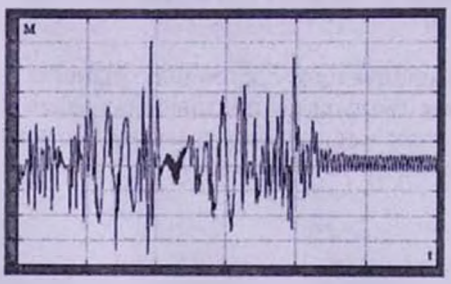


Рис. 6. Изменение электромагнитного момента двигателя при изменении момента сопротивления по экспоненциальному закону

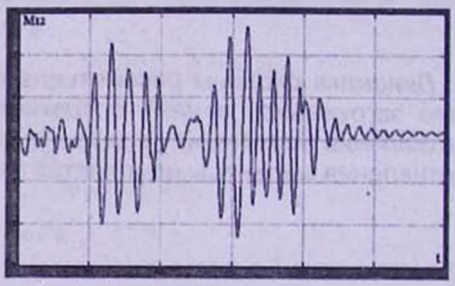


Рис.7. Изменение динамического момента системы при изменении момента сопротивления по экспоненциальному закону

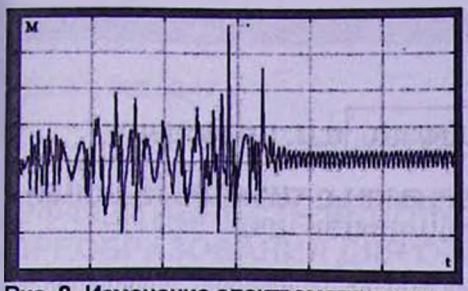


Рис. 8. Изменение электромагнитного момента двигателя при изменении момента сопротивления по периодическому закону

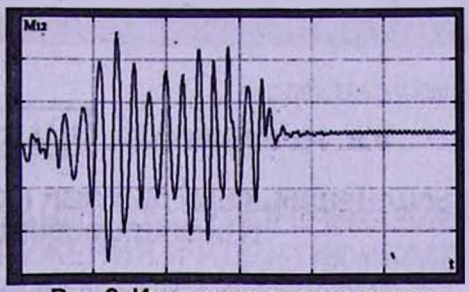


Рис. 9. Изменение динамического момента системы при изменении момента сопротивления по периодическому закону

Анализ зависимостей, полученных по результатам разработанной модели, показывает, что при разных законах изменения момента сопротивления, создаваемого рудоразмольной мельницей, наблюдаются значительные изменения амплитуд электромагнитного момента двигателя и момента загрузки упругого элемента по времени.

Таким образом, разработана модель, позволяющая имитировать процессы, происходящие в системе электропривода рудоразмольной мельницы. Выявлены закономерности изменения электромагнитного момента двигателя и момента загрузки упругого элемента при разных значениях демпфирующего элемента и разных законах изменения момента сопротивления, создаваемого рудоразмольной мельницей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Багдасарян М.К., Аветисян А.М.** Динамические нагрузки в системе электропривода рудоразмольной мельницы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН.– 2006. – T.LIX, N2. – С.372-378.
2. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. Том 2. - М.: Мелго, 2004.- 532 с.
3. **Важнов А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока.- Л.: Энергия, 1980.- 255с.
4. **Дьяконов В.П.** MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения: Полное руководство пользователя.- М.: СОЛОН-Пресс, 2002.-768 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 11.05.2008.

Մ.Ք. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ս.Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ա.Մ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ՆԵՐԱՂԱՑԱՅԻՆ ԲԵՌԻ ԲՆՈՒՅԹԻ ԱՇԽԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՎՐԱ

Առաջարկված է հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման համակարգում կատարվող երևույթները իմիտացնող մոդել: Օգտագործելով MATLAB ծրագրային փաթեթի կազմում առկա Simulink տեսանելի մոդելավորման գործիքը՝ բացահայտվել են շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի և դինամիկ բեռնվածքի փոփոխման օրինաչափությունները հանքաքարի աղացի ստեղծած դիմադրող մոմենտնտի փոփոխման տարբեր բնութագրերի և շարժահաղորդման օղակի տարբեր կոշտությունների դեպքում:

Առանցքային բառեր. շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտ, տեսանելի մոդելավորման գործիք, առածգական օղակ:

M.K. BAGHDASARYAN, S.M. HOVSEPYAN, A.M. AVETISYAN

INFLUENCE OF INTRAMILL LOADING CHARACTER ON DRIVE DYNAMICS OF ORE GRINDING MILL

A model allowing to simulate processes which occur in the electric drive ore grinding mill is proposed. Using a MatLab package containing in it, composition a visual simulating instrument Simulink, the electromagnetic moment regularities of the engine and the moment of elastic element loading are revealed with various damping element values and different laws of resistance moment change by the ore grinding mill.

Keywords: electromagnetic moment of the engine, visual simulating instrument, elastic element.

ISSN0002-306X Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, №4.

УДК 004.932:52-17 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А.Р. ДАВИДЯН

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТА

Исследуется эффективность применения двумерной вейвлет-декомпозиции для обнаружения и идентификации целей из изображений, содержащих целевые объекты. Даны характеристики, на основе которых производится обнаружение целей. Предлагается использовать двумерное вейвлет-пакетное разложение для более детального анализа с целью более точного обнаружения и идентификации целевых объектов. Разработана система для распознавания целей.

Ключевые слова: двумерное пакетное вейвлет-разложение, матрица смежности полутоновых значений, характеристики смежности, база данных, система.

Обнаружение цели в имеющемся целевом изображении основано на анализе и обработке текстур изображения с учетом эффективности и качества их представления. Для характеристики текстур были предложены модели гауссовских, марковских случайных полей [1], а также случайных полей Гиббса [2]. Впоследствии применялась техника, которая основывалась на анализе спектра текстур. Такие техники анализа, по существу, являются одномасштабными. В последнее время в технической литературе появился ряд сообщений о разработке методов, основанных на принципе многомасштабного анализа. Эти разработки, раскрывающие суть пространственно-частотного анализа, такие как преобразование Габора и вейвлет-преобразование, обеспечивают возможность синтеза аналитических средств с переменной разрешающей способностью. Наибольший интерес представляет применение вейвлет-преобразований, так как они используют только два типа фильтров - низкочастотные и высокочастотные [3]. В работе [4] рассматривается анализ текстур с использованием вейвлет-преобразования на основе матрицы смежности значений зачерненности. В матрице смежности появление некоторых полутоновых конфигураций представлено матрицей относительных частот $C_{\theta,d}(i,j)$, указывающих, как часто два пикселя с уровнями яркости i,j появляются в окне отличающимся вектором перемещения d в направлении θ. Матрица смежности может конструироваться для четырех разных углов θ (0^0, 45^0, 90^0, 135^0). Однако обычно используется значение вектора перемещения (1, 1) в направлении $\theta=135^0$, т.е. на один пиксель вниз и направо . Затем из этой матрицы вычисляются значения характеристик смежности:

$$C_1 = \sum_{i,j=1}^{N} (i-j)^2 C(i,j),$$

$$C_2 = \sum_{i,j=1}^{N} (i - M_x + j - M_y)^3 C(i,j), \qquad (1)$$

$$C_3 = \sum_{i,j=1}^{N} (i - M_x + j - M_y)^4 C(i,j),$$

$$C_4 = \sum_{i,j=1}^{N} C(i,j) \log C(i,j), \quad M_x = \sum_{i,j=1}^{N} iC(i,j), \quad M_y = \sum_{i,j=1}^{N} jC(i,j),$$

где C_1 – контрастность; C_2 - тень кластеризации; C_3 - выпуклость кластеров; C_4 - энтропия.

В общем случае схему обнаружения цели можно представить в виде представленном на рис.1.

Рис.1. Схема выделения целевого объекта из изображения

Входное изображение разделяется на подблоки, размеры которого могут составлять 16*16, 8*8, 4*4 пикселей в зависимости от размеров целевого объекта в изображении и определяются заранее. Эти подблоки затем подвергаются разложению с использованием двумерного дискретного вейвлет-преобразования. Затем считываются матрица смежности полутоновых значений C() для всех подблоков и признаки смежности контраст, тень кластеризации, выпуклость кластеров и энтропия. Далее определяется корневой блок, т.е. блок с максимальным значением нормированных характеристик смежности. И, наконец, применяется метод наращивания области корневого блока, т.е. объединения тех соседних блоков из восьми существующих, у которых значения характеристик не отличаются от значений характеристик корневого блока больше чем на заданный порог. Затем все блоки объединяются и представляются в виде прямоугольника для выделения целевого объекта.

При обычном ортогональном вейвлет–разложении аппроксимирующие коэффициенты раскладываются на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты более низкого уровня, а затем процедура применяется к вновь полученным аппроксимирующим коэффициентам. Детализирующие коэффициенты далее не анализируются (рис.2 а,б). Идея пакетного вейвлет-анализа состоит в том, чтобы раскладывать также и детализирующие коэффициенты, используя тот же самый метод разложения. Это дает более богатый анализ (рис.2 в). Пакетные вейвлет-функции $\omega_n(x)$ могут быть определены рекурсивно. Пусть $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ - ортогональная масштабирующая функция и вейвлет с фильтрами h_n и g_n соответственно. Полагаем $\omega_0(x)=\varphi(x)$ и $\omega_1(x)=\psi(x)$ и определим для любого натурального n функции $\omega_{2n}(x)=\sqrt{2}\sum_{k\in Z} h_k\omega_n(2x-k)$, $\omega_{2n+1}(x)=\sqrt{2}\sum g_k\omega_n(2x-k)$.

Разложение функции f(x) по базису $\omega_n(x-k)$ и есть вейвлет-пакетное разложение.

а) б) в)

Рис.2: а - первоначальное изображение, б - дискретное вейвлет-разложение, в – вейвлет-пакетное разложение

Как видно из рис.2, информация об объектах содержится не только в аппроксимирующих коэффициентах, но и в детализирующих, в которых ярко выражены резкие границы всего обнаруживаемого объекта, т.е. контуры объектов, распознаваемых вследствие использования высокочастотных фильтров (рис.3). Поэтому крайне необходимо анализировать и детализирующие коэффициенты. В этом аспекте особенно эффективным является использование вейвлет-пакетного преобразования для целей конечного распознавания. Так, анализ текстур требует идентификации собственных атрибутов или характеристик, используемых для различения текстур, возникающих в процессе сегментации, классификации и распознавания изображений объектов. При анализе текстурных изображений, в отличие от различных других типов изображений, большая часть информации содержится не в низкочастотной части изображения, т.е. в аппроксимирующих коэффициентах, а в коэффициентах, характеризуемых средними частотными областями, т.е. в детализирующих коэффициентах.

На рис.2 а, б и рис.4 а, б представлены вейвлет-декомпозиции обычного и текстурного изображений. При разложении обычного изображения образ,

получаемый из аппроксимирующих коэффициентов, схож с первоначальным изображением, в случае текстурированого изображения указанное сходство исчезает. Однако сходное изображение можно найти в изображении, получаемом с помощью детализирующих коэффициентов (ограниченных кружками на рис.4), которые в дальнейшем и подвергаются разложению.

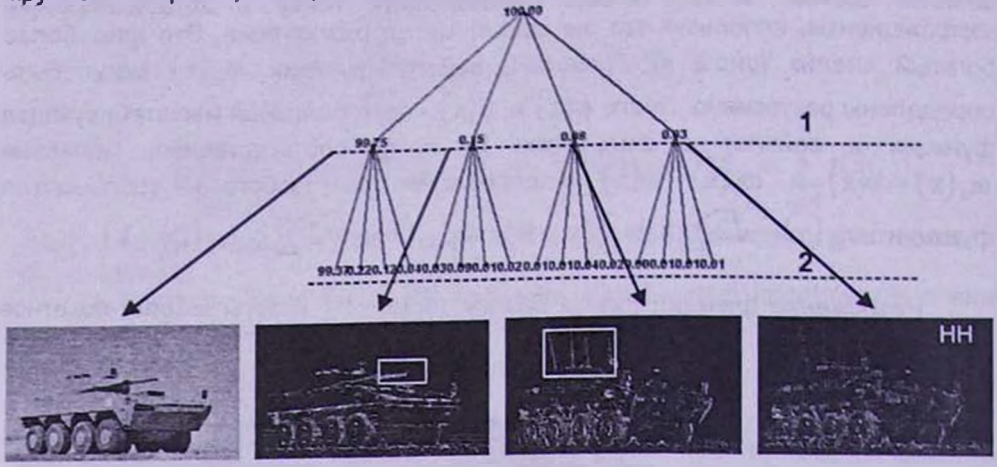


Рис.3. Дерево вейвлет-пакетного преобразования и подблоки (подызображения) в его узлах

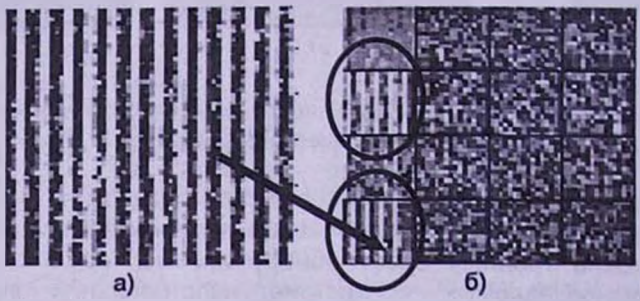


Рис.4. Текстурное изображение (а), вейвлет-пакетное преобразование текстурного изображения (б)

Исходя из результатов низкочастотной и высокочастотной фильтраций, можно заметить, что существенно меньшей информативностью обладают самые высокочастотные составляющие, т.е. коэффициенты HH, которые можно не подвергать дальнейшему разложению. При этом дерево пакетного вейвлет-преобразования будет иметь вид рис.5, а коэффициенты подызображений LH и HL (рис.6) обладают явной информативностью, поэтому их дальнейшее вейвлет-разложение существенно целесообразно. Таким образом, эти подызображения содержат большую информацию о детектируемом объекте, и их можно разделить на подблоки, находить значения характеристик (1), находить корневой блок и методом наращивания

обнаружить целевой объект. Это может привести к более точному распознаванию.

Разложение можно производить по следующему алгоритму. Во-первых, выбирается тип вейвлета, производится двумерное вейвлет-пакетное разложение данного изображения в 8 подблоков. Затем находится средняя энергия каждого подблока, используя следующее уравнение:

$$E_i = \frac{1}{MN}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\left|s_i(m,n)\right|,$$

где $s_i(m,n)$ - i–й подблок (подызображение) (i=1,...,8). Если энергия данного подблока меньше некоторого значения K^*E_{max}, где E_{max}- максимальное значение энергии; K- коэффициент (<1), то дальнейшее разложение данного подблока завершается, в противном случае - декомпозиция продолжается.

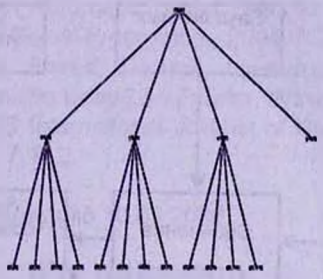


Рис.5. Дерево вейвлет-пакетного преобразования без разложения высокочастотного составляющего HH

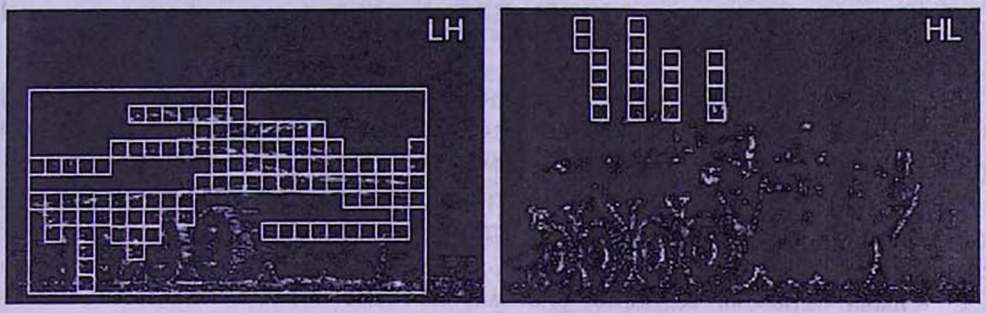


Рис. 6. Подызображения детализирующих коэффициентов LH, HL и разделение их на подблоки, которые имеют высокие значения характеристик смежности (1)

Система распознавания целевых объектов. В системах распознавания объектов для повышения эффективности системы может использоваться база данных, в которой хранится информация о некоторых целевых объектах. Вообще объекты, подлежащие распознаванию, описываются разными параметрами и характеристиками, и в силу этого они также могут храниться в базе данных. Применение такой системы распознавания объектов, не существующих в базе данных, не приводит к достижению высокого уровня

распознавания. Эту проблему может решить создание интеллектуальной системы распознавания. В такой системе база данных способна пополняться, если данный объект не содержится в ней. Базу данных может редактировать пользователь, исходя из предоставленных требований для дальнейшего анализа.

На вход системы (рис.7) подается целевое изображение, из которого производится выделение целевого объекта. Данный целевой объект подается на запоминающее устройство, а также на сравнивающее устройство, на которое с другой стороны последовательно поступают целевые объекты из базы данных.

Рис 7. Структура системы распознавания объектов

Производится сравнение выделенного целевого объекта со всеми объектами из базы данных. Делается анализ сравнения, и если данный целевой объект не соответствует какому-либо объекту из базы данных, то из системы управления подается сигнал для добавления данного объекта в базу данных. Если же такой объект существует, то производится распознавание объекта и его визуализация.

Таким образом, создание системы на основе пополнения в процессе эксплуатации базы данных при распознавании позволит существенно увеличить ее эффективность. При создании системы в базу данных записывается определенное количество информации об объектах. В процессе эксплуатации система позволяет создавать и накоплять информацию в базе данных, а также сохранять результаты распознавания для дальнейшего анализа. Информация о точном и неточном распознавании объектов передается в базу данных.

Обобщая данную работу, приходим к выводу, что использование пакетного вейвлет-преобразования с целью обнаружения и идентификации объектов, а также применение интеллектуальной системы распознавания

способствуют более эффективному и точному обнаружению и идентификации целевых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Cohen F.S., Fan Z., Patel M.A.** Classification of rotated and scaled textured images using Gaussian Markov random field models // IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence.-1991.-V.13, N 2.-P.192-202.
2. **Derin H., Elliott H.** Modeling and segmentation of noisy and textured images using Gibbs random fields // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence.-1997.-V.9, N 1.-P.35-55.
3. **Берберян Г.В., Давидян А.Р., Жамакочян Д.Г.** Применение вейвлет-преобразований для эффективного сжатия изображений // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление.-2007.- Вып.10, т.1.-С.51-59.
4. **Arivazhagan S., Ganesan L.** Automatic Target Detection Using Wavelet Transform // EURASIP Journal on Applied Signal Processing.- 2004.-P.2663-2674.
5. **Farhad Mohamad Kazemi, Saeed Samadi, Hamidreza Pourreza, Mohamad R. Akbarzadeh.** Vehicle Recognition Based on Fourier, Wavelet and Curvlet Transform – a Comparative Study // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security.-February, 2007. -V. 7, N 2.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.05.2008.

Ա.Ռ. ԴԱՎԻԹՅԱՆ
ՓԱԹԵԹԱՅԻՆ ՎԵՅՎԼԵՏ-ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԵՎ ՆՈՒՅՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Դիտարկվում է երկչափ վեյվլետ վերլուծության կիրառումը, օբյեկտներ պարունակող պատկերներից օբյեկտների հայտնաբերման և նույնացման համար: Բերված են բնութագրեր, որոնցով ղեկավարվելիս իրականացվում է օբյեկտների հայտնաբերումը: Ավելի խորը վերլուծության և օբյեկտների ճշգրիտ հայտնաբերման ու նույնացման համար առաջարկվում է կիրառել երկչափ փաթեթային վեյվլետ վերլուծությունը: Մշակված է նաև օբյեկտների նույնացման համակարգ:

Առանցքային բառեր. երկչափ փաթեթային վեյվլետ վերլուծություն, հարակիցության մատրից, հարակիցության բնութագրեր, տվյալների բազա, համակարգ:

A.R. DAVITYAN
EFFICIENCY OF PACKAGE-WAVELET TRANSFORM APPLICATION FOR DETECTION AND IDENTIFICATION OF TARGET OBJECTS

Two dimensional wavelet-decomposition for detecting and identifying the targets developed from images implying target objects are considered. Some characteristics have been presented which lay down a basis used for detection of targets. The two dimensional wavelet package decomposition is offered for more detailed analysis, accurate detection and identification of target objects. A target identification system has been developed.

Keywords: two dimensional wavelet package decomposition, cooccurrence matrix, cooccurrence feature, data base, system.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.314.3

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р.А. СИМОНЯН, А.Г. ГУЛЯН, О.Ж. СЕВОЯН, Э.Г. ВЕЗИРЯН, О.А. МАРТИРОСЯН

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА БИНАРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Описано устройство для точного определения процентного состава бинарны жидкостей. Исследуется способ калибровки устройства. Устройство выполнено в дву вариантах: стационарный вариант с сетевым питанием и малогабаритный портативны вариант с микропроцессорным управлением и автономным питанием. Показан целесообразность применения данной разработки в научных исследованиях, промышленности и в народном хозяйстве.

Ключевые слова: точность, стабильность, калибровка, бинарная жидкость.

В [1,2] описано радиометрическое устройство для исследовани коэффициента передачи или уровня диффузного отражения лучей ИК диапазон в ряде пищевых продуктов (масло, сыр, маргарин и т.д.). Обнаружено, что дл бинарных жидкостей (например, дистиллированная вода + этиловый спирт коэффициент передачи ИК лучей от концентрации имеет пропорциональны характер [1].

В настоящей работе описано устройство, позволяющее с высоко точностью определить процентный состав бинарных жидкостей.

Устройство было разработано в двух вариантах: стационарный вариант термостатируемой измерительной камерой и портативный вариант микропроцессорным управлением и температурной коррекцией полученны результатов.

Структурная схема стационарного устройства приведена на рис 1.

Структурная схема содержит 3 основных узла: а) узел стабилизаци излучаемой мощности; б) узел измерения мощности излучения посл прохождения ИК лучей через измерительную среду; в) узел выделени напряжения, пропорционального количеству одного из компонентов бинарно жидкости.

В узел стабилизации мощности излучения входят: источник 1 для питани излучателя, полупрозрачное зеркало 3, фотодиод 4, усилитель переменно тока 5, синхронный фильтр - детектор 6, дифференциальный усилитель 7 источник напряжения постоянного тока 8 и излучающий диод 2.

Стабилизация мощности излучения производится следующим образом Сигнал фотодиода 4 после усиления усилителем 5 преобразуется в напряжени постоянного тока узлом 6 и поступает к одному из входов дифференциально усилителя 7. Ко второму входу соединен выход источника напряжения 8 выходным сигналом которого управляется мощность излучения диода 2 чере источник 1. Модуляция излучения осуществляется подачей импульсно

напряжения на вход модуляции источника 1 с выхода генератора меандра 16. Кроме этого, выход блока 16 используется также для управления ключами синхронного фильтра – детектора 6. Любое изменение выходной мощности приводит к такому изменению напряжения на выходе дифференциального усилителя 7, что в конечном счете мощность излучения остаётся строго постоянной и определяется уровнем напряжения источника 8.

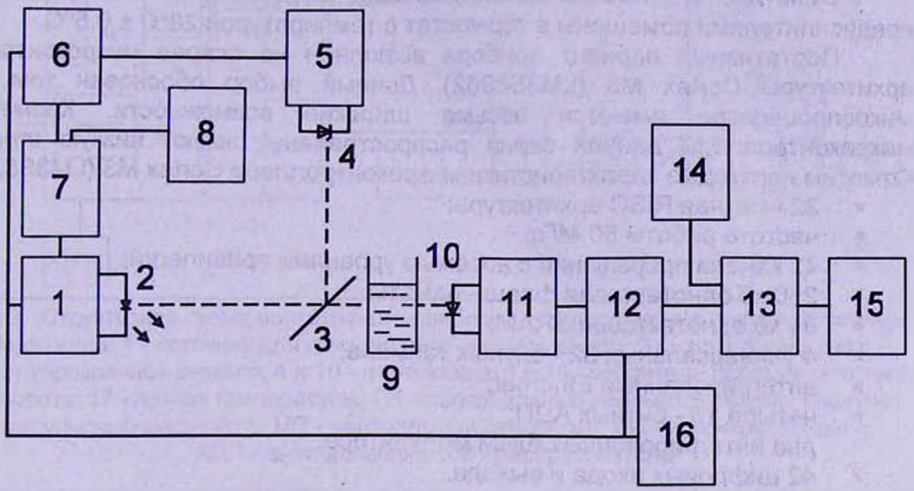


Рис. 1. Структурная схема устройства для определения состава бинарных жидкостей: 1 - источник для питания излучающего диода, 2 - излучающий диод, 3 - полупрозрачное зеркало, 4 и 10 - фотодиоды, 5 и 11 - усилители переменного тока, 6 и 12 - синхронные детекторы – фильтры, 7 и 13 - дифференциальные усилители постоянного тока, 8 и 14 - регулируемые стабилизированные источники напряжения постоянного тока, 9 - кювета, 15 - цифровой вольтметр, 16 - генератор меандра

Узел измерения мощности излучения состоит из преобразователя ИК излучения 10 (фотодиод), усилителя 11, синхронного фильтра – детектора 12 и кюветы 9 с измеряемой жидкостью. ИК излучение диода 2 после измеряемой среды кюветы 9 преобразуется в напряжение переменного тока фотодиода 10, усиливаемое блоком 11, и в напряжение постоянного тока синхронным фильтром – детектором 12, ключи которого управляются выходным напряжением блока 16. Таким образом, на выходе синхронного фильтра – детектора 12 имеем постоянное напряжение, пропорциональное мощности падающего в окно фотодиода 10.

Узел выделения напряжения, пропорционального количеству одного из компонентов жидкости, состоит из дифференциального усилителя 13 и источника напряжения постоянного тока 14. При этом на один из входов дифференциального усилителя 13 подаётся выходное напряжение блока 12, а на другой - выход источника 14. Выходное напряжение усилителя 13 измеряется цифровым вольтметром 15.

Калибровка устройства производится следующим образом. В кювету 9 вливается дистиллированная вода, на выходе СФСД 12 напряжение устанавливается в определенном уровне (например, 1000 *мВ*) при помощи

изменения коэффициента усиления усилителя 11. После чего выходное напряжение источника регулируется так, чтобы на выходе (выход блока 13 устройства получилось нулевое напряжение. Далее из кюветы 9 выливается вода и вливается этиловый спирт особой чистоты с известным содержанием спирта (96,6°). Изменением усиления усилителя 14 на выходе получается напряжение 996 *мВ*, что и показывает вольтметр 15.

Отметим, что кювета 9, излучающий диод и приемные фотодиоды с предусилителями помещены в термостат с температурой 20°С ± 0,5°С.

Портативный вариант прибора выполнен на основе микроконтроллера архитектуры Cortex M3 (LM3S8962). Данный выбор обоснован тем, что в микропроцессоре имеются весьма широкие возможности. Кроме того микроконтроллеры данной серии распространены, имеют низкую стоимость. Отметим некоторые характеристики микроконтроллера Cortex M3 (LM3S8962):

- 32 - битная RISC архитектура;
- частота работы 50 *МГц*;
- 42 канала прерываний с восемью уровнями привилегий;
- 256 *кб* однотактовая флеш - память;
- 64 *кб* однотактовая SRAM;
- 4 универсальных 32 - битных таймера;
- интегрированный Ethernet;
- четыре 10 - битных АЦП;
- два интегрированных ШИМ модулятора;
- 42 цифровых входа и выхода.

Структурная схема портативного прибора с микропроцессорным управлением приведена на рис 2.

Стабилизация мощности излучения диода 2 производится следующим образом. Отраженное от полупрозрачного зеркала 3 излучение создаёт ток через фотодиод 4, затем после усилителя 5 сигнал подаётся к входу одного из 4-х АЦП микропроцессора и преобразуется в цифровую форму. После обработки в зависимости от уровня сигнала на выходе блока 5, сигнал в виде ШИМ последовательности импульсов подается на выход МП, и после ФНЧ напряжение подается на вход управления тока блока 1. Модуляция тока излучаемого диода 2 осуществляется подачей модулирующего напряжения на вход модуляции блока 1.

Для температурной компенсации параметра измерения применен термодатчик типа DS1631, удобный для непосредственной подачи цифровой информации в МП. Микропроцессор, исходя из анализа данных термометра, определяет температуру и вводит температурную коррекцию в результат измерения.

Узел измерения мощности излучения состоит из преобразователя ИК излучения 10 (фотодиод), усилителя 11 и кюветы 9 для измеряемой жидкости. ИК излучение диода 2 после измеряемой среды кюветы 9 преобразуется в напряжение переменного тока фотодиода 10, усиливается блоком 11 и преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП (в составе МП).

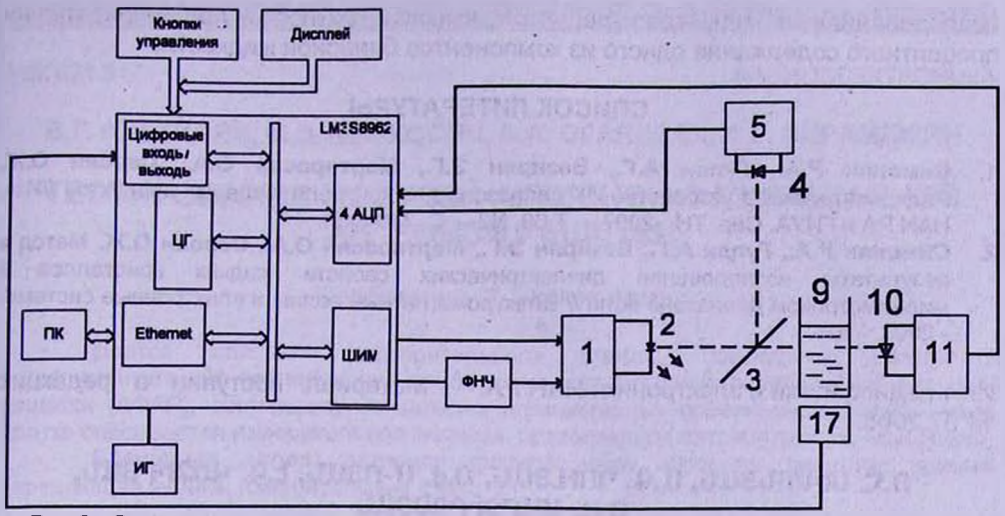


Рис 2. Структурная схема портативного прибора для определения состава бинарных жидкостей: 1 - источник для питания излучающего диода, 2 - излучающий диод, 3 - полупрозрачное зеркало, 4 и 10 - фотодиоды, 5 и 11 - усилители переменного тока, 9 - кювета, 17 - датчик температуры, ПК - персональный компьютер, ШИМ - широтно-импульсный модулятор, ЦП - центральный процессор, ИП - источник питания, АЦП - аналого-цифровой преобразователь

Узел выделения напряжения, пропорционального количеству одного из компонентов жидкости, реализован программным способом. Результат оцифровки сравнивается с эталонным напряжением и выводится на дисплей.

Устройство питается от перезаряжаемых аккумуляторов. Перезарядка происходит включением устройства к USB порту компьютера или подключением внешнего зарядного устройства.

Калибровка устройства производится следующим образом. В кювету 9 вливается дистиллированная вода, в главном меню выбирается подменю «калибровка», в новом открывшемся меню выбирается «вода», программа делает измерения и запоминает это значение. Потом из кюветы 9 выливается вода и вливается этиловый спирт особой чистоты с известным содержанием спирта (96,6°), но уже в меню "калибровка" выбирается «спирт», результат измерения делится на 966 и коэффициент запоминается. После чего в кювету вливается измеряемая жидкость и в главном меню выбирается пункт «Измерения».

Габариты: 20x70x150 *мм*;

вес ≤ 400 *г*;

питание: 4.4 ... 5.2 *В*;

мощность потребления: 1.2 *Вт;*

время непрерывной работы (автономным источником) - 4 *часа*.

Заключение. Устройство, описанное выше, может найти широкое применение для экспресс-анализа на содержание количества спирта в водочных изделиях, в технологических циклах соответствующего профиля, в научных

исследованиях и т.д., где требуется высокая точность при определении процентного содержания одного из компонентов бинарной жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян Р.А., Гулян А.Г., Везирян Э.Г., Мартиросян О.А., Севоян О.Ж.** Радиометрическое устройство ИК диапазона для контроля пищевых продуктов //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. -2007. – Т.60, N2. – С. 338-345.
2. **Симонян Р.А., Гулян А.Г., Везирян Э.Г., Мартиросян О.А., Севоян О.Ж.** Метод и результаты исследования диэлектрических свойств жидких кристаллов в миллиметровом диапазоне волн // Электромагнитные волны и электронные системы. - 2008. - №4.

Ин-т радиофизики и электроники НАН РА. Материал поступил в редакцию 14.07.2008.

Ռ.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Գ. ՂՈՒԼՅԱՆ, Օ.Ժ. Ս-ՈՅԱՆ, Է.Գ. ՎԵԶԻՐՅԱՆ, Օ.Ա. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ
ԵՐԿԲԱՂԱԴՐԻՉ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԿԱԶՄԸ ՈՐՈՇՈՂ ՍԱՐՔ

Նկարագրված է երկբաղադրիչ հեղուկ լուծույթների բաղադրամասերի տոկոսային պարունակությունը ճշգրտորեն որոշող սարք: Սարքի մեջ մտնում են զգայուն Իկ ռադիոմետր, Իկ տիրույթի մոդուլացված ճառագայթի աղբյուր, որն ունի կայունացված հզորության մակարդակ և բաղադրամասերի տոկոսային պարունակության ճշգրիտ որոշման չափիչ սխեմա: Նկարագրված է նաև սարքի տրամաչափման մեթոդը: Սարքն իրացված է երկու տարբերակով՝ ցանցային, լաբորատոր և ինքնուրույն սնուցումով, միկրոպրոցեսորային ղեկավարումով փոքրաչափ տարատեսակ: Սարքը կարող է լայն կիրառում գտնել ժողտնտեսության, գիտական փորձարարական հետազոտություններում, արդյունաբերության մեջ՝ նմանօրինակ բարձր ճշտության սարքերի բացակայության պատճառով:

Առանցքային բառեր. ճշգրտություն, կայունություն, տրամաչափում, երկբաղադրիչ հեղուկ:

R.H. SIMONYAN, A.G. GULYAN, O.Z. SEVOYAN, E.G. VEZIRYAN, O.A. MARTIROSYAN
DEVICE FOR DETERMINING STRUCTURE OF BINARY LIQUIDS

The device in the structure of sensitive radiometer of IR range, the stabilized modulated source of radiation and measuring scheme for exact definition of a percentage of binary liquids is described. The way of device calibration is described as well. The device is executed in two variants: a stationary variant with a network feed and a small-sized portable variant with microprocessor management and an independent power source. Application of the given development is expedient in scientific research, in the industry and in the national economy because of precision device absence of similar destination.

Keywords: accuracy, stability, calibration, binary liquid.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.317 РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

В.Г. АВЕТИСЯН, М.В. МАРКОСЯН, А.А. ОГАНЕСЯН, С.Г. ЭЙРАМДЖЯН

ТЕСТИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Сообщение 2. Эксперимент

Дается описание измерительного стенда, приводятся результаты экспериментального исследования пробного модуля активной фазированной антенной решетки (АФАР), состоящего из четырех элементарных приемо-передающих ячеек. Кратко описывается измерительная система, позволяющая автоматизацию измерений.

Ключевые слова: активная фазированная антенная решетка, приемо-передающая ячейка, измерительный стенд.

Методика тестирования приемо-передающего модуля АФАР приведена в [1]. Согласно этой методике был собран макет стенда, изображенный на рис.1. Измеряемый пробный модуль имеет четыре приемо-передающие ячейки.

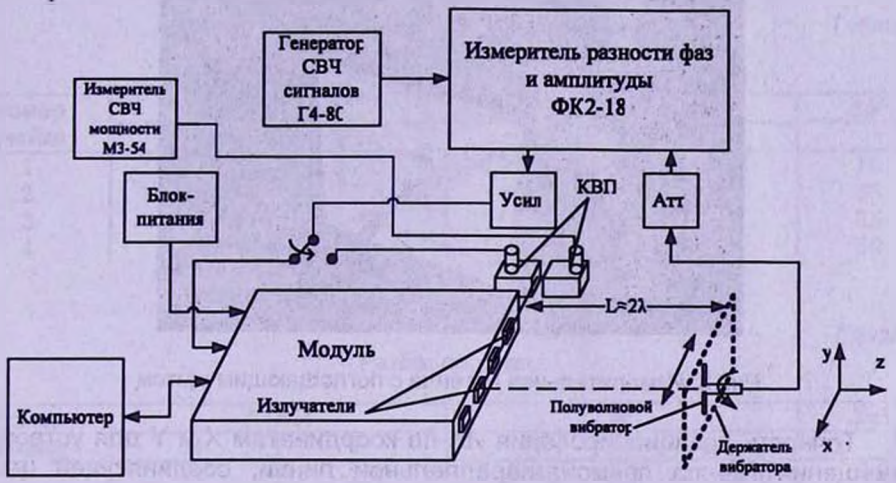


Рис. 1. Блок-схема стенда измерения модуля

Для измерительного стенда была изготовлена измерительная антенна (ИА) линейной поляризации в виде полуволнового вибратора (рис.2). Вибратор имеет согласующий стакан с четвертьволновой щелью [2] и четвертьволновой трансформатор сопротивления для согласования волнового сопротивления СВЧ кабеля (50 *Ом*) с волновым сопротивлением вибратора (75 *Ом*).

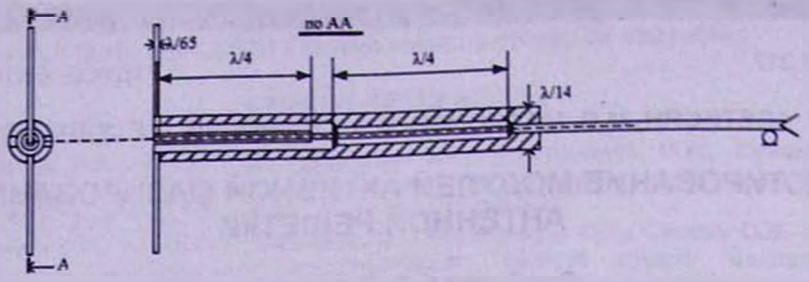


Рис.2. Измерительная антенна в виде полуволнового вибратора

Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) вибратора не превышал значения 1,3 в относительной рабочей полосе частот 5%. Позади измерительной антенны установлен поглощающий пенопластовый щит, начиненный ферроэпоксидом и обеспечивающий в полосе рабочих частот затухание около 15 *дБ*. Измерительная антенна вместе с поглощающим щитом изображена на рис.3.

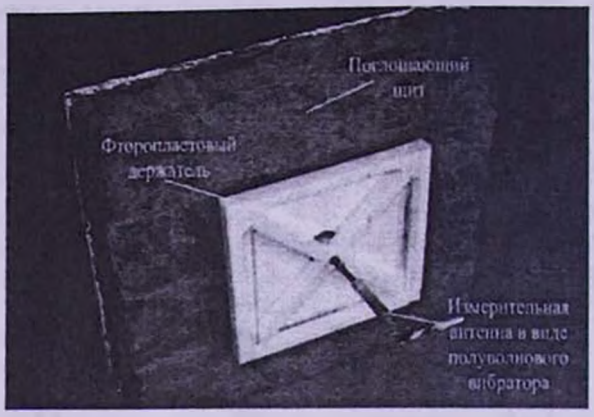


Рис.3. Измерительная антенна с поглощающим щитом

Точность позиционирования ИА по координатам X и Y для устройства перемещения ИА по прямой, параллельной линии, соединяющей центры излучателей ячеек, обусловлена погрешностью измерения фазы дальнего поля излучателя. Оценка точности позиционирования ИА по оси X (или Y) относительно центра излучателя ячейки определяется взаимным расположением излучателя и ИА, изображенной на рис.4.

Длина δl, обуславливающая отмеченную фазовую погрешность, при $\Delta X << L = 2\lambda$ (λ более 10 *см*) равна $\delta l = X^2/2L$. При допустимой фазовой погрешности менее 1° допустимый сдвиг ΔX по оси X (или Y) составляет менее 9 *мм*. Ошибка позиционирования ИА ΔZ вдоль координаты Z меньше, чем $\lambda/100$, что соответствует ожидаемой фазовой погрешности $\Delta\varphi$ менее 3,6°.

Уровень калиброванной выходной мощности сигнала круговой правой поляризации излучателя составлял 5 *Вт* и калибруется посредством коаксиально-волноводных переходов (КВП).

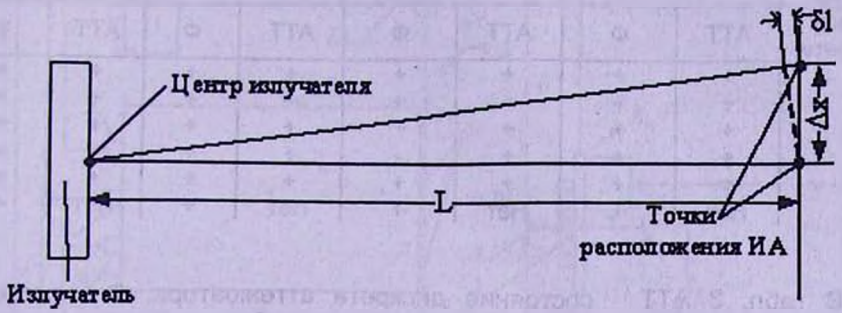


Рис.4. Взаимное расположение ИА и излучателя

Результаты измерения модуля в режимах передачи и приема, состояния всех дискретов аттенюаторов и фазовращателей, а также рассчитанные поляризационные характеристики излучателей ячеек модуля приведены соответственно в табл. 1 - 4.

Таблица 1

Режим передачи

Номер ячейки	A (*дБ*)		φ°		Δφ°
	H	E	H	E	
1	+0,5	-2,5	-165 (+195)	+125	70
2	-0,6	-5,5	-110 (+250)	+165	85
3	-2,4	-7	-115 (+245)	+160	85
4	-1	-7	-160 (+200)	+140	60

Таблица 2

Режим приема

Номер ячейки	A (*дБ*)		φ°		Δφ°
	H	E	H	E	
1	-1	-2,8	+145	-100 (+250)	105
2	-4,5	-5	+170	-105 (+255)	85
3	-4	-2	+160	-105 (+255)	95
4	-6	-5	+130	-115 (+235)	105

В табл. 1 и 2 H - горизонтальная поляризация, E - вертикальная поляризация, A – отклонение коэффициента передачи по мощности от калиброванного значения, φ° - абсолютная фаза (фазовая передаточная характеристика), Δφ° - разность фаз между сигналами взаимно перпендикулярных поляризаций.

Таблица 3

Состояние дискретов

Номер ячейки	1		2		3		4	
Номер дискрета	АТТ	Ф	АТТ	Ф	АТТ	Ф	АТТ	Ф
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	-	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+
6	Нет	+	Нет	+	Нет	+	Нет	+

В табл. 3 АТТ - состояние дискрета аттенюатора, Ф - состояние дискрета фазовращателя, "+" - работает, "-" - не работает, "Нет" – отсутствие дискрета. Отклонение битов состояний дискретных аттенюаторов составляет по затуханию - 0,2 *дБ*, а дискретных фазовращателей - 1°, что подтверждает правомерность разработанной методики тестирования.

Таблица 4

Поляризационные характеристики излучателей

Номер ячейки	Режим передачи		
	α°	m	$\Delta_к$(*дБ*)
1	44,22565	0,921716	-27,8004
2	8,150255	0,552366	-10,8014
3	8,7525	0,57071	-11,2669
4	21,261	0,322079	-5,80157

В табл. 4 α - угол наклона поляризационного эллипса излучаемой волны, m - коэффициент эллиптичности этой волны, $\Delta_к$ - уровень кросс-поляризации волны паразитной левой круговой поляризации.

Результаты измерений и последующие вычисления показали, что ячейки сборного пробного модуля обладают существенными разбросами тестируемых характеристик.

С целью автоматизации процесса калибровки и измерений как в режиме передачи, так и в режиме приема разработан комплекс аппаратуры [3, 4], блок-схема которого приведена на рис.5.

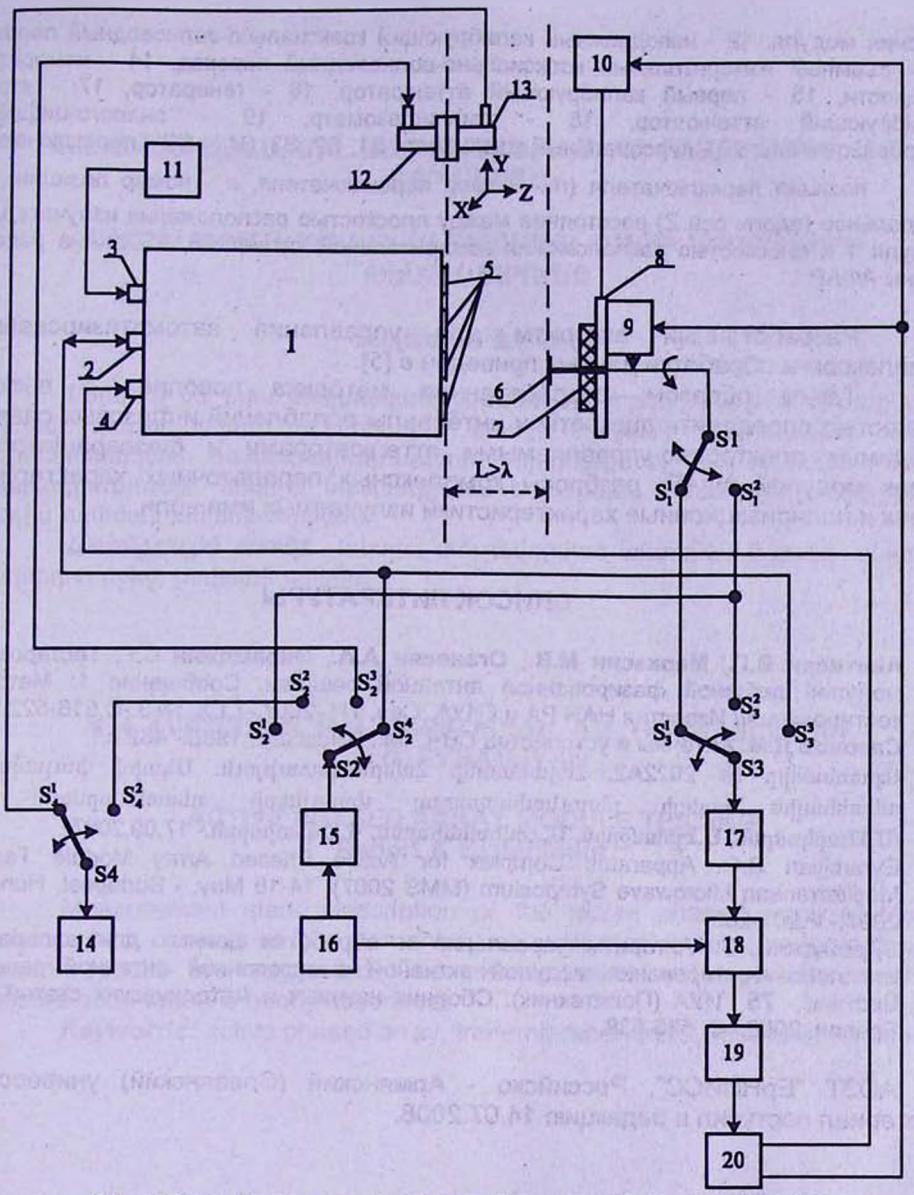


Рис.5. Блок-схема автоматизированного комплекса аппаратуры:

1 - модуль, 2 - сигнальный разъем модуля, 3 - разъем модуля для подачи питающих напряжений, 4 - управляющий разъем модуля для подачи управляющих напряжений, 5 - излучатель волны круговой поляризации каждой ячейки, 6 - измерительная антенна линейной поляризации в виде полуволнового вибратора или открытого конца одномодового прямоугольного волновода, 7 - поглощающий щит электромагнитной энергии, 8 - диэлектрический держатель, 9 - привод поворота измерительной антенны на 90 *c*, 10 - привод линейного Y-перемещения диэлектрического держателя, 11 - блок

питания модуля, 12 - неподвижный калибрующий коаксиально-волноводный переход 13 - съемный измерительный коаксиально-волноводный переход, 14 - измеритель мощности, 15 - первый калибрующий аттенюатор, 16 - генератор, 17 - второй калибрующий аттенюатор, 18 - амплифазометр, 19 - аналого-цифровой преобразователь, 20 - персональный компьютер, S1, S2, S3, S4 - СВЧ переключатели S_m^n - позиция переключателя (m - номер переключателя, n - номер позиции), L продольное (вдоль оси Z) расстояние между плоскостью расположения излучателей модуля 1 и плоскостью расположения измерительной антенны 6, λ - длина рабочей волны АФАР

Разработанный алгоритм для управления автоматизированным комплексом и обработки данных приведен в [5].

Таким образом, разработанная методика поволяет с высокой точностью определить дискреты и интервалы ослаблений и фазовых сдвигов вводимых электронно-управляемыми аттенюаторами и фазовращателями ячеек модулей АФАР, разбросы комплексных передаточных характеристи ячеек и поляризационные характеристики излучаемых ими волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аветисян В.Г., Маркосян М.В., Оганесян А.А., Эйрамджян С.Г.** Тестировани модулей активной фазированной антенной решетки. Сообщение 1: Методик тестирования// Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2007.-Т.LX, № 3.-С.516-522.
2. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ. -М.: Высш.шк., 1988.- 432 с.
3. Արտոնագիր № 2022A2, Հայաստանի Հանրապետություն. Ակտիվ փուլավորվա անտենային ցանցի ընդունահաղորդող մոդուլների տեստավորման սար /Մ.Մարկոսյան, Ս.Էյրամջյան, Ա.Հովհաննիսյան, Վ.Ավետիսյան.- 17.09.2007.
4. Eyramjyan S.G. Apparatus Complex for Active Phased Array Module Testing Mediterranean Microwave Symposium (MMS 2007), 14-16 May. - Budapest, Hungary 2007.- P.201-203.
5. **Эйрамджян С.** Алгоритм управления и обработки данных для аппаратног комплекса тестирования модулей активной фазированной антенной решетки Вестник - 75 ГИУА (Политехник): Сборник научных и методических статей.- Ч.2 Ереван, 2008.- С. 535-539.

АОЗТ "ЕрНИИСС", Российско - Армянский (Славянский) университет
Материал поступил в редакцию 14.07.2008.

Վ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Մ.Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ս.Գ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ

ԱԿՏԻՎ ՓՈՒԼԱՎՈՐՎԱԾ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՄՈԴՈՒԼՆԵՐԻ ԹԵՍԹԱՎՈՐՈՒՄԸ

Հաղորդում 2. Փորձ

Բերվում են չորս տարրական ընդունող-հաղորդող բջիջներից բաղկացած ակտիվ փուլավորված անտենային ցանցի (ԱՓԱՑ) փորձնական մոդուլի փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները և չափման ստենդի նկարագրությունը: Հակիրճ նկարագրվում է չափման համակարգը, որը թույլ է տալիս չափման ավտոմատացում:

Առանցքային բառեր. ակտիվ փուլավորված անտենային ցանց, ընդունող-հաղորդող բջիջ, չափման ստենդ:

V.H. AVETISYAN, M.V. MARKOSYAN, A.A. HOVHANNISYAN, S.G. EYRAMJYAN

ACTIVE PHASED ARRAY MODULE TESTING

Report 2. Experiment

Measurement stand description of the active phased array (APA) trial module, which consists of four elementary transmit-receive cells, and experimental research results are suggested. The measurement system which permits to measure automation is briefly described.

Keywords: active phased array, transmit-receive cell, measurement stand.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 621.52+511.52

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С.О. СИМОНЯН, А.Г. АВЕТИСЯН, А.С. СИМОНЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ (II)

Предложен простой метод определения параметрических обобщенных обратных матриц на основе дифференциальных преобразований Г. Е. Пухова.

Ключевые слова: параметрические обобщённые обратные матрицы, дифференциальные преобразования, численно-аналитические решения.

Введение. Обобщенные обратные матрицы широко используются в различных областях научных и практических исследований. Для определения этих матриц в последнее время разработан ряд методов [1-3, 5-10]. В частности, в работах [6-10] эти методы основываются на дифференциальных преобразованиях Г.Е. Пухова [4]. В работе [11] предложен простой метод определения таких матриц, также основанный на дифференциальных преобразованиях, причем метод базируется на известном соотношении (см. соотношение (2) из [11]). В настоящей работе предлагается другой простой метод определения параметрических обобщенных обратных матриц, также основанный на дифференциальных преобразованиях.

II. Теперь в основе предлагаемого метода положим другое известное соотношение (см. (1) из [11]), т.е.

$$A(t)\cdot X(t)\cdot A(t) = A(t), \tag{33}$$

и с учетом условий (5)-(8) [11] рассмотрим следующие четыре возможных случая.

Случай 1. Пусть при $t = t_v$ имеют место условия (11). Тогда из (33) имеем:

при K=0:

$$A(0)\cdot X(0)\cdot A(0) = A(0) = \Phi(0)_1,$$

откуда

$$\underbrace{A^{-1}(0)\cdot A(0)}_{E_{m\times m}}\cdot X(0)\cdot \underbrace{A(0)\cdot A^{-1}(0)}_{E_{m\times m}} = A^{-1}(0)\cdot A(0)\cdot A^{-1}(0)$$

или

$$X(0) = X(0)\cdot A(0)\cdot X(0) = X(0)\cdot \Phi(0)_1\cdot X(0) \equiv X(A(0); X(0)) = A^{-1}(0); \tag{34}$$

при K=1:

$$\cancel{A(1)\cdot X(0)\cdot A(0)} + A(0)\cdot X(1)\cdot A(0) + \underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{m\times m}}\cdot A(1) = \cancel{A(1)},$$

откуда

$$A(0)\cdot X(1)\cdot A(0) = -A(1) = \Phi(1)_I$$

или

$$X(1) = X(0)\cdot(-A(1))\cdot X(0) = X(0)\cdot\Phi(1)_I\cdot X(0) \equiv X(A(1);X(0)) = X(1)_I; \qquad (35)$$

при K=2:

$$A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{III}} + A(1)\cdot X(1)\cdot A(0) + A(1)\cdot X(0)\cdot A(1) + A(0)\cdot X(2)\cdot A(0) +$$

$$+ A(0)\cdot X(1)\cdot A(1) + \underbrace{A(0)\cdot X(0)\cdot A(2)}_{E_{III}} = \cancel{A(2)},$$

откуда

$$A(0)\cdot X(2)\cdot A(0) = -A(1)\cdot X(1)\cdot A(0) - A(1)\cdot X(0)\cdot A(1) - A(0)\cdot X(1)\cdot A(1) - A(2) = \Phi(2)_I$$

или

$$X(2) = \cancel{-X(0)\cdot A(1)\cdot X(1)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{III}}} - \cancel{X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)}_{-X(1)}} -$$

$$- \underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{III}}\cdot X(1)\cdot A(1)\cdot X(0) - X(0)\cdot A(2)\cdot X(0) = -X(1)\cdot A(1)\cdot X(0) -$$

$$- X(0)\cdot A(2)\cdot X(0) = X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot X(0) - X(0)\cdot A(2)\cdot X(0) = \qquad (36)$$

$$= X(0)\cdot[-A(2) + A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot X(0) = X(0)\cdot\Phi(2)_I\cdot X(0) \equiv$$

$$\equiv X(A(1),A(2);X(0)) = X(2)_I;$$

.....

при K= K:

$$X(K) = X(0)\cdot\left[A(K) - \sum_{\substack{p=0,q=0,r=0\\ p+q+r=K}}^{p=K,q=K-1,r=K} A(p)\cdot X(q)\cdot A(r)\right]\cdot X(0) = \qquad (37)$$

$$= X(0)\cdot\Phi(K)_I\cdot X(0) \equiv X(A(1),\ldots,A(K);X(0)) = X(K)_I.$$

Случай 2. Пусть при $t = t_v$ имеют место условия (17). Тогда из (33) имеем:

при K=0:

$$A(0)\cdot X(0)\cdot A(0) = A(0) = \Phi(0)_{II},$$

откуда

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{III}}\cdot X(0)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{III}} = X(0)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{III}} = X(0)$$

или

$$X(0)=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)=X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(0)_{II}\cdot X(0)\equiv$$
$$\equiv X(A(0);X(0))=X(0)_{II}=A^{+}(0); \qquad (38$$

при K=1:

$$A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}+A(0)\cdot X(1)\cdot A(0)+\underbrace{A(0)\cdot X(0)\cdot A(1)}_{E_{max}}=A(1).$$

откуда

$$A(0)\cdot X(1)\cdot A(0)=-A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}=\Phi(1)_{II}$$

или

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}\cdot X(1)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{max}}=-X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)},$$

или

$$X(1)=-[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)=-\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot A(1)\cdot X(0)=$$
$$=-X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(1)_{II}\cdot X(0)\equiv X(A(1);X(0))=X(1)_{II}=X(1)_{I}; \qquad (39$$

при K=2:

$$A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}+A(1)\cdot X(1)\cdot A(0)+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)+$$
$$+A(0)\cdot X(1)\cdot A(1)+\underbrace{A(0)\cdot X(0)\cdot A(2)}_{E_{max}}+A(0)\cdot X(2)\cdot A(0)=A(2);$$

откуда

$$A(0)\cdot X(2)\cdot A(0)=-A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}-A(1)\cdot X(1)\cdot A(0)-A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)=$$
$$-A(0)\cdot X(1)\cdot A(1)=A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}-A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)+$$
$$+\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{max}}\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)=[-A(2)+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}=\Phi(2)_{II}$$

или

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{min}}\cdot X(2)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{E_{max}}=X(0)\cdot[-A(2)+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}$$

или

$$X(2)=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot[-A(2)+$$
$$+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot X(0)=\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot[-A(2)+$$
$$+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot X(0)=X(0)\cdot[-A(2)+ \quad (40)$$
$$+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(2)_{II}\cdot X(0)\equiv$$
$$\equiv X(A(1),A(2);X(0))=X(2)_{II}=X(2)_{I};$$

.....

при K= K:

$$X(K)=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot\left[A(K)-\sum_{\substack{p=0,q=0,r=0\\p+q+r=K}}^{p=K,q=K-1,r=K}A(p)\cdot X(q)\cdot A(r)\right]\cdot X(0)=$$
$$=\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot\Phi(K)_{II}\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(K)_{II}\cdot X(0)\equiv \quad (41)$$
$$\equiv X(A(1),\ldots,A(K);X(0))=X(K)_{II}=X(K)_{I}.$$

Случай 3. Пусть при $t=t_v$ имеют место условия (23). Тогда из (33) имеем:

при K=0:

$$A(0)\cdot X(0)\cdot A(0)=A(0)=\Phi(0)_{III},$$

откуда

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{xx}}\cdot X(0)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{xxx}}=X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)=X(0)$$

или

$$X(0)=X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=X(0)\cdot\Phi(0)_{III}\cdot X(0)\equiv X(A(0);X(0))= \quad (42)$$
$$=X(0)_{III}=X(0)_{II}=A^{+}(0);$$

при K=1:

$$\underbrace{A(1)\cdot X(0)\cdot A(0)}_{E_{xx}}+A(0)\cdot X(1)\cdot A(0)+\underbrace{A(0)\cdot X(0)\cdot A(1)}_{\neq E_{xxx}}=A(1);$$

откуда

$$A(0)\cdot X(1)\cdot A(0)=-\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{xxx}}\cdot A(1)=\Phi(1)_{III}$$

или

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{xx}}\cdot X(1)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{xxx}}=-\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{xx}}\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot X(0),$$

или

$$X(1)=-X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=-X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}= \tag{43}$$

$$=-X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(1)_{III}\cdot X(0)\equiv X(A(1);X(0))=X(1)_{III}=X(1)_{II}=X(1)_{I};$$

при K=2:

$$\underbrace{A(2)\cdot X(0)\cdot A(0)}_{E_{\neq\neq}}+A(1)\cdot X(1)\cdot A(0)+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)+$$

$$+A(0)\cdot X(1)\cdot A(1)+\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{\neq\neq}}\cdot A(2)+A(0)\cdot X(2)\cdot A(0)=A(2),$$

откуда

$$A(0)\cdot X(2)\cdot A(0)=-A(1)\cdot X(1)\cdot A(0)-A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)-A(0)\cdot X(1)\cdot A(1)-$$

$$-\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{\neq\neq}}\cdot A(2)=A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{\neq\neq}}-A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)+$$

$$-\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{\neq\neq}}\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)-\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{\neq\neq}}\cdot A(2)=A(0)\cdot X(0)\cdot[-A(2)+$$

$$+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]=\Phi(2)_{III}$$

или

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{E_{\neq\neq}}\cdot X(2)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{\neq\neq}}=X(0)\cdot\Phi(2)_{III}\cdot X(0),$$

откуда

$$X(2)=X(0)\cdot\Phi(2)_{III}\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=X(0)\cdot\Phi(2)_{III}\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}= \tag{44}$$

$$=X(0)\cdot\Phi(2)_{III}\cdot X(0)\equiv X(A(1),A(2);X(0))=X(2)_{III}=X(2)_{II}=X(2)_{I};$$

.....

при K= K:

$$X(K)=X(0)\cdot\left[A(K)-\sum_{\substack{p=0,q=0,r=0\\p+q+r=K}}^{p=K,q=K-1,r=K}A(p)\cdot X(q)\cdot A(r)\right]\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}= \tag{45}$$

$$=X(0)\cdot\Phi(K)_{III}\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}=X(0)\cdot\Phi(K)_{III}\cdot X(0)\equiv$$

$$\equiv X(A(1),\ldots,A(K);X(0))=X(K)_{III}=X(K)_{II}=X(K)_{I}.$$

Случай 4. Пусть при $t=t_{v}$ имеют место условия (29). Тогда из (33) имеем:

при K=0:

$$A(0)\cdot X(0)\cdot A(0)=A(0)=\Phi(0)_{IV},$$

откуда

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{...}}\cdot X(0)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{...}}=X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)=X(0)$$

или

$$\begin{aligned}X(0)&=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=\\&=\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot A(0)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}=X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)=\\&=X(0)\cdot\Phi(0)_{IV}\cdot X(0)\equiv X(A(0);X(0))=X(0)_{IV}=\\&=X(0)_{III}=X(0)_{II}=A^{+}(0);\end{aligned}\qquad(46)$$

при K=1:

$$A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{...}}+A(0)\cdot X(1)\cdot A(0)+\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{...}}\cdot A(1)=A(1),$$

откуда

$$A(0)\cdot X(1)\cdot A(0)=A(1)-A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{...}}-\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{...}}\cdot A(1)=\Phi(1)_{IV}$$

или

$$\begin{aligned}&\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{...}}\cdot X(1)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{...}}=X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)-X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}-\\&-\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot A(1)\cdot X(0)=\cancel{X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)}-\cancel{X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)}-\\&-X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(1)_{IV}\cdot X(0),\end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned}X(1)&=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot\Phi(1)_{IV}\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=\\&=\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot\Phi(1)_{IV}\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}=X(0)\cdot\Phi(1)_{IV}\cdot X(0)=\\&=X(0)\cdot\Phi(1)_{IV}\cdot X(0)\equiv X(A(1);X(0))=X(1)_{IV}=X(1)_{III}=X(1)_{II}=X(1)_{I};\end{aligned}\qquad(47)$$

при K=2:

$$\begin{aligned}&A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{\neq E_{...}}+A(1)\cdot X(1)\cdot A(0)+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)+\\&+A(0)\cdot X(1)\cdot A(1)+\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{\neq E_{...}}\cdot A(2)+A(0)\cdot X(2)\cdot A(0)=A(2),\end{aligned}$$

откуда

$$A(0)\cdot X(2)\cdot A(0)=A(2)-A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{=E_{mm}}-A(1)\cdot X(1)\cdot A(0)-A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)-$$

$$-A(0)\cdot X(1)\cdot A(1)-\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{=E_{mm}}\cdot A(2)=\Phi(2)_{IV}$$

или

$$\underbrace{X(0)\cdot A(0)}_{=E_{mm}}\cdot X(2)\cdot\underbrace{A(0)\cdot X(0)}_{=E_{mm}}=\cancel{X(0)\cdot A(2)\cdot X(0)}-\cancel{X(0)\cdot A(2)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}}+$$

$$+\cancel{X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}}-\cancel{X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)}+$$

$$+\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)\cdot X(0)-\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot A(2)\cdot X(0)=$$

$$=X(0)\cdot[-A(2)+A(1)\cdot X(0)\cdot A(1)]\cdot X(0)=X(0)\cdot\Phi(2)_{IV}\cdot X(0),$$

откуда

$$X(2)=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot\Phi(2)_{IV}\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=$$

$$=\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot\Phi(2)_{IV}\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}=X(0)\cdot\Phi(2)_{IV}\cdot X(0)\equiv \qquad (48)$$

$$\equiv X(A(1),A(2);X(0))=X(2)_{IV}=X(2)_{III}=X(2)_{II}=X(2)_{I};$$

.....

при K= K:

$$X(K)=[X(0)\cdot A(0)]^{+}\cdot X(0)\cdot\left[A(K)-\sum_{\substack{p=0,q=0,r=0\\p+q+r=K}}^{p=K,q=K-1,r=K}A(p)\cdot X(q)\cdot A(r)\right]\cdot X(0)\cdot[A(0)\cdot X(0)]^{+}=$$

$$=\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}\cdot\Phi(K)_{IV}\cdot\underbrace{X(0)\cdot A(0)\cdot X(0)}_{X(0)}=X(0)\cdot\Phi(K)_{IV}\cdot X(0)\equiv$$

$$\equiv X(A(1),\ldots,A(K);X(0))=X(K)_{IV}=X(K)_{III}=X(K)_{II}=X(K)_{I}. \qquad (49)$$

Резюме. Таким образом, при параметрических (неавтономных) матрицах $A(t)$:

- если выполняются лишь только условия (37) ≡ (41) ≡ (45) ≡ (49) в соответствии с соотношением (1), то с использованием обратных дифференциальных преобразований можно определить g-обратную $A^{-}(t)$;

- если выполняются условия (37) ≡ (41) ≡ (45) ≡ (49) ≡ (16) ≡ (22) ≡ (28) ≡ (32) в соответствии с соотношениями (1) и (2), то с использованием обратных дифференциальных преобразований можно определить рефлексивную g-обратную $A_{R}^{-}(t)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Karampetakis N.P., Tzekis P.** On the Computation of the Generalized Inverse of a Polynomial Matrix //IMA J. Math. Control Inform. – 2001. –Vol. 18, No. 1. –P. 83-97.
2. **Karampetakis N.P., Vologiannidis S.** DFT Calculation of the Generalized and Drazin Inverse of a Polynomial Matrix //Applied Mathematics and Computation. –2003. –Vol. 143. –P. 501-521.
3. **Stanimirovic P.S., Tasic M. B., Krtolica P.V., Karampetakis N.P.** Generalized Inversion by Interpolation //Filomat. –2007. –Vol. 21, No. 1. –P. 67-86.
4. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные спектры и модели.-Киев: Наукова думка, 1990.-230 с.
5. **Бадалян Л.А.** Матричный аппроксимационный синтез неавтономных псевдообратных матриц //Сб. мат. Межд. молодежной конф. "Информационные технологии".-Ереван, 2005.-С. 127-132.
6. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Аналоги для определения неавтономных псевдообратных матриц на основе метода ортогонализации Грамма-Шмидта и дифференциальных преобразований Пухова //Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. -2006. –Т LIX, N2. -С.406-417.
7. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Дифференциально-тейлоровский аналог метода блочного разбиения для определения неавтономных псевдообратных матриц //Вестник Инженерной академии Армении.-2005.-Т.2, N1.-С.109-116.
8. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Дифференциально-тейлоровский аналог метода Гревилля для неавтономных матриц //Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2005.-Т. LVIII, N2. – С.340-353.
9. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Метод сингулярного разложения неавтономных матриц на основе дифференциальных преобразований //Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. -2005.-Вып.8, том 2.- С.120-133.
10. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Определение неавтономных псевдообратных матриц на основе метода исключения Жордана-Гаусса и дифференциальных преобразований Пухова // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. -2005.-Вып.9, том 2.- С.128-137.
11. **Симонян С.О., Аветисян А.Г., Симонян А.С.** Метод определения параметрических обобщенных обратных матриц (I) //Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2008.-Т. LXI, N3. – С.452-463.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.07.2008.

Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ս. ՍԻՄՈՆՅԱՆ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ (II)

Առաջարկված է պարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման հասարակ մեթոդ՝ հիմնված Գ.Ե. Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա:

Առանցքային բառեր. պարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցներ, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, թվա-անալիտիկ լուծումներ:

S.H. SIMONYAN, A.G. AVETISYAN, A.S. SIMONYAN
METHOD OF PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRIX DETERMINATION (II)

A simple method of the parametric generalized inverse matrices determination based on G.E. Pukhov's differential transformations is proposed.

Keywords: parametric generalized inverse matrices, differential transformations, numerical-analytical solutions.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 514. 181. 4 : 004. 94

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

К.А. СОГОМОНЯН, В.В. ГЕВОРГЯН, К.А. ТУМАНЯН, Д.Н. МОВСИСЯН

АФФИННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ AutoCAD

Для автоматизации процесса построения аффинных моделей плоских изображений в среде системы AutoCAD разработаны алгоритм и соответствующая LISP – программа. Программа может быть использована для моделирования и построения объектов биологического происхождения.

Ключевые слова: аффинная модель, биологические объекты, программирование, автоматизированная система, геометрическое моделирование.

Система AutoCAD предназначена в основном для создания и выпуска графической документации в электронном виде. Однако ее обновленные версии направлены на развитие возможностей графического моделирования объектов окружающего нас мира в его динамике, в частности, изменение форм во времени, а также различных закономерных и случайных факторов.

Целью настоящей работы является создание автоматизированной системы геометрического моделирования объектов биологического происхождения и разработка программ автоматизированного построения аффинно-эквивалентных плоских фигур произвольной формы, каковыми являются видимые контуры и различные сечения объектов, имеющих биологическое происхождение.

Построения и преобразования аффинных моделей средствами AutoCAD дают возможность их предварительного исследования, изменения, анализа вариантов и прогнозирования результатов на компьютерной модели, не подвергая риску биоформу, с последующим принятием окончательного решения. Например, изменяя взаимное расположение антропометрических точек A и C относительно точки B, можно просмотреть варианты ожидаемого изменения линии контура гнатической части лица в сагиттальной плоскости, полученной на профильной телерентгенограмме (ТРГ) (рис. 1).

Аффинное преобразование плоскости полностью определяется заданием моделей $\bar{A},\bar{B},\bar{C}$ трех точек A,B,C, не принадлежащих одной прямой, и выражается в декартовых координатах формулами [2]

$$\begin{aligned}\bar{x} &= (\xi_1 - \xi_0)x + (\xi_2 - \xi_0)y + \xi_0,\\ \bar{y} &= (\eta_1 - \eta_0)x + (\eta_2 - \eta_0)y + \eta_0,\end{aligned} \qquad (1)$$

которые выражают координаты $\left(\bar{x}_i, \bar{y}_i\right)$ аффинно-соответствующих точек $\bar{M}_i$ через координаты $\left(x_i, y_i\right)$ исходных точек M_i.

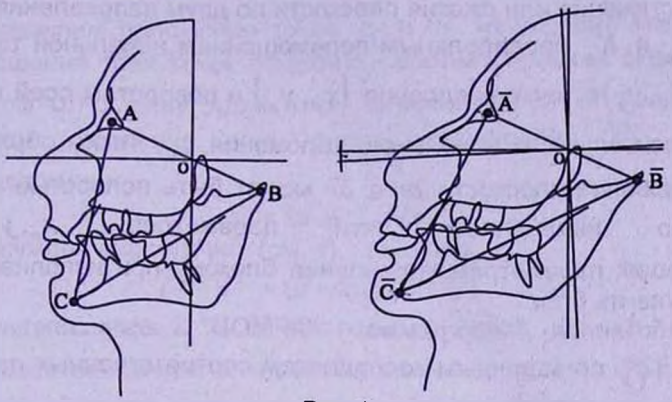


Рис. 1

Формулы (1) позволяют поточечно построить аффинную модель параметризованной геометрической фигуры, если известно ее уравнение и установлено аффинное соответствие между точечными полями ω и $\bar{\omega}$, расположенными в одной плоскости. Однако для непараметризуемых фигур, таких как контуры или сечения большинства биоформ, этот метод неприменим, так как нуждается в дополнительных устройствах, таких как сканеры, дигитайзеры и др., а также в специальных программах преобразования файлов и формирования координат для ввода точек в системах UCS и WCS.

Идея метода заключается в использовании графической базы данных AutoCAD для построения аффинной модели произвольной фигуры как цельного образа в виде особого примитива "BLOCK" по его изображению без составления аналитических выражений, описывающих объект, но позволяющих преобразовать геометрическую форму и положение фигуры в пространстве моделирования, оставляя неизменными топологическую структуру фигуры и ее аффинные свойства: размерность, линейность, инцидентность и подобие. При этом функциями изменения внутренних и внешних параметров фигуры являются преобразования, на которые распадается общее аффинное преобразование:

$$A = PSH,$$

где P - перспективно-аффинное преобразование; S - движение; H - гомотетия.

При перспективно-аффинном преобразовании плоскостей всегда существуют соответствующие друг другу две пары взаимно перпендикулярных направлений, называемых главными направлениями. Из свойства конформ-

ности (неизменности величин углов) преобразований S и H следует, что в произвольном аффинном соответствии двух плоскостей также имеются две соответственные пары главных направлений [1].

Если направить ортогональные координатные оси X и Y по главным направлениям, то аффинное преобразование можно рассмотреть как операцию растяжения или сжатия плоскости по двум направлениям с коэффициентами K_x и K_y параллельным перемещением начальной точки системы координат (x_0, y_0) в точку внедрения (x_p, y_p) и поворотом осей координат на угол φ_p относительно их начального положения φ_0. Таким образом, аффинное преобразование плоскости ω в $\overline{\omega}$ может быть полностью или частично осуществлено изменением пяти параметров: $x_p, y_p, K_x, K_y, \varphi_p$, соответствующих параметрам управления блоком при исполнении команды AutoCAD "Вставить блок".

Разработанная программа "AFMOD" вычисляет параметры $x_p, y_p, K_x, K_y, \varphi_p$ по заданным координатам соответственных пар двух троек точек (A, B, C и $\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}$) и использует их в качестве входных параметров команды "Вставить блок" в автоматическом режиме. Для выявления функций, вычисляющих параметры преобразования, рассмотрим их геометрические связи с параметрами исходных троек точек, задающих аффинное преобразование.

1. Установим систему координат XOY с началом в точке A и осью X, проходящей через произвольную точку E, взятую на отрезке BC. Тогда ось Y пройдет через некоторую точку F той же прямой BC, а положение точки F будет зависеть от положения точки E, иначе говоря, относительно точки B величина v является функцией от (u): $v = f(u)$ или $f(u, v) = 0$.

Найдем эту функцию из соотношений сторон прямоугольных треугольников ABM и EAF :

$$l^2 - a^2 = h^2 \qquad \text{и} \qquad h^2 = (a-u)(v-a).$$

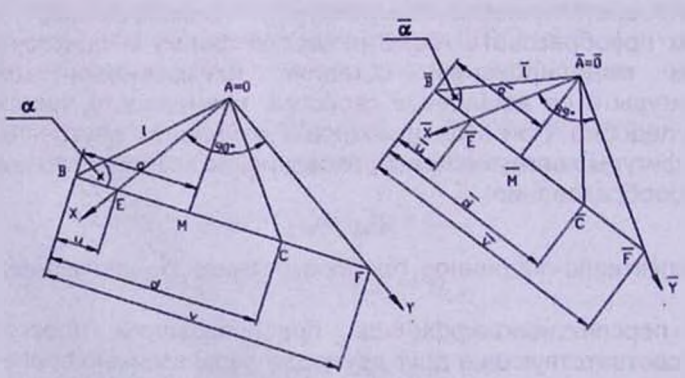


Рис. 2

Подставив h^2, получим искомую функцию:

$$l^2 - a^2 = (a-u)(v-a). \qquad (2)$$

2. Возьмем три произвольные точки $\overline{A},\overline{B},\overline{C}$, которые находятся в аффинном соответствии с исходными точками A,B,C.

3. Определим положение точек $\overline{E}$ и $\overline{F}$ из условия инвариантности простого отношения трех точек аффинно - соответственных отрезков BC и $\overline{B}\overline{C}$. При этом отношение длин этих отрезков d и $\overline{d}$ (рис.2) является коэффициентом искажения длин вдоль направления BC. Обозначим $\overline{d}/d = k$. Тогда имеем

$$\overline{u} = ku \text{ и } \overline{v} = kv.$$

4. Рассуждая аналогично (см. 1), получим

$$\overline{l}^2 - \overline{a}^2 = (\overline{a} - ku)(kv - \overline{a}). \qquad (3)$$

5. Вычислим углы α и $\overline{\alpha}$ как разность углов $\alpha = \varphi - \psi$ отрезков AB и BC относительно оси x мировой системы координат WCS. Аналогично имеем $\overline{\alpha} = \overline{\varphi} - \overline{\psi}$ как разность углов отрезков $\overline{A}\overline{B}$ и $\overline{B}\overline{C}$ относительно той же системы координат WCS.

6. Определим отрезок a как проекцию отрезка l на BC: $a = l\cos\alpha$ и аналогично: $\overline{a} = \overline{l}\cos\overline{\alpha}$.

7. Решив систему уравнений (2) и (3) относительно u и v, а также зная значение k, получим искомые точки F и $\overline{F}$, через которые проходят главные направления на плоскости-оригинале ω и плоскости-модели $\overline{\omega}$.

8. Выразим полярные координаты точек E и F относительно точки B в формате команды POLAR Auto-LISP: $E\ (polar\ B\ \varphi\ u), F\ (polar\ B\ \varphi\ v)$ и полярные координаты точек $\overline{E}$ и $\overline{F}$ относительно точки $\overline{B}$: $\overline{E}\ (polar\ \overline{B}\ \overline{\varphi}\ \overline{u}), \overline{F}\ (polar\ \overline{B}\ \overline{\varphi}\ \overline{v})$.

9. Вычислим длины отрезков AE и AF из треугольников AEM и AMF:

$$AE = \sqrt{h^2 + (a-u)^2} \qquad AF = \sqrt{h^2 + (v-a)^2}$$

и, соответствнно, длины отрезков $\overline{A}\overline{E}$ и $\overline{A}\overline{F}$ из треугольников $\overline{A}\overline{E}\overline{M}$ и $\overline{A}\overline{M}\overline{F}$:

$$\overline{A}\overline{E} = \sqrt{h^2 + (\overline{a} - \overline{u})^2} \qquad \overline{A}\overline{F} = \sqrt{h^2 + (\overline{v} - \overline{a})^2}.$$

Тогда коэффициентами искажения вдоль осей ox и oy будут

$$\overline{A}\overline{E}/AE = K_X \quad \text{и} \quad \overline{A}\overline{F}/AF = K_Y,$$

по которым и происходит ввод блока через команду "Insert block" AutoCAD с новыми параметрами.

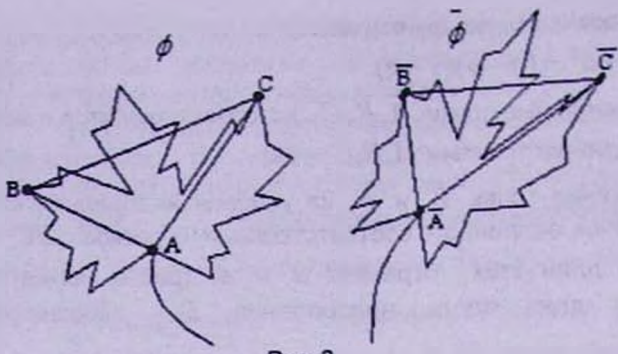


Рис. 3

10. Установим пользовательскую систему координат UCS по трем точкам A, E, F для плоскости ω и, соответственно, $\overline{UCS}$ по трем точкам $\overline{A}, \overline{E}, \overline{F}$ для плоскости $\overline{\omega}$.

11. Исходная фигура преобразуется в блок с помощью команды AutoCAD "Make block" с базовой точкой A и точкой ввода $\overline{A}$.

Программа разработана и записана на языке AutoLISP и имеет очень простую форму диалогового общения.

Для выполнения программы в среде AutoCAD нужно с командной строки или кнопкой с панели инструментов ввести команду "AFMOD", выбрать объект, ввести по порядку координаты точек A, A_1, B, B_1, C, C_1 (или указать мышкой) и ввести имя объекта, как, например, "LISTOK" (рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Яглом И.М., Ашкиназе В.Г.** Идеи и методы аффинной и проективной геометрии. - М.: Учпедгиз, 1962.
2. **Четверухин Н.Ф.** Проективная геометрия: - М.: Просвещение, 1969.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 04.06.2008.

Կ.Ա. ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ, Վ.Վ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Կ.Ա. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ, Դ.Ն. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ
ՀԱՐԹ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ԱՖԻՆԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ AutoCAD-Ի ՄԻՋՈՑՆԵՐՈՎ

Հարթ պատկերների աֆինական մոդելների կառուցման համար մշակված է ալգորիթմ և LISP-ծրագիր, որն իրականացվում է ավտոմատացված ռեժիմով AutoCAD ծրագրային փաթեթի միջավայրում: Ծրագիրը կիրառելի է կենսաբանական օբյեկտների դինամիկական փոփոխությունների հետազոտման և կառուցման գործընթացում:

Առանցքային բառեր. աֆինական մոդել, կենսաբանական օբյեկտներ, ծրագրավորում, ավտոմատացված համակարգ, երկրաչափական մոդելավորում:

K.A. SOGHOMONYAN, V.V. GEVORGYAN, K.A. TOUMANYAN, D.N. MOVSISYAN
FLAT OBJECTS AFINMODELLING WITHIN THE FRAME OF AUTOCAD

An algoritm and Autolisp program for the construction of flat object afinmodels are developed. It is fulfilled in automatic regime within the frame of AutoCAD program. It is applicable in the process of management and survey of dynamic changes of biological object.

Keywords: afinmodels, biological object, programming, CAD, geometrical modelling.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI, № 4.

УДК 681.32

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

К.В. ГАСПАРЯН, Г.О. ИГИТЯН

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИБЕЛИ И РАЗМНОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Получены несмещенные эффективные оценки неизвестного параметра в моделях автоматизации, описываемых процессами гибели и размножения, с помощью теории экспоненциальных классов распределений.

Ключевые слова: системы автоматизации, процесс гибели и размножения, эффективные оценки.

1. **Введение.** Сложные системы автоматизации со счетным множеством состояний характеризуются коэффициентами перехода из состояния i-1 в состояние i (размножение) и из состояния i в i+1 (гибель). Такие системы описываются процессами гибели и размножения. Их стационарные распределения зависят от отношений ε_i, $i \geq 1$ коэффициентов размножения и гибели. В экспериментах ε_i могут зависеть от неизвестного параметра θ, статистическая оценка которого представляет определенный научно-практический интерес. Стационарные распределения записываются в виде [1]

$$\begin{cases} p_\theta(x) = P(\xi = x) = (g(\theta))^{-1} \cdot \prod_{m=1}^{x} \varepsilon_m(\theta), x = 0,1,2,..., \\ g(\theta) = 1 + \sum_{x \geq 1} \prod_{m=1}^{x} \varepsilon_m(\theta) < +\infty, \theta \in (0,1]. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь P - знак вероятности, случайная величина ξ имеет распределение $\{p_\theta(x)\}$ и $\prod_{m=1}^{0} \equiv 1$.

В [1] с целью нахождения оптимальных оценок параметра θ рассмотрена модель (1) в линейном случае $\varepsilon_m(\theta) = \theta \cdot \varepsilon_m$, $\varepsilon_m > 0$, $m = 1,2,...$, для которой $g(\theta) \leq g(1)$. Особенно интересен случай правильного изменения $\{p_\theta(x)\}_{\theta=1}$ с некоторым показателем $(-\rho)$, $1 < \rho < +\infty$, т.е. (см.[2]) для $s = 2,3,....$ существует предел

$$\lim_{x \to +\infty} \frac{p_\theta(s \cdot x)}{p_\theta(x)} \Big|_{\theta=1} = s^{-\rho}. \quad (2)$$

В [3] показано, что условие (2) равносильно в представлении $\varepsilon_m = 1 - \frac{\rho_m}{m}$, $m = 1, 2, \ldots$ существованию предела

$$\lim_{m \to \infty} \rho_m = \rho. \tag{3}$$

Для оценивания параметра θ используется выборка $\mathrm{X}^n = (X_1, X_2, \ldots, X_n)$ объема $n > 1$ из распределения (1) - (2).

Введем некоторые определения. Произвольную функцию $\tau^* = \tau^*(\mathrm{X}^n)$ (*статистику*) называют *оценкой* параметрической функций $\tau = \tau(\theta)$, если она не зависит от θ.

Пусть E_θ и D_θ - знаки математического ожидания и дисперсии.

Оценка τ^* является *несмещенной* для $\tau(\theta)$, если $E_\theta \tau^* = \tau(\theta)$.

Обозначим через $\mathrm{K}_0(\tau)$ класс несмещенных оценок для $\tau = \tau(\theta)$. Несмещенную оценку $\tau_0^* \in \mathrm{K}_0(\tau)$ называют *эффективной* для параметрической функции $\tau = \tau(\theta)$, если на ней достигается нижняя граница в неравенстве Рао-Крамера (см.[4]), т.е. $D_\theta \tau_0^* = \frac{1}{n \cdot I(\theta)} \left(\frac{d\tau(\theta)}{d\theta}\right)^2$.

Здесь $I(\theta)$ представляет собой *информационное количество Фишера:*

$$I(\theta) = -E_\theta \frac{d^2}{d\theta^2} (\ln p_\theta(X_1)). \tag{4}$$

Наша цель заключается в нахождении параметрической функции $\tau = \tau(\theta)$, которая имеет *несмещенную эффективную оценку*. Результат формулируется следующим образом.

Теорема. *В линейном случае модели (1) – (2) при* $\rho \in (3, +\infty)$ *оценка*

$$\tau_0^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \text{ (выборочное среднее)} \tag{5}$$

является несмещенной эффективной оценкой параметрической функции

$$\tau(\theta) = E_\theta \xi. \tag{6}$$

2. Метод анализа. Введем два определения. Распределение $\{p_\theta(x)\}$ принадлежит *однопараметрическому экспоненциальному классу*, если оно допускает представление

$$p_\theta(x) = h(x) \exp\{A(\theta) \cdot T(x) + B(\theta)\}, \; x = 1, 2, \ldots, \tag{7}$$

где $h(x) > 0$, $A(\theta)$, $B(\theta)$ и $T(x)$ - конечные функции.

В [1] показано, что распределение (1) допускает представление (7) с

$$h(x)=\prod_{m=1}^{x}(1-\frac{\rho_m}{m}),T(x)=x,A(\theta)=\ln\theta,B(\theta)=-\ln g(\theta),\theta\in(0,1], \qquad (8)$$

т.е. принадлежит однопараметрическому экспоненциальному классу.

Далее покажем, что параметрический класс распределений $P_\theta,\theta\in A\subset R^1=(-\infty,+\infty)$ удовлетворяет условиям *регулярности* (R), если:

(R1) распределение $\{p_\theta\}\in P_\theta$ имеет *общий носитель* $N(\theta)\subset R^1$, т.е. $p_\theta(N(\theta))=1$ (что равносильно независимости множества $N(\theta)=\{x\in R^1: p_\theta(x)>0\}$ от параметра θ);

(R2) функция $p_\theta(x)\in P_\theta$ для всех x имеет *непрерывную* по $\theta\in A$ производную по θ;

(R3) функция $I(\theta)$ (см. (4)) *непрерывна* по $\theta\in A$ и $0<I(\theta)<+\infty$.

Метод доказательства *теоремы* заключается в применении к распределению $\{p_\theta(x)\}$ типа (1)-(2) следующего общего утверждения из [5].

Для того, чтобы при выполнении условия (R) $\{p_\theta\}\in P_\theta$, $\theta\in A$ имела единственную (с точностью до линейного преобразования) параметрическую функцию $\tau=\tau(\theta)$, для которой существует эффективная в классе несмещенных оценок оценка τ_0^*, необходима и достаточна принадлежность $\{p_\theta\}$ к однопараметрическому экспоненциальному классу. При этом

$$\tau(\theta)=-\left(\frac{\frac{dB(\theta)}{d\theta}}{\frac{dA(\theta)}{d\theta}}\right),\ \frac{dA(\theta)}{d\theta}\neq 0, \qquad (9)$$

а ее эффективная оценка имеет вид $\tau_0^*(X^n)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T(X_i)$.

В нашем случае, в силу (8), τ_0^* принимает форму (5), а

$$\tau(\theta)=\frac{\theta}{g(\theta)}\cdot\frac{dg(\theta)}{d\theta},\ \theta\in(0,1]. \qquad (10)$$

Итак, для установления *теоремы* остается проверить справедливость условия (R) для распределения (1)-(2) и доказать, что (10) есть $E_\theta\xi$.

3. **Вспомогательные вычисления.** Покажем, что в условиях теоремы (6) и (10) совпадают и

$$E_\theta\xi^2=\frac{\theta}{g(\theta)}\left\{\theta\cdot\frac{d^2g(\theta)}{d\theta^2}+\frac{dg(\theta)}{d\theta}\right\},\ \theta\in(0,1]. \qquad (11)$$

Вначале, в связи с (1), покажем, что ряд

$$g(\theta)-1=\sum_{x\ge 1}\theta^x\prod_{m=1}^{x}(1-\frac{\rho_m}{m}) \qquad (12)$$

равномерно сходится при $\theta\in(0,1]$, для чего, из-за возрастания $g(\theta)$ по θ, достаточно показать сходимость ряда $g(1)-1=\sum_{x\ge 1}\prod_{m=1}^{x}(1-\frac{\rho_m}{m})$. Используя разложение $\ln(1-x)=-\sum_{k\ge 1}(x^k/k)$, $x\in[-1,1)$, получаем

$$g(1)-1=\sum_{x\ge 1}\exp\left\{-\sum_{m=1}^{x}\sum_{k\ge 1}\frac{1}{k}(\frac{\rho_m}{m})^k\right\}<\sum_{x\ge 1}\exp\left\{\sum_{m=1}^{x}\frac{\rho_m}{m}\right\}.$$

Так как последний ряд сходится одновременно с рядом (см. (3)) $\sum_{x\ge 1}\exp\left\{-\sum_{m=1}^{x}\frac{\rho}{m}\right\}=\sum_{x\ge 1}\frac{1}{x^{\rho}}<+\infty$, то утверждение доказано.

Дифференцируя теперь ряд (12) по θ, находим $\frac{dg(\theta)}{d\theta}=\sum_{x\ge 1}x\cdot\theta^{x-1}\prod_{m=1}^{x}(1-\frac{\rho_m}{m})=\frac{d(\theta)}{\theta}E_\theta\xi$, откуда следует совпадение (6) и (10). При этом равномерная сходимость ряда, определяющего $E_\theta\xi$, равносильна сходимости ряда $\sum_{x\ge 1}\frac{1}{x^{\rho-1}}$, что имеет место из-за $\rho\in(3,+\infty)$.

Дифференцируя ряд (12) по θ дважды, имеем $\frac{d^2g(\theta)}{d\theta^2}=\sum_{x\ge 2}x\cdot(x-1)\theta^{x-2}\prod_{m=1}^{x}(1-\frac{\rho_m}{m})=\frac{g(\theta)}{\theta^2}E_\theta\xi(\xi-1)$, откуда и из (6), (10) вытекает (11). При этом конечность $E_\theta\xi^2$ и дисперсии $D_\theta\xi$ равносильна сходимости ряда $\sum_{x\ge 1}\frac{1}{x^{\rho-2}}$ при $\rho\in(3,+\infty)$.

Теперь покажем, что информационное количество Фишера (4) равно

$$I(\theta)=\theta^{-2}\cdot D_\theta\xi. \qquad (13)$$

Из (1) $\ln p_\theta(x)=-\ln g(\theta)+x\ln\theta+\sum_{m=1}^{x}\ln(1-\frac{\rho_m}{m})$ при x=1, 2, ..., откуда, дифференцируя по θ, получаем

$$\frac{d\ln p_\theta(x)}{dx}=-\frac{1}{g(\theta)}\frac{dg(\theta)}{d\theta}+\frac{x}{\theta},\ x=1,2,... \qquad (14)$$

Далее $\frac{d^2 \ln p_\theta(x)}{d\theta^2} = -\frac{1}{g(\theta)}\frac{d^2 g(\theta)}{d\theta^2} + \frac{1}{(g(\theta))^2}\left(\frac{dg(\theta)}{d\theta}\right)^2 - \frac{x}{\theta^2}$, $x = 1,2,....$

Отсюда и из (6), (11), (12) выводим $\frac{d^2 \ln p_\theta(x)}{d\theta^2} = \frac{1}{\theta^2}\{E_\theta\xi - D_\theta\xi - x\}$, $x = 1,2,..$

Из-за несмещенности оценки эти равенства означают, что верно (13).

4. **Проверка условия (R).** Так как в нашем случае $N(\theta) = \{0,1,2,...\}$, то (R1) выполнено.

Далее из (15) имеем $\frac{d \ln p_\theta(x)}{dx} = -\frac{1}{\theta}\left(\frac{1}{g(\theta)}\sum_{x\geq 1} x \cdot \theta^{x-1}\prod_{m=1}^{x}(1-\frac{\rho_m}{m}) - x\right)$.

Так как $\frac{dg(\theta)}{d\theta} < +\infty$ для всех $\theta \in (0,1]$ и $g(\theta) < +\infty$, то функции $\frac{d \ln p_\theta(x)}{dx}$, а значит, и $\frac{dp_\theta(x)}{d\theta}$ непрерывны по $\theta \in (0,1]$, т.е. выполнено (R2).

Наконец, $0 < I(\theta) = \theta^{-2} D\xi < +\infty$ и, согласно (6), (10) и (11), если

$$D_\theta\xi = E_\theta\xi^2 - (E_\theta\xi)^2 = \frac{\theta}{g(\theta)}\left\{\theta\frac{d^2 g(\theta)}{d\theta^2} + \frac{dg(\theta)}{d\theta} - \frac{\theta}{g(\theta)}\left(\frac{dg(\theta)^2}{d\theta}\right)\right\},$$ то

$I(\theta)$ непрерывно, т.е. выполнено (R3). Таким образом, к (1) применимо утверждение (9). *Теорема* доказана.

5. **Оценка максимального правдоподобия.** Оценкой максимального правдоподобия для параметра θ в модели (1)-(2) называется такая статистика θ, которая максимизирует (по θ) при фиксированной выборке $X^n = (X_1, X_2, ...X_n)$ $(x^n = (x_1, ..., x_n))$ функцию правдоподобия $(\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i)$:

$$P_\theta(X^n) = \prod_{i=1}^{n} P_\theta(X_i) = \frac{1}{(g(\theta))^n}\theta^{n\cdot\overline{x}}\prod_{i=1}^{n}\prod_{m=1}^{x_i}(1-\frac{\rho_m}{m}),$$ т.е. $P_{\hat{\theta}}(X^n) = \max_{\theta\in(0,1]}\prod_{i=1}^{n} P_\theta(X_i)$.

Согласно [4], эффективная оценка $\tau^* = \overline{X}$ параметрической функции $\tau(\theta) = \frac{\theta}{g(\theta)}\frac{dg(\theta)}{d\theta}$ (которая, в силу (6), есть $E_\theta\xi$) совпадает с ее оценкой максимального правдоподобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Саати Т.** Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. – М.: Сов. Радио, 1965. - 510 с.
2. **Сенета В.** Правильно меняющиеся функции. – М.: Наука,1985.-100 с.
3. **Даниелян Э.А., Авагян Г.П.** Об одном представлении правильно меняющихся распределений // Математика в высшей школе. – Ереван, 2008.- Т.4, № 3.
4. **Боровков А.А.** Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. – М.: Наука, 1984.-472 с.
5. **Ивченко Г.И., Медведев Ю.И.** Математическая статистика – М.: Высшая школа,1984.-248 с.

ЕрФИ. Материал поступил в редакцию 11.10.2008.

Կ.Վ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Հ.Հ. ԻԳԻՑՅԱՆ

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ԱՆՀԱՅՏ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ ԾՆՄԱՆ ԵՎ ՎԱԽՃԱՆՄԱՆ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐՈՒՄ

Ցուցչային դասերի օգնությամբ ստացված են ավտոմատացման մոդելները նկարագրող ծնման և վախճանման գործընթացների անհայտ պարամետրերի անշեղելի և արդյունավետ գնահատականները:

Առանցքային բառեր. ավտոմատացման համակարգեր, ծնման և վախճանման գործընթաց, արդյունավետ գնահատականներ:

K.V. GASPARYAN, H.H. IGITYAN

STATISTICAL MODEL OF THE BIRTH-DEATH PROCESS FOR AUTOMATIZATION OF EXPERIMENTS

The unbiased effective estimators for the unknown parameter in models of automatization which are described by the birth-death processes are obtained with the help of the exponential class of distributions.

Keywords: automatization systems, birth-death process, effective estimators.

ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI. № 4.

ՀՏԴ 681.5:612.171.1

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ ԵՎ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Պ.Ռ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՍՐՏԱՅԻՆ ՀԻՎԱՆԴԻ ՎԻՃԱԿԻ ԹՎԱՅԻՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Ներկայացված են էլեկտրասրտագրերի տեղեկատվական պարամետրերի որոշման ներկայիս մեթոդները, ԷՍԳ-ի մշակման մակերեսային մեթոդի առավելությունները և հաշվարկման մեթոդները: Նկարագրված է մշակված՝ մակերեսային մեթոդի վրա հիմնված, կրծքային երեսուն արտածումների միջոցով սրտի վնասվածքների քարտեզավորման և թվային արժեքներով սրտային հիվանդի վիճակի գնահատման ավտոմատացված համակարգը, ուր կիրառվում է կուտակված գիտելիքների տվյալների բազայի հիման վրա աշխատող ախտորոշման մեթոդը:

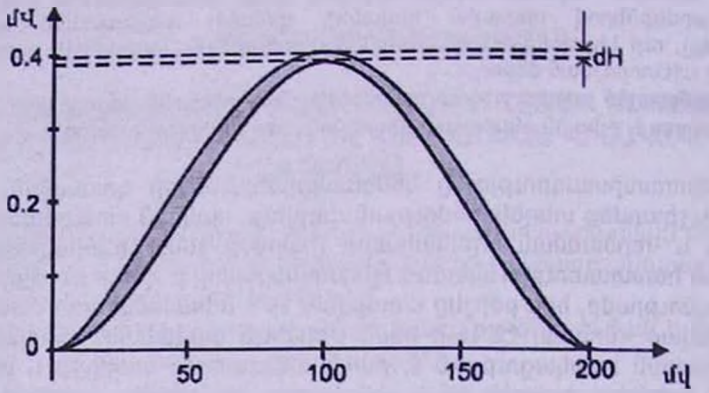
Առանցքային բառեր. էլեկտրասրտագիր, մակերեսային մեթոդ, սրտի վնասվածքների քարտեզավորում, թվային գնահատման ավտոմատացված համակարգ:

Էլեկտրասրտագրությունը կենսաազդանշանների գրանցման շատ զգայուն մեթոդ է, և լիարժեք տեղեկատվության աղբյուր, սակայն ստացված ինֆորմացիայի մշակման և վերծանման եղանակները լիարժեք չեն: Նույնիսկ ներկայումս շատ բժշկական հաստատություններում էլեկտրասրտագրի վերլուծությունը կատարվում է աչքի օգնությամբ, երբ բժիշկը ստացված ԷՍԳ-ն համեմատում է սեփական փորձի վրա հիմնված «նորմալ ԷՍԳ»-ի հետ: Միևնույն ժամանակ, «նորմալ ԷՍԳ»-ն շատ հարաբերական հասկացություն է, քանի որ տարբեր տարիքի և սեռի մարդկանց մոտ այդ նորմերը տարբեր են և չեն կարող համընկնել: Նույնիսկ նույն մարդու նորմալ ԷՍԳ-ն փոփոխվում է՝ օրվա ժամերից և տարվա եղանակից կախված: Այդ պատճառով, հաճախ ԷՍԳ-ների վերլուծության ժամանակ կատարվում են մոտարկումներ, որոնց պատճառով պակասում է հետազոտման ճշտությունը [1]: Մյուս կողմից՝ պարբերաբար կատարվող ԷՍԳ-ի ուսումնասիրությունները հնարավորություն են տալիս հետևել բուժման ընթացքին և, ելնելով ստացված տվյալներից, շտկել բուժման գործընթացը՝ հնարավորինս օպտիմալ տարբերակով [2]: Էլեկտրասրտագրությունը անփոխարինելի է բուժիչ միջոցառումների արդյունքի և բուժման վրա դեղամիջոցների ազդեցության գնահատման գործում:

Բացի դրանից, սրտի աշխատանքի գնահատման համար, մասնավորապես իշեմիկ հիվանդությունների ժամանակ, շատ կարևոր է միաժամանակ ունենալ տվյալներ ոչ թե մեկ, այլ մի քանի արտածումներից: Հաշվի առնելով ԷՍԳ-ի բարձր դինամիկան՝ հատկապես իշեմիկ հիվանդների մոտ, կարիք է լինում զուգահեռ գրանցել և վերլուծել կրծքային վեց (V1-V6) արտածումները իրական ժամանակում [3]: Հայտնի է, որ սրտի նման վիճակը լավագույնս նկարագրող փոփոխությունների նկատմամբ ամենազգայուն և հիվանդի վիճակը լավագույնս ներկայացնող պարամետրերն են ST հատվածի տեղողությունը ու շեղումը իզոէլեկտրական գծից և T ատամիկը՝ ST-T կոմպլեքսը [1, 4]: Այդ պատճառով իշեմիկ հիվանդությունների ախտորոշման համար մշակվում են ST-T կոմպլեքսի պարամետրերը: Կրծքային վեց արտածումներից ամեն մեկի համար ST-T կոմպլեքսի հաշվարկների արդյունքները տարբեր են ստացվում, քանի որ այդ արտածումները կատարվում են սրտի տարբեր

հատվածներից տարբեր հեռավորությունների վրա: Իշեմիկ հիվանդների մոտ, բացի ST-T կոմպլեքսից, շատ կարևոր են նաև Q ատամիկի դիտարկումները, քանի որ սրտի կաթվածի պատճառով առաջացող սրտամկանների խորը վնասվածքների հետևանքով այս ատամիկը զգալիորեն փոխում է իր չափսերը: Վառ արտահայտվելով սրտի կաթված տարած մարդկանց մոտ, այն գրեթե չի արտահայտվում առողջ մարդկանց էլեկտրասրտագրերում:

Ակնհայտ է, որ իշեմիկ հիվանդությունների ժամանակ փոփոխվում է ոչ միայն էՍԳ-ի T ատամիկի տարածվածությունը և ամպլիտուդը, այլև դրա ձևը, որի հետևանքով էլ փոխվում է այդ ատամիկի մակերեսը [5]: Նկ. 1-ում պատկերված 2 կորերի տևողությունները հավասար են, իսկ ամպլիտուդները շատ քիչ են տարբերվում՝ dH: Այս նկարից պարզ է դառնում, թե որքանով է ավելի մեծ այդ կորերի մակերեսների տարբերությունը՝ համեմատած դրանց ամպլիտուդների տարբերության հետ:



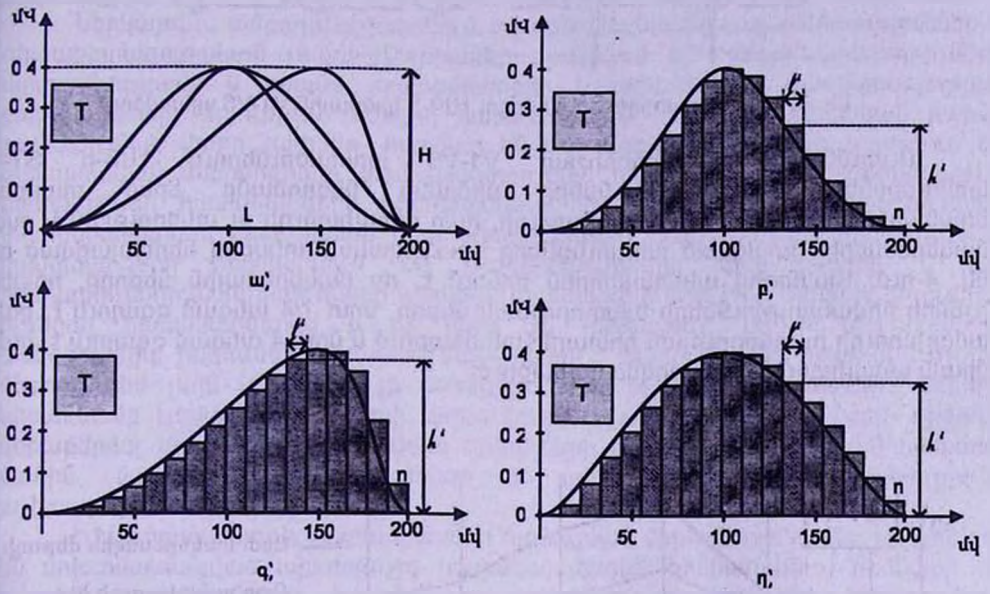
Նկ. 1. Երկու՝ միևնույն տևողությամբ և շատ մոտ ամպլիտուդներով կորերի մակերեսների տարբերությունը

Վերոնշյալից բացի, լինում են դեպքեր, երբ էՍԳ-ներում T ատամիկների ամպլիտուդը և տևողությունը չեն փոփոխվում. փոխվում են միայն դրանց ձևերը: Այդ պատճառով նպատակահարմար է կիրառել մակերեսային մեթոդը, որի առավելությունը հենց այն է, որ հաշվարկվում են ատամիկի ճշգրիտ մակերեսը և ձևը՝ վերջինիս մակերեսի քվանտացման և հետագա ինտեգրման ճանապարհով: Այս մեթոդով կարելի է տալ կենսաէլեկտրական երևույթների քանակական գնահատական՝ հաշվի առնելով էՍԳ-ի ատամիկների տևողությունը, առավելագույն ամպլիտուդը և ձևը, ինչն էլ բարձրացնում է էՍԳ-ի տեղեկատվության քանակն ու որակը: Նկ. 2-ում բերված են տարբեր ձևեր ունեցող T ատամիկներ, որոնց ամպլիտուդները և տևողությունները տարբեր են, ինչպես նաև դրանց մակերեսների հաշվարկման մեթոդի էությունը:

էՍԳ ատամիկների և, մասնավորապես, T ատամիկի մակերեսի հաշվարկը կատարվում է ըստ

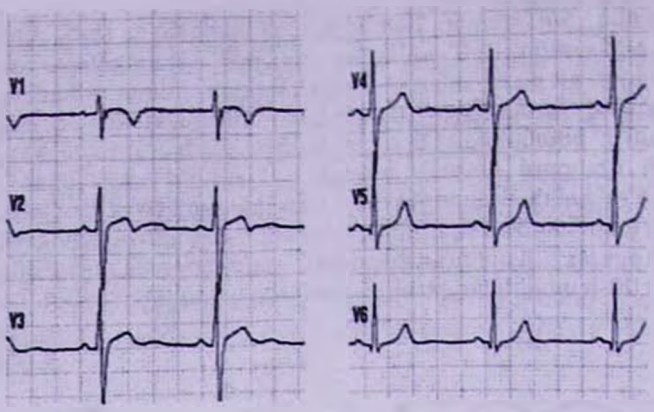
$$S = \sum_{i=1}^{n} (i^1 h^1) \qquad (1)$$

բանաձևի, որտեղ S-ը տվյալ ատամիկի մակերեսն է, l^L-ն՝ ատամիկի տվյալ հատվածի տևողությունը, k^l-ն՝ ամպլիտուդը, իսկ n-ը՝ քվանտացման աստիճանը, որը ցույց է տալիս, թե քանի անգամ է քվանտացվել տվյալ ատամիկը: Հարկ է նշել, որ այս մեթոդով ատամիկի մակերեսի հաշվարկման ճշտությունը ուղիղ համեմատական է քվանտացման աստիճանին, սակայն շատ մեծ քվանտացման աստիճանների դեպքում կտրուկ աճում է մշակվող տվյալների քանակը, ինչը դանդաղեցնում է մշակման գործընթացը: Մեր խնդրում ST-T համակարգի մակերեսի քվանտացման աստիճանն ընդունվել է՝ n=256: Այս թիվն ապահովում է համակարգի արագագործությունը և խորհուրդ է տրվում որպես օպտիմալ արժեք, որի դեպքում թվայնացված ԷՍԳ-ի տեղեկատվության քանակը և որակը գրեթե չեն նվազում [6]:



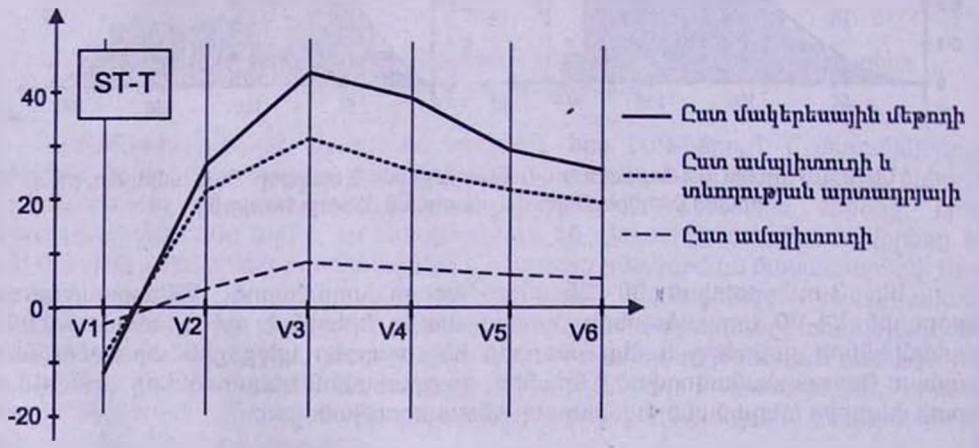
Նկ. 2. ա) Միևնույն ամպլիտուդով և տևողությամբ 3 տարբեր T ատամիկներ, բ), գ), դ) դրանց մակերեսների հաշվարկման մեթոդի էությունը

Նկ. 3-ում բերված են 25-ամյա առողջ տղամարդու էլեկտրասրտագրի կրծքային V1-V6 արտածումները, որտեղ պարզ երևում է, որ գրանցված ԷՍԳ-ի ատամիկների չափսերը և ձևը տարբեր են՝ տարբեր կրծքային արտածումների համար: Դա պայմանավորված է նրանով, որ գրանցման էլեկտրոդները գտնվում են սրտի տարբեր տեղամասերից տարբեր հեռավորության վրա:



Նկ. 3. 25-ամյա առողջ տղամարդու ԷՍԳ-ի կրծքային V1-V6 արտածումները

Ուսումնասիրենք վերոհիշյալ V1-V6 արտածումներում ԷՍԳ-ի ST-T կոմպլեքսների փոփոխությունները միմյանց նկատմամբ երեք տարբեր եղանակներով, այն է՝ ըստ ամպլիտուդի, ըստ ամպլիտուդի ու տևողության և ըստ մակերեսների: Ստացված արդյունքները գրաֆիկական տեսքով ներկայացված են նկ. 4-ում: Այստեղից ակնհայտորեն երևում է, որ մակերեսային մեթոդը, որպես իշեմիկ հիվանդությունների ախտորոշման մեթոդ, մոտ 1/4 անգամ զգայուն է, քան ամպլիտուդի ու տևողության դիտարկման դեպքում և մոտ 4 անգամ զգայուն է, քան միայն ամպլիտուդի դիտարկման դեպքում:



Նկ. 4. ST-T համակարգի՝ տարբեր եղանակներով կատարված չափումները

Ստացված արդյունքները բավարար հիմք են իշեմիկ հիվանդությունների ախտորոշման և գնահատման մակերեսային մեթոդի կիրառման համար:

Հարկ է նշել, որ տարբեր սրտային հիվանդների ԷՍԳ-ների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ ոչ սուր արտահայտված անոթային անբավարարվածության ժամանակ ST-T կոմպլեքսի մակերեսը կրում է մինչև 88%

փոփոխություն, միջին արտահայտված անոթային անբավարարվածության ժամանակ մոտ՝ 260%, իսկ սուր արտահայտված անոթային անբավարարվածության ժամանակ՝ մինչև 590%:

Հայտնի է նաև, որ որքան անընդհատ հսկում կատարող էլեկտրոդը մոտ տեղադրված լինի սրտի վնասվածքի օջախին, այնքան ավելի հստակ և ուժեղ կգրանցվեն ԷՍԳ-ի այն տվյալները, որոնք արտահայտում են սրտի վնասվածքները [7]: Օգտվելով այս փաստից՝ հնարավոր է որոշել վնասվածքի օջախի ֆիզիկական դիրքը սրտի մակերևույթի վրա՝ ժամանակի նույն պահին ստանալով կրծքային արտածումների էլեկտրասրտագրերը կրծքավանդակի տարբեր կետերից: Որքան կրծքային գոտու վրա շատ լինեն միաժամանակյա գրանցման կետերը (էլեկտրոդները), այնքան ավելի հստակ և ճշգրիտ կստացվի սրտի վնասվածքների քարտեզը [8]:

Ներկայումս ամբողջ աշխարհում տարբեր հանրաճանաչ ընկերություններ և գիտահետազոտական լաբորատորիաներ զբաղվում են էլեկտրասրտագրիչների արտադրությամբ և դրանց պարամետրերի և տրամադրող տեղեկատվության բարելավմամբ: Գոյություն ունեցող համակարգերն ունեն տեխնիկական բարձր չափանիշներ, փոքր չափսեր, հարմար են օգտագործման համար և լուծում են անհատական մոնիթորինգի կամ ախտորոշման խնդիրներ [1, 9]: Անհատական մոնիթորինգի համակարգերը հիմնականում հիմնված են առիթմիայի տիպերի տարբերակման և դրա հիման վրա ահազանգման վրա: Մինչդեռ ախտորոշման համակարգերը հաշվարկում են էլեկտրասրտագրի ատամիկների և այլ բաղադրիչների ամպլիտուդների և տևողության արժեքները [10]: Սակայն գոյություն ունեցող համակարգերից և ոչ մեկը չի կատարում ԷՍԳ-ի ատամիկների մակերեսային չափումներ իրական ժամանակում, քանի որ վերլուծության նշված մեթոդը դեռ լայն կիրառում չի ստացել [1, 4, 5, 11]: Մակերեսային մեթոդի կիրառմամբ էլեկտրասրտագրերի վերլուծության կարևորության և սրտի վիճակի վերաբերյալ այդ մեթոդով ստացվող տվյալների բարձր հուսալիության և որակի մասին մանրամասն նկարագրված է ակադեմիկոս Ռ. Ստամբոլցյանի աշխատություններում [5]:

Էլեկտրասրտագրի պարամետրերի ճանաչման մեթոդները, որոնք կիրառվում են ավտոմատացված ախտորոշիչ համակարգերում, հիմնականում հիմնված են թվային ազդանշանների մշակման ալգորիթմների, կուտակված գիտելիքների համակարգերի կամ արհեստական նեյրոնային ցանցերի վրա:

Թվային ազդանշանների մշակման մեթոդներով աշխատող համակարգերը որոշում են ԷՍԳ-ի պարամետրերը ըստ ժամանակի, փոխակերպում են դրանք պարամետրական մոդելների կամ իմպուլս-ալիքային վերլուծության օգնությամբ, որոշում դրանց հիմնական բաղադրիչները, և վերլուծում են վերջիններս ոչ գծային մեթոդների կամ փորձարարական եղանակների օգնությամբ [12]:

Կուտակված գիտելիքների հիման վրա աշխատող համակարգերում ազդանշանների պարամետրերի ճանաչման գործընթացը հիմնվում է նախապես նկարագրված օրինաչափությունների վրա: ԷՍԳ-ի բնութագրերը որոշվում են *(C + x)*-ի նման օրինաչափությունների կիրառման եղանակով, որտեղ *C*-ն որոշում է ԷՍԳ-ի ազդանշանի վրա տվյալ օրինաչափության կիրառման կետը (օրինակ QRS համակարգի վերջը), իսկ *x*-ը այդ կետից շեղումն է միլիվայրկյաններով (*մվ*) [13]: Հարկ է նշել, որ այսպիսի օրինաչափությունները հիմնված են փորձի վրա և որոշվում են բժշկական գիտելիքների մշակման կամ վիճակագրական անալիզի օգնությամբ: Կուտակված գիտելիքների հիման վրա աշխատանքի մեկ այլ մեթոդ է ձևանմուշների կիրառումը, երբ ստացված ԷՍԳ ազդանշանները համեմատվում են

համակարգի հիշողության մեջ նախապես մուտքագրված ճևանմուշային ԷՍԳ-ների հետ [13]: Կախված այն բանից, թե ԷՍԳ-ների որ պարամետրերի համեմատություն է կատարվում, կարող են ի հայտ գալ տարբեր բնութագրեր:

Արհեստական նեյրոնային ցանցերն ունեն կիրառման երկու տարբերակ: Առաջին տարբերակում նեյրոնային ցանցերը «վարժեցվում» են՝ ճանաչելու որոշակի ԷՍԳ պարամետրեր՝ օգտվելով նախապես տրված նմուշային պարամետրերից [14], իսկ երկրորդ տարբերակում դրանք «վարժեցվում» են՝ աշխատելու որպես թվային ֆիլտրեր, որոնք ուժեղացնում կամ ճնշում են այս կամ այն ԷՍԳ պարամետրերը: Երկու տարբերակներում էլ արդյունավետ աշխատանքի համար պահանջվում է արհեստական նեյրոնային ցանցերի լավ «վարժեցում»:

Ավտոմատացված ախտորոշիչ համակարգերի արդյունավետությունը գնահատելու համար նախագծվել են ստանդարտ տվյալների բազաներ, որոնցից են՝ կարդիոլոգիայի եվրոպական միության ST-T տվյալների բազան (European Society of Cardiology ST-T database), առիթմիայի տեսակների դասակարգման MIT-BIH տվյալների բազան, CSE նախագծի խրոնիկական փոփոխությունների տվյալների բազան և այլն [15]: Աղյուսակ 1-ում ներկայացված են տարբեր ավտոմատացված ախտորոշիչ համակարգերի արդյունավետությունը տարբեր հիվանդությունների ախտորոշման ժամանակ [16, 17]:

Աղյուսակ

Ավտոմատացված ախտաբանական համակարգերի արդյունավետությունը

Իշեմիկ հիվանդություններ	**Զգայունություն**	**Դրական կանխագուշակման ճշտություն՝ *K***
Թվային ազդանշանների մշակում	85%	86%
Կուտակված գիտելիքներ	94%	79%
Արհեստական նեյրոնային ցանցեր	90%	89%
Առիթմիայի տեսակների դասակարգում	**Զգայունություն**	**Դրական կանխագուշակման ճշտություն՝ *K***
Թվային ազդանշանների մշակում	89%	89%
Կուտակված գիտելիքներ	90%	93%
Արհեստական նեյրոնային ցանցեր	83%	78%

Այստեղ դրական կանխագուշակման *K* ճշտությունը հաշվարկվում է որպես

$$K = P/(P + F), \qquad (2)$$

որտեղ P -ն ճիշտ կատարված դրական կանխագուշակումների թիվն է, իսկ F-ը՝ սխալ կատարված կանխագուշակումների թիվը:

Ինչպես երևում է աղյուսակից, սրտի իշեմիկ հիվանդությունների ախտորոշման մեջ առավել զգայուն են կուտակված գիտելիքների հիման վրա աշխատող համակարգերը:

Այսպիսով, խնդիր է դրվել մշակել համակարգ, որը հնարավորություն կտա ընդունել երեսուն կրծքային արտածումներից ստացված թվային ազդանշանները, կատարել դրանց ST-T կոմպլեքսների պարամետրերի և Q ատամիկների վերլուծությունը մակերեսային մեթոդով և ստացված արդյունքների հիման վրա կառուցել սրտի վնասվածքների օջախների խորությունը և տարածվածությունը քանակապես նկարագրող գունային քարտեզներ: Համակարգի ավտոմատացված ախտորոշումը հիմնված կլինի կուտակված գիտելիքների տվյալների բազայի վրա:

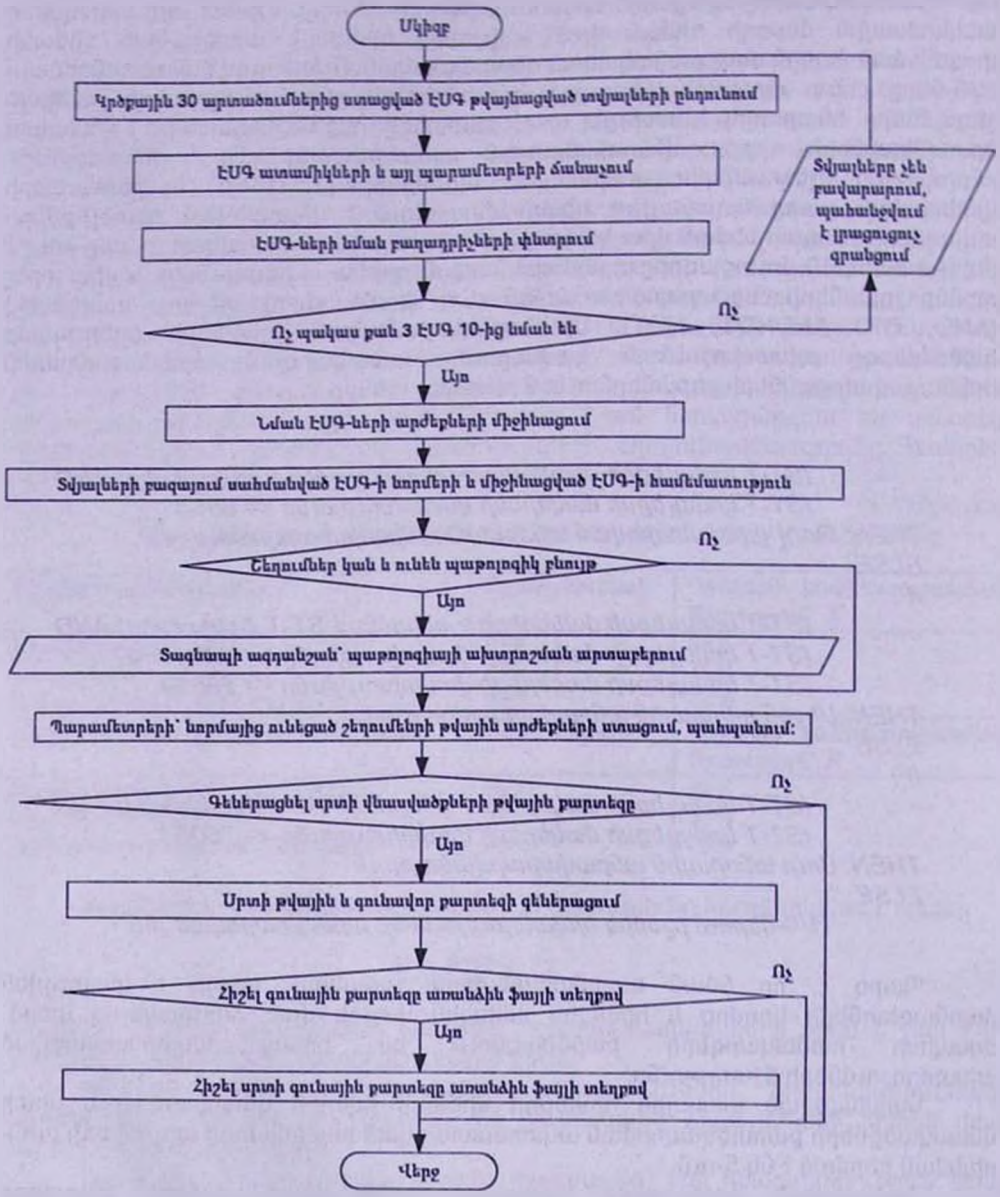
Արդյունքում մշակված համակարգը թույլ է տալիս միաժամանակ գրանցել և պահպանել ԷՍԳ-ները կրծքային երեսուն արտածումներից, մշակել այդ տվյալները մակերեսային մեթոդի հիման վրա և իշեմիկ հիվանդի առողջական վիճակի փոփոխման մասին տալ քանակական գնահատական: Ունենալով մարդու «նորմալ» ԷՍԳ-ները բոլոր արտածումներում և գնահատելով «նորմա»-ից տեղի ունեցած շեղումները՝ հնարավոր է կառուցել սրտի քարտեզը, որը ներկայացնում է վնասված սրտամկանների դիրքը, վնասվածության տարածվածությունը և խորությունը՝ «նորմա»-ից շեղումների տոկոսային արժեքներով: ԷՍԳ-ի պարամետրերի փոփոխման չափը ստանալուց հետո կիրառվում է կուտակված գետելիքների տվյալների բազայի հիման վրա կառուցված ախտորոշման համակարգը, որը թույլ է տալիս մարդուն մուտքագրել տրամաբանական օրինաչափություններ և միավորել դրանք շղթաների մեջ տրամաբանական «և», «կամ», «և ոչ» ու «ոչ» տարրերով (AND, OR, ANDNOT, NOT): Այս տրամաբանական շղթաների օգնությամբ համակարգը ախտորոշում է կատարում: Համակարգում տրամաբանական օրինաչափությունների շղթաներն ունեն հետևյալ տեսքը.

IF:
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսը > «նորմալ» ST-T մակերեսից) AND
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսի փոփոխությունը <= 88%)
THEN: Թույլ արտահայտված անոթային անբավարարվածություն
ELSE
IF:
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսը > «նորմալ» ST-T մակերեսից) AND
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսի փոփոխությունը >= 88%) AND
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսի փոփոխությունը <= 260%)
THEN: Միջին անոթային անբավարարվածություն
ELSE
IF:
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսը > «նորմալ» ST-T մակերեսից) AND
(ST-T կոմպլեքսի մակերեսի փոփոխությունը >= 260%)
THEN: Սուր անոթային անբավարարվածություն
ELSE:
ԷՍԳ-ներում իշեմիկ հիվանդություններ արտահայտված չեն:

Պարզ է, որ նման տրամաբանական շղթաները պետք է կառուցվեն մասնագետների կողմից և հիմնվեն նախկին փորձի վրա: Կուտակելով փորձ՝ այսպիսի համակարգերը բարձրացնում են իրենց ավտոմատացված ախտորոշումների ճշտությունը:

Նախագծված սրտային հիվանդի վիճակի թվային գնահատման և սրտի վնասվածքների քարտեզավորման ավտոմատացված համակարգի ալգորիթմի բլոկ-սխեման բերված է նկ.5-ում:

Համակարգի օգնությամբ ստացված սրտի վնասվածքների քարտեզը հնարավորություն կտա ավելի ճշգրիտ որոշել V1-V6 արտածումների դիրքը կրծքավանդակի վրա՝ անընդհատ և երկարաժամկետ մոնիթորինգի համար, ինչպես նաև կներկայացնի վնասվածքների փոփոխության դինամիկան թվային արժեքներով, ինչը կարող է օգտակար լինել սրտային հիվանդների բուժման օպտիմալ մեթոդ ընտրելու գործում:



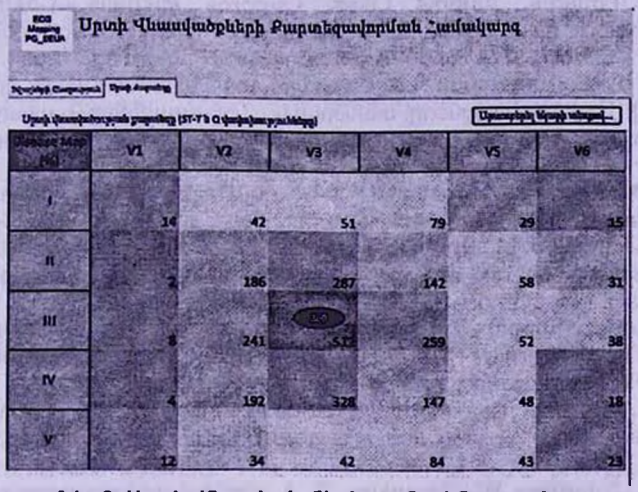
Նկ.5. Սրտային հիվանդի վիճակի թվային գնահատման և սրտի վնասվածքների քարտեզավորման ավտոմատացված համակարգի ալգորիթմի բլոկ սխեման

Համակարգի լիարժեք աշխատանքն ապահովելու համար մշակվել են՝

1. Հատուկ կրծքային գոտի, որը բաղկացած է միանման հինգ շարք կրքային վեց արտածումները գրանցող էլեկտրոդներից՝ ապահովելով միաժամանակ գրանցում կրծքավանդակի 30 կետերից՝ սրտի քարտեզավորում կատարելու համար [8]:
2. Կրծքային արտածումների գրանցումներն անընդմեջ և տևականորեն իրականացնելու համար՝ նոր կրծքային էլեկտրոդներ [8]:

Ծրագրային համակարգ, որն ապահովում է ինֆորմացիայի պահպանումը, մշակումը, վերլուծական հաշվարկները և սրտի գունային քարտեզի կառուցումը:

Համակարգի միջոցով սրտի քարտեզավորման արդյունքում ստացված պատկերը բերված է նկ. 6-ում:



Նկ. 6. Սրտի վնասվածքների գունային քարտեզը

Քարտեզի վրա տարբեր գույների օգնությամբ առանձնացվել են այն արտածումները, որոնցում առկա են ST-T կոմպլեքսի մակերեսների շեղումները: Առավելագույն շեղումները, որոնք ունեն պաթոլոգիկ բնույթ, արտահայտվում են մուգ կարմիր գույնով, մինչդեռ այն գոտիները, որտեղ շեղումները «նորմալ» ST-T կոմպլեքսի մակերեսից չնչին են, արտահայտվում են կանաչով: Ամեն արտածման գոտու աջ ստորին անկյունում բերվում է «նորմա»-յից շեղումների չափը՝ արտահայտված տոկոսներով: Եթե առկա են Q ատամիկի՝ «նորմա»-յից մեծ շեղումներ, դրանք արտահայտվում են սև կետերի ձևով այն արտածման գոտում, որտեղ գրանցվել են: Q ատամիկի շեղման չափը, արտահայտված տոկոսներով, նույնպես բերվում է սև կետի կենտրոնում: Օրինակ՝ նկ. 6-ում բերված սրտի քարտեզում առկա է Q ատամիկի շեղում «նորմա»-յից 300%-ի չափով, երրորդ մակարդակի V3 արտածման գոտում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Khandpur R.S.** Biomedical Instrumentation: Technology and Application // McGraw-Hill Professional; 1 edition. – 2004. – P. 130-132, 154-166.
2. **Ситилев С.Б., Савенков М.П.** Диагностическое значение интегрального определения ишемии миокарда у больных ИБС при мониторно-компьютерном анализе ЭКГ во время пробы на тредмиле//Кардиология. – 1992. – 22, № 9. – С. 80-84.
3. **Ohlsson M., Ohlin H., Wallerstedt S.** et al. Usefulness of serial electrocardiograms for diagnosis of acute myocardial infarction // Am J Cardiol. – 2001. – P. 88, 478-481.
4. **Sornmo L., Laguna P.** Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications // Elsevier/Academic Press. - Amsterdam, The Netherlands, 2005.
5. **Стамболцян Р.П., Михаелянц Л.М.** Планиметрический метод количественного анализа ЭКГ: Монография. – Ереван: Айастан. – 1981. – С. 25-36.
6. **Mainardi L.T., Bianchi A.M., Cerutti S.** Digital Biomedical Signal Acquisition and Processing // The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition / Ed. Joseph D. Bronzino Boca Raton: CRC Press LLC. – 2000. – P. 978-991.
7. **Dimitris I. Fotiadis, Asitidis Likas, Lampros Michalis, Costas Papaloukas.** Electrocardiogram (ECG): Automated Diagnosis // Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering – 6, Vol. Set. A John Wiley & Sons, Inc., Publication. – 2006. – P. 1267-1278.
8. **Մուրադյան Մ. Ա., Ղազարյան Պ.Ռ.** Սրտի կրծքային արտածումների գրանցման համար գոտու և տվիչների պահանջները, տեխնիկական բնութագրերը, և առաջադրված մոդելի առավելությունները // ՀՊ�ճՀ տարեկան գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2008:
9. **Gorman P.A., Evans J.M.** Computer Analysis of the Electrocardiogram. Evolution of the Experience in a Hospital Heart Station // Amer. Heart. J. – 1970. – P. 515-521.
10. **Hsia P. W., Jenkins J. M., Shimoni Y., Gage K. P., Santinga J. T., Pitt B.** An automated system for ST segment and arrhythmia analysis in exercise radionuclide ventriculography // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1986. – P. 585–593.
11. **David Prutchi, Michael Norris.** Design and Development of Medical Electronic Instrumentation. A Practical Perspective of the Design, Construction, and Test of Medical Devices // Wiley-Interscience; 1 Edition. – 2004. – P. 369-440.
12. **Martinez J., Almeida R., Olmos S., Rocha A., Laguna P.** A wavelet-based ECG delineator: evaluation on standard databases // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 2004. – P. 570–581.
13. **Weisner S., Tompkins W., Tompkins B.** A compact, microprocessor-based ECG ST-segment monitor for the operating room // IEEE Trans. Biomed. – 1982. – P. 642–649.
14. **Suzuki Y., Ono K.** Personal computer system for ECG ST segment recognition based on neural networks // Med. Biol. Eng. Com. – 1992. – P. 2–8.
15. European Society of Cardiology, European ST-T Database Directory. Italy: S.T.A.R., 1991.
16. **Papaloukas C., Fotiadis D. I., Likas A., Liavas A. P., Michalis L.K.** A knowledge-based technique for automated detection of ischemic episodes in long duration electrocardiograms // Med. Biol. Eng. Comput. – 2001. – P. 105–112.
17. **Tsipouras M., Fotiadis D.** Automatic arrhythmia detection based on time and time-frequency analysis of heart rate variability // Comp. Meth. Prog. Biomed. – 2004. – P. 95–108.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.09.2008:

П.Р. КАЗАРЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КАРДИОБОЛЬНОГО

Изложены современные методы распознавания информативных параметров электрокардиограмм. Показаны преимущества и способы вычисления планиметрического метода анализа ЭКГ. Представлена разработанная автоматизированная система картирования поражений сердца на базе 30-и грудных отведений и цифровой оценки состояния кардиобольного на базе планиметрического метода и метода автоматизированной диагностики, основанного на системе баз знаний.

Ключевые слова: электрокардиограмма, планиметрический метод, картирование поражений сердца, автоматизированная система цифровой оценки.

P.R. GHAZARYAN

AUTOMATED SYSTEM FOR DIGITAL ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR PATIENTS' CONDITIONS

The modern methods of recognizing the informative parameters of electrocardiograms are outlined. The advantages of ECG analysis by planimetric approach and its calculation techniques are presented. A newly developed automated system for heart disease mapping based on 30 thoracic leads and for digital assessment of cardiovascular patient's health conditions which is based on planimetric method of ECG analysis and knowledge-based automated ECG diagnosis is presented.

Keywords: electrocardiogram, planimetric method, heart disease mapping, automated system for digital assessment.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄՈՒՍԱՅԵԼՅԱՆ Գ.Վ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Է.Ժ.
ՄԱՐԴԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄՈԲԻԼԻ ԿԱԽՈՑՔԻ ՏԱՏԱՆՈՂԱԿԱՆ ՇԱՐԺՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ **497**

ՄՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՉԱՔԱՐՅԱՆ Ա.Հ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա.
ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՁՈՒԼՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՈՐ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ **504**

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ԱՅՎԱՉՅԱՆ Ա.Ա., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Ն.Ն., ՍԱՍՈՒՆՑՅԱՆ Մ.Է.
ՔԼՈՐԻԴՆԵՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՄԲ ՔՐՈՄԻՏՆԵՐԻ ԹՐԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՕՐԻՆԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ **511**

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Ա.Ս.
ԿԱԾՎԻ ՍՊԱՌՈՂԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ ՃԱՌԱԳԱՅԹԵԼՈՎ-ՊԱՏՎԱՍՏԵԼՈՒ ՎԵՐԱՓՈԽՄԱՆ ՀԻՄՔՈՎ **518**

ՍԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ՄԻՆԱՍՅԱՆ Ա.Գ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Մ.
ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՈՒՂՂԱԿԻ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱՆ, ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԵՎ ՌԵՆԻՈՒՄԻ ԵՐԿՍՈՒԼՖԻԴՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱ-ՀԻԴՐՈՕՔՍԻԴԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ **523**

ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ա.Ա., ՄՄՐՈՒԽՅԱՆ Ռ.Զ.
ԱՇԽԱՏԱԾ ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ՎԱՌԵԼԻՔԻ ԵՎ ՌԱԴԻՈԱԿՏԻՎ ԹԱՓՈՆՆԵՐԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ, ՎԵՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ԵՎ ԹԱՂՄԱՆ ՀԵՏ ԿԱՊՎԱԾ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐ **532**

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս.
ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՍՏԻ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆ Y ՏԵՍՔՈՎ՝ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՏՈՐՆԵՐԻ ՏՐԱՆՍՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՀԱՄԱԼԻՐ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ **548**

ԲԱՂԱՍՍԱՐՅԱՆ Մ.Ք., ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Ս.Մ., ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ա.Մ.
ՆԵՐԱՂԱՑԱՅԻՆ ԲԵՌԻ ԲՆՈՒՅԹԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՎՐԱ **558**

ԴԱՎԻԹՅԱՆ Ա.Ռ.
ՓԱԹԵԹԱՅԻՆ ՎԵՅՎԼԵՏ-ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԵՎ ՆՈՒՅՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ **565**

ՍԻՄՈՆՅԱՆ Ռ.Հ., ԴՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ., ՍԵՎՈՅԱՆ Օ.Ժ., ՎԵՂԻՐՅԱՆ Է.Գ., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Օ.Ա.
ԵՐԿԲԱՂԱԴՐԻՉ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԿԱԶՄԸ ՈՐՈՇՈՂ ՍԱՐՔ **572**

ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Վ.Հ., ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ Մ.Վ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Ա., ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ Ս.Գ.
ԱԿՏԻՎ ՓՈՒԼԱՎՈՐՎԱԾ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՄՈԴՈՒԼՆԵՐԻ ԹԵՍԹԱՎՈՐՈՒՄԸ Հաղորդում 2. Փորձ **577**

ՍԻՄՈՆՅԱՆ Ս.Հ., ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ա.Գ., ՍԻՄՈՆՅԱՆ Ա.Ս.
ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ (II) **584**

ՍՈՂՈՄՈՆՅԱՆ Կ.Ա., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Վ.Վ., ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ Կ.Ա., ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ Դ.Ն.
ՀԱՐԹ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ԱՖԻՆԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ AutoCAD-Ի ՄԻՋՈՑՆԵՐՈՎ **592**

ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ Կ.Վ., ԻԳԻԹՅԱՆ Դ.Դ.
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ԱՆՀԱՅՏ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ ԾՆՄԱՆ ԵՎ ՎԱԽՃԱՆՄԱՆ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐՈՒՄ .. **597**

ՂԱՋԱՐՅԱՆ Պ.Ռ.
ՍՐՏԱՅԻՆ ՀԻՎԱՆԴԻ ՎԻՃԱԿԻ ԹՎԱՅԻՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳ **603**

СОДЕРЖАНИЕ

МУСАЕЛЯН Г.В., АРУТЮНЯН Э.Ж.
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ **497**

АГБАЛЯН С.Г., ЗАКАРЯН А.А., ПЕТРОСЯН А.А.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВОВ **504**

МАРТИРОСЯН В.А., АЙВАЗЯН А.А., АКОПЯН Н.Н., САСУНЦЯН М.Э.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЖИГА ХРОМИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ **511**

КАРАПЕТЯН А.С.
УПРАВЛЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ КОЖ НА ОСНОВЕ РАДИАЦИОННО-ПРИВИВОЧНОЙ МОДИФИКАЦИИ **518**

САРГСЯН Л.Е., МИНАСЯН А.Г., ОГАНЕСЯН А.М.
КИНЕТИКА ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА. МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОГИДРОХЛОРИРОВАНИЯ ДИСУЛЬФИДОВ МОЛИБДЕНА И РЕНИЯ **523**

ГЕВОРКЯН А.А., МАРУХЯН В.З.
ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА И РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ **532**

ХАЧАТРЯН В.С.
ФУНКЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В Y-ФОРМЕ С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ **548**

БАГДАСАРЯН М.К., ОВСЕПЯН С.М., АВЕТИСЯН А.М.
ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИКУ ПРИВОДА РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ **558**

ДАВИДЯН А.Р.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТА **565**

СИМОНЯН Р.А., ГУЛЯН А.Г., СЕВОЯН О.Ж., ВЕЗИРЯН Э.Г., МАРТИРОСЯН О.А.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА БИНАРНЫХ ЖИДКОСТЕЙ **572**

АВЕТИСЯН В.Г., МАРКОСЯН М.В., ОГАНЕСЯН А.А., ЭЙРАМДЖЯН С.Г.
ТЕСТИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ. Сообщение 2. Эксперимент **577**

СИМОНЯН С.О., АВЕТИСЯН А.Г., СИМОНЯН А.С.
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ (II) **584**

СОГОМОНЯН К.А., ГЕВОРГЯН В.В., ТУМАНЯН К.А., МОВСИСЯН Д.Н.
АФФИННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ AutoCAD **592**

ГАСПАРЯН К.В., ИГИТЯН Г.О.
СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИБЕЛИ И РАЗМНОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ **597**

КАЗАРЯН П.Р.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КАРДИОБОЛЬНОГО **603**

CONTENTS

MUSAYELYAN G.V., HARUTUNYAN E.J.
INVESTIGATION OF THE PASSENGER CAR SUSPENSION OSCILLATION BY THE FINITE-ELEMENT METHOD **497**

AGHBALYAN S.G., ZAKARYAN A.H., PETROSYAN A.A.
MOULDING TECHNOLOGY WORKING OUT AND STRUCTURE FORMATION OF PROPERTIES AND ALUMINIUM ANTIFRICTIONAL ALLOYS **504**

MARTIROSYAN V.H., AYVAZYAN A.A., HAKOBYAN N.N., SASUNTSYAN M.E.
REGULARITIES OF CHROMITE KILNING PROCESS IN PRESENCE OF THE CHLORINATION AGENTS **511**

KARAPETYAN A.S.
MANAGING CONSUMER ATTRIBUTES OF LEATHER BASED ON OF RADIATION MODIFICATION **518**

SARGSYAN L.YE., MINASYAN A.G., HOVHANNISYAN A.M.
KINETICS OF DIRECT ELECTROCHEMICAL LEACHING OF MOLYBDENITE CONCENTRATE, MECHANISM OF ELECTRO-HYDROOXIDATION OF MOLYBDENUM AND RHENIUM DISULPHIDES **523**

GEVORGYAN A.A., MARUKHYAN V.Z.
PROBLEMS RELATED TO THE STORAGE, PROCESSING AND DISPOSAL OF SPENT NUCLEAR FUEL AND RADIOACTIVE WASTE **532**

KHACHATRYAN V.S.
ACTIVE POWER LOSS FUNCTION IN Y-FORM WITH COMPLEX COEFFICIENTS OF TRANSFORMER TRANSFORMATION **548**

BAGHDASARYAN M.K., HOVSEPYAN S.M., AVETISYAN A.M.
INFLUENCE OF INTRAMILL LOADING CHARACTER ON DRIVE DYNAMICS OF ORE GRINDING MILL **558**

DAVITYAN A.R.
EFFICIENCY OF PACKAGE-WAVELET TRANSFORM APPLICATION FOR DETECTION AND IDENTIFICATION OF TARGET OBJECTS **565**

SIMONYAN R.H., GULYAN A.G., SEVOYAN O.Z., VEZIRYAN E.G., MARTIROSYAN O.A.
DEVICE DETERMINING THE STRUCTURE OF BINARY LIQUIDS **572**

AVETISYAN V.H., MARKOSYAN M.V., HOVHANNISYAN A.A., EYRAMJYAN S.G.
ACTIVE PHASED ARRAY MODULE TESTING
Report 2. Experiment **577**

SIMONYAN S.H., AVETISYAN A.G., SIMONYAN A.S.
METHOD OF PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRIX DETERMINATION (II) **584**

SOGHOMONYAN K.A., GEVORGYAN V.V., TOUMANYAN K.A., MOVSISYAN D.N.
FLAT OBJECTS AFINMODELLING CONSTRUCTION WITHIN THE FRAME OF AUTOCAD **592**

GASPARYAN K.V., IGITYAN H.H.
STATISTICAL MODEL OF THE BIRTH-DEATH PROCESS FOR AUTOMATIZATION OF EXPERIMENTS **597**

GHAZARYAN P.R.
AUTOMATED SYSTEM FOR DIGITAL ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR PATIENTS' CONDITIONS **603**