

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2013

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԲԱՐՁՐԱՄՈՒՐ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և պղնձյա թելքերով ամրանավորված պղնձի հիմքով բարձրամուր և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմակայունությամբ օժտված փոշեկոմպոզիցիոն նյութի ստացման տեխնոլոգիա, որն ընդգրկում է բովախառնուրդի պատրաստում, մամլում, տաքացում (եռակալում), տաք արտամղում և ջերմային մշակում:

Առանցքային բառեր. պղինձ, քրոմ, ցիրկոնիում, մետաղափոշի, մամլում, եռակալում, տաք արտամղում, թրծում, մխում, կոփում, ծերացում:

Հայաստանի Հանրապետության զարգացման սոցիալական և տնտեսական ծրագրերում մեծ տեղ է հատկացված մետալուրգիային, առանց որի անհնար է պատկերացնել մեքենաշինության, սարքաշինության, էլեկտրատեխնիկական արդյունաբերության, ռադիոտեխնիկայի, հեռուստատեխնիկայի, ինչպես նաև ռազմական արդյունաբերության հետագա զարգացումը: Ընդ որում, տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց, ավելի կարևորվում են հատկապես բարձրամուր և ֆունկցիոնալ նշանակությամբ կոմպոզիցիոն նյութերը (ԿՆ): Այս տեսակետից մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում մետաղական հիմքով կոմպոզիցիոն նյութերը, ինչպիսիք են դիսպերս մասնիկներով կարծրացող, դիսպերս հատիկներով ամրացվող և մետաղական թելքերով ամրանավորված փոշեհամաձուլվածքները, որոնց պահանջարկը շատ մեծ է ժամանակակից տեխնիկայում: Այսպիսի նյութերը պետք է ունենան անձակոտկեն կառուցվածք, որը գործնականում հնարավոր է ապահովել միայն տաք արտամղման միջոցով: Սակայն մինչև այժմ լիովին ուսումնասիրված չեն դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և միաժամանակ ամրանավորված բարձրամուր կոմպոզիցիոն նյութերի տաք արտամղմամբ ստացման գործընթացի տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Եվ քանի որ փոշեմետալուրգիան խիստ հեռանկարային է Հայաստանի Հանրապետության համար, որն ունի մետաղական հումքի, հատկապես պղնձի, մոլիբդենի, երկաթի և ալյնի մեծ պաշարներ, հետևապես՝ առաջարկվող աշխատանքը նույնպես հեռանկարային է, շահավետ և տարբերվում է ավանդական եղանակներից:

Աշխատանքի նպատակը բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված, դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և պղնձյա թելքերով ամրանավորված, պղնձի հիմքով բարձրամուր կոմպոզիցիոն նյութի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը և դրա կառուցվածքի և հատկությունների ձևավորման

գործընթացի հետազոտումն է՝ մշակված փոշեհամաձուլվածքից կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներ պատրաստելու նպատակով:

Վերլուծության են ենթարկվել կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեխնոլոգիաները [1,2], որի արդյունքում պարզվել է, որ բարձր կարծրությամբ, ամրությամբ, էլեկտրահաղորդականությամբ, ջերմահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված համաձուլվածքները, որոնք կարող են կիրառվել կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներ պատրաստելու համար, պետք է լինեն պղնձի հիմքով [3], ընդ որում, մայրակի կարծրացումը և ամրացումը պետք է կատարվի դիսպերս մասնիկներով կարծրացման մեխանիզմով՝ ջերմամշակմամբ, բարձր էլեկտրահաղորդականությունը և ջերմահաղորդականությունը ապահովվի պղնձյա մետաղաթելերով՝ ամրանավորմամբ, իսկ անձակոտկեն կառուցվածքի ապահովումը նպատակահարմար է իրականացնել տաք արտամղմամբ, որը կհանդիսանա պղնձի հիմքով և պղնձյա մետաղաթելքերով ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութի ստացման հիմնական գործընթացը [4-6]: Յույց է տրված, որ բարձր ամրություն ապահովելու համար անհրաժեշտ է ստեղծել ամուր կապ <մայրակ-մետաղաթել> անցումային շերտում՝ կոմպոզիցիայի պատրաստման գործընթացում: Բացի դրանից, ամրության արդյունավետությունը կախված է նաև մետաղաթելի կողմնորոշումից, չնայած այստեղ էլ կան որոշակի դժվարություններ՝ ստանալ անձակոտկեն կոմպոզիցիոն նյութ, պահպանելով մետաղաթելի ամբողջականությունը: Մյուս կողմից՝ եռակլաման ժամանակ <մայրակ-մետաղաթել> բաժանման սահմանում ընթանում են ինտենսիվ քիմիական ռեակցիաներ, որի հետևանքով կոմպոզիցիոն նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները նկատելիորեն նվազում են: Յույց է տրված, որ անձակոտկեն կոմպոզիցիոն նյութ ստանալու լավագույն ճանապարհը տաք արտամղումն է, որի ժամանակ եռակլումը և կառուցվածքի ձևավորումը համատեղվում են: Տաք արտամղումը համարվում է լավագույն մեթոդ, երբ նյութի կառուցվածքի և մետաղաթելի դեֆորմացումը (երկարացումը) կոմպոզիցիայի հատկությունների վրա դրականորեն է ազդում: Մինչդեռ այս և, հատկապես, ֆիզիկական հատկությունների փոփոխման ուղղությամբ հետազոտություններ քիչ են կատարվել, և չեն ուսումնասիրվել հիմնական օրինաչափությունները, մեխանիզմն ու խտացման կինետիկան, ինչպես նաև կոմպոզիցիայում կառուցվածքագոյացման գործընթացը՝ կախված ուժային ռեժիմից և դիսպերս կարծրացնող ու ամրանավորող ֆազի պարամետրերից:

Ուսումնասիրվել են կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների աշխատանքային պայմանները և դրանց բնութագրերը: Յույց է տրված, որ էլեկտրոդից պահանջվող հիմնական հատկություններն են՝ բարձր էլեկտրահաղորդականությունը, ջերմաստիճանային լայն տիրույթում մեխանիկական բարձր հատկությունները, բավարարմաշակայունությունը, բարձր ջերմահաղորդականությունը, կոռոզիակայունությունը, ջերմակայունությունը, շիկակայունությունը և այլն: Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներից պահանջվող ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների և կառուց-

վածքի ուսումնասիրման արդյունքում ընտրվել և հիմնավորվել է նոր դասի փոշե-
համաձուլվածք՝ պղնձի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և պղնձի թել-
քերով ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութ, որը կարելի է ստանալ բովախառնուրդի
մամլման, տաք արտամղման և համապատասխան ջերմային մշակման միջոցով:
Որպես էլանյութեր օգտագործվել են ПМС-1 մակնիշի էլեկտրոլիտիկ պղնձի, ПХ1С
մակնիշի քրոմի և ПЛ1 մակնիշի ցիրկոնիումի փոշիներ, ինչպես նաև $L_0=4$ մմ երկա-
րությամբ ММ մակնիշի պղնձյա թելքեր ($d=200$ մկմ): Բովախառնուրդից երկկողմանի
մամլմամբ պատրաստվել են գլանական նմուշներ ($D=30$ մմ, $H=50$ մմ, $\theta=10, 15, 20,$
 $25, 30$ %), որոնք ջրածնի միջավայրում $900...950$ °С $1,5$ ժամ պահելուց հետո ենթարկ-
վել են տաք արտամղման մայրակի $2\alpha=110^\circ$ և $\lambda=4$ արտամղման գործակցով:

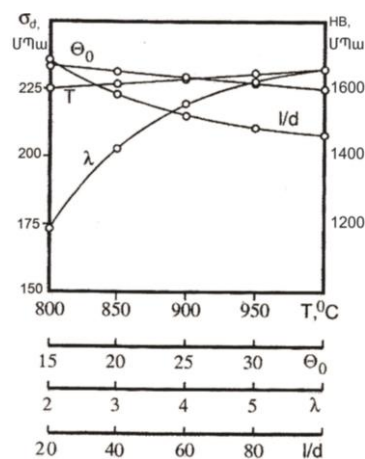
Համալիր հետազոտությունների արդյունքում ցույց է տրված, որ որքան փոքր է
թելքերի l_0/d_0 ($l_0/d_0 \leq 20...30$) հարաբերությունը, այնքան հեշտ է իրականացվում „փոշի-
թելք», բովախառնուրդի պատրաստումը, միաժամանակ, վերանում է բարդ „քեչա-
յացման», աշխատատար օպերացիայի կարիքը, և այդքան ավելի հեշտ է իրականաց-
վում թելքի կողմնորոշումը տաք արտամղման ուղղությամբ: Վերջապես, տաք
արտամղման ընթացքում թելքերի երկարացումը բավականաչափ փոքրացնում է
թելքերի տրամագիծը: Դա, մի կողմից՝ բարձրացնում է նրա ամրությունը, իսկ, մյուս
կողմից՝ թույլ է տալիս կիրառել մեծ տրամագծերով մետաղալարեր, ինչն ավելի
էժան է, հեշտ է կատարել չափակտրում և բարձրացնում է էլեկտրահաղորդականու-
թյունն ու ջերմահաղորդականությունը:

Հետազոտությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշների (գլանա-
կան և տափակ) մնացորդային ծակոտկենությունը $\theta_0=15\%$ նախնականի դեպքում
ավելի ցածր է, քան $\theta_0=25\%$ դեպքում: Նման օրինաչափություն տեղի ունի ինչպես
խտացման ստատիկ, այնպես էլ իմպուլսային եղանակների դեպքում: Դա նշանա-
կում է, որ անծակոտկեն կառուցվածքների ստացման համար ավելի նպատակա-
հարմար է ելային նախապատրաստվածքները պատրաստել նվազագույն ծակոտկե-
նությամբ:

Տաք արտամղման ժամանակ դիսպերս մասնիկներով կարծրացող ծակոտկեն
նյութերի դեֆորմացված լարվածային վիճակի և կառուցվածքագոյացման մեխանիզմի
վերլուծման արդյունքում բացահայտվել է, որ արտամղման ժամանակ արտամղվող
մետաղի օղակաձև շերտերը ենթարկվում են ոչ միայն առանցքային և լայնական, այլ
նաև սահքի դեֆորմացման: Վերջինս ներքին շերտերից դեպի մակերևութային
շերտեր աճում է: Աճում են նաև երկարացմանը նպաստող հիմնական լարումները և
սահքի դեֆորմացումների գումարը: Ցույց է տրված, որ մամլման մասի ելքի մոտ
երկարացմանը նպաստող գլխավոր լարումների ուղղությունները տարբեր են. դրանք
մամլման առանցքի հետ կազմում են որոշակի անկյուն, որը նույնպես աճում է դեպի
մակերևույթ: Արդյունքում՝ ցույց է տրված, որ գլխավոր շառավղային և շրջանագծա-
յին դեֆորմացումները հանդիսանում են արգելակող դեֆորմացումներ: Միաժամա-

նակ, ներքին շերտերի գոտում լրացուցիչ սեղմող լարումները, վերադրվելով հիմնական սեղմող լարումների վրա, չեն փոխում մետաղի լարվածային վիճակը. այն մնում է նույնը, այսինքն՝ բոլոր կողմերից անհավասարաչափ սեղմված: Արտաքին շերտերի գոտում ձգման լրացուցիչ լարումները, վերադրվելով հիմնական սեղմող երկայնական լարումների վրա, փոքրացնում են դրանք, իսկ որոշ պայմանների դեպքում, զերազանցելով դրանց, փոխում են մետաղի լարվածային վիճակի տեսքը և բոլոր կողմերից անհավասարաչափ սեղմումը ձևափոխում երկկողմանի (ընդլայնական) սեղմման և երկայնական ձգման:

Տաք արտամղման հիմնական պարամետրերի (θ_0 , l/d , λ) օպտիմալացման հետ կապված փորձերը կատարվել են քառսային կերպով կողմնորոշված պղնձյա թելքերով (MM մակնիշի) ամրանավորված $\text{Cu}+1\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_\Phi$ փոշեկոմպոզիցիոն նյութից պատրաստված նախապատրաստվածքների վրա: Պարամետրերի միաժամանակյա ազդեցության բնույթը և աստիճանը որոշվել են 2^4 տիպի փորձերի գործոնների փոփոխման մաթեմատիկական պլանավորման եղանակով: Բնչպես և սպասվում էր (նկ. 1), սահմանափակող գործոն է հանդիսանում λ արտամղման գործակիցը: Նրա մեծացումով կտրուկ աճում են ամրային հատկությունները, այն է՝ σ_d և HB: Դրանք առավելագույն արժեքների հասնում են $\lambda=5\dots 6$ դեպքում: l/d մեծացումով (>30) թելքերի կողմնորոշումը տաք արտամղման ուղղությամբ լրջորեն դանդաղում է: Թելքավոր պղնձից պատրաստված նմուշների համար σ_d և HB-ն գրեթե մնում են նույնը l/d բոլոր հարաբերությունների համար: Դա վկայում է այն մասին, որ միայն մետաղական թելքերի տաք արտամղման ժամանակ, թելքերի խճճման պատճառով, նրանց կողմնորոշումը տեղի չի ունենում: Հետևաբար, կողմնորոշումը հնարավոր է միայն փոշեմայրակի մեջ թելքերի հավասարաչափ բաշխման դեպքում և երբ $l \gg d$:



Նկ. 1. Տաք արտամղման դեպքում նմուշների ամրության կախվածությունը հիմնական գործոններից

Կատարվել են առաջարկվող փոշեկոմպոզիցիոն նյութի եռակալման և տաք արտամղման ժամանակ կառուցվածքագոյացման մեխանիզմի և կինետիկայի օրինաչափությունների հայտնաբերման ջերմաձանրաչափական հետազոտություններ, ինչպես նաև իրականացվել են տաք արտամղման և ջերմային մշակման գործընթացների հետազոտում, պարամետրերի օպտիմալացում, մետաղագիտական հիմնավորում և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրում:

Ջերմաձանրաչափական վերլուծության մեթոդով հետազոտվել են $\text{Cu-1\%Cr-0,8\%Zr}$ փոշեհամաձուլվածքի կառուցվածքագոյացման մեխանիզմը և կինետիկական տաքացման ժամանակ, որի արդյունքում հիմնավորվել են մշակված փոշեկոմպոզիցիոն նյութի եռակալման, տաք արտամղման և միմյան ջերմաստիճանները: Պղնձի (PMC-1), քրոմի (PX1C) և ցիրկոնիումի (PL1) մետաղափոշիները, ինչպես նաև պղնձյա լարերը ($d=0,2$ մմ, $l=4$ մմ) թրծվել են ջրածնի միջավայրում $350...400^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում՝ $1...1,5$ ժամ պահամբ, որից հետո պատրաստվել է բովախառնուրդ, որը ենթարկվել է մամլման, պաշտպանիչ միջավայրում եռակալման կամ տաքացման և տաք արտամղման:

Տեսական վերլուծությամբ և փորձնական եղանակով հիմնավորվել է տաք արտամղման գործընթացի առավելությունը դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և ամրանավորված կոմպոզիցիոն փոշեհամաձուլվածքների կոմպակտավորման ժամանակ: Սահմանվել են պղնձի հիմքով և պղնձյա թելքերով ամրանավորված դիսպերս մասնիկներով կարծրացող փոշեհամաձուլվածքների տաք արտամղման հիմնական օրինաչափությունները, կախված թելքերի նախնական կողմնորոշվածությունից, մայրակի անկյունից, թելքերի l_0/d_0 հարաբերությունից և λ արտամղման գործակցից: Ցույց է տրված, որ թելքերի փոքր երկարության դեպքում ($l_0/d_0 = 20$) բավականին հեշտանում է համասեռ բովախառնուրդի պատրաստման գործընթացը, ինչպես նաև թելքերը հեշտությամբ կողմնորոշվում են արտամղման ուղղությամբ, միաժամանակ, թելքերի տրամագծի փոքրացման շնորհիվ, մեծանում է $l/d = 100$, որն ապահովում է ամրության և էլեկտրահաղորդականության բարձր ցուցանիշներ:

Ջերմաստիճանների և դեֆորմացումների լայն միջակայքում բացահայտվել են $\text{Cu+1,0\%Cr+0,8\%Zr+10\%Cu}_\phi$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիցիոն նյութի տաք արտամղման ժամանակ կառուցվածքագոյացման օրինաչափությունները: Մաթեմատիկական պլանավորմամբ և գիտափորձերի արդյունքների մշակմամբ ստեղծվել են ամրության և կարծրության կախվածությունները տաք արտամղման պարամետրերից, որի արդյունքում կատարվել է տաք արտամղման լավարկված ռեժիմների ընտրում և հիմնավորում. արտամղման ջերմաստիճանը՝ $T_{\text{m}} = 900...950^\circ\text{C}$, արտամղման ջերմաստիճանում պահման տևողությունը՝ $\tau_{\text{m}} = 1,5$ ժամ, մայրակի կոնական անկյունը՝ $2\alpha_{\text{m}} = 110^\circ$ և արտամղման գործակցիցը՝ $\lambda = 4$:

Տաք արտամղումից հետո մշակված փոշեկոմպոզիցիոն նյութը ենթարկվել է ջերմամշակման՝ թրծաթողման, միմյան, կոփման և ծերացման: Թրծաթողման

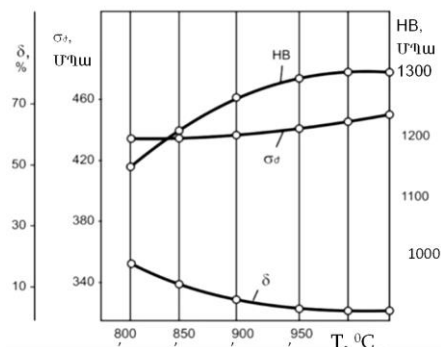
ջերմաստիճանն ընտրվել է մեխանիկական հատկությունների ջերմաստիճանային կախվածության գրաֆիկից, համաձայն որի այն գտնվում է համեմատաբար փոքր տիրույթում $T_4=650...700^{\circ}\text{C}$, իսկ տևողությունը վերցվել է $1...2$ ժամ՝ կախված վառարանի բեռնավորման աստիճանից:

Համալիր գիտափորձնական հետազոտությունների արդյունքում (նկ. 2-4) որոշվել են ամրացնող ջերմային մշակման (մխում, ծրացում) լավարկված պարամետրերը՝ $T_4=1000\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_4=2$ ժամ, $T_{\text{ծր}}=425\pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ծր}}=6$ ժամ, որոնց դեպքում ապահովվում են ոչ միայն մեխանիկական բարձր հատկություններ՝ $\sigma_{\text{տ}} = 350...360$ ՄՊա, $\text{HB}=1200...1300$ ՄՊա, այլ նաև բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70$ Վտ/Գ.ս) և էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի հաղորդականության $\approx 98\%$ -ը:

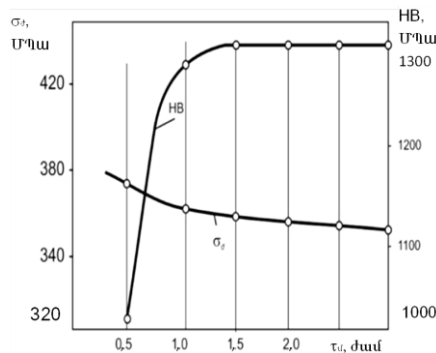
Մետաղագիտական վերլուծության արդյունքում ցույց է տրվել, որ $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_{\text{թ}}$ փոշեկոմպոզիցիոն նյութի կառուցվածքը եռաֆազ է (նկ. 5): Այն բաղկացած է $\alpha\text{-Cu}$ -ից (Cr -ի և Zr -ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cu_5Zr ինտերմետաղական ֆազից և պղնձի թելքերից: Ընդ որում, պինդ լուծույթի հիմքով մայրակն ապահովում է բարձր ամրային հատկություններ և ջերմակայունություն, իսկ պղնձյա թելքերը՝ բարձր ջերմահաղորդականություն և էլեկտրահաղորդականություն: $\text{Cu}+1\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_{\text{թ}}$ կոմպոզիցիաների կոտրվածքների ֆրակտոգրամները ցույց են տալիս, որ կառուցվածքում գոյություն ունեն Cu -ի թելքերի կոդմոտորշվածություն, հավասարաչափ բաշխվածություն և փափուկ մայրակի հետ ամուր կապ, իսկ քայքայված թելքերի ծայրերը գտնվում են մոտավորապես մայրակի կտրման հարթությունում: Բուն թելքի կառուցվածքը քայքայումից հետո հավասարաչափ հատիկավոր է, առանց խանգարումների:

Ստացված կոմպոզիցիոն նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ ծակոտկեն մամլվածքի տաք արտամղումն ապահովում է պրակտիկորեն անծակոտկեն կառուցվածք:

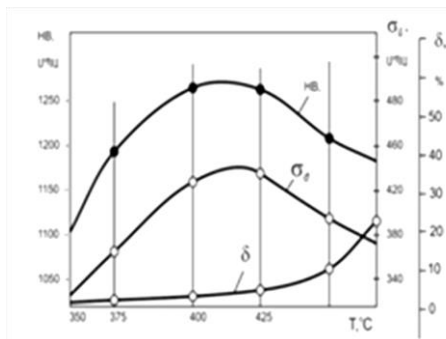
Կոմպոզիցիոն նյութի տաք արտամղման ժամանակ մետաղաթելի հատկությունները մայրակի նյութում օգտագործվում են ամբողջությամբ: Դա բացատրվում է նրանով, որ տաք արտամղումը բարձրացնում է "մետաղաթել-մայրակ" կոնտակտային ամրությունը, կոդմոտորշում և վերաբաշխում է մետաղաթելը մայրակում պլաստիկ դեֆորմացման ուղղությամբ: Ընդ որում, արտամղման ժամանակ մետաղաթելի դեֆորմացումը և ծավալային պարունակությունը դրականորեն են ազդում կոմպոզիցիայի ամրության, ջերմահաղորդականության և էլեկտրահաղորդականության վրա՝ նշանակալիորեն բարձրացնելով դրանք (նկ. 6):



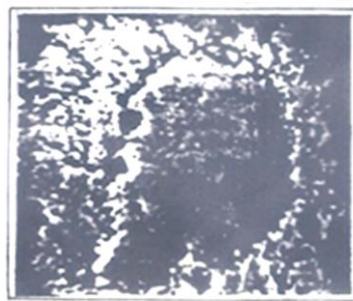
Նկ. 2. Ամրության սահմանի σ_{σ} և կարծրության HB կախվածությունը միմյան ջերմաստիճանից, երբ $T_{\text{ձեր}} = 425^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ձեր}} = 6$ ժամ



Նկ. 3. Ամրության սահմանի σ_{σ} և կարծրության HB կախվածությունը միմյան ջերմաստիճանում պահման տևողությունից, երբ $T_{\text{ձեր}} = 425^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ձեր}} = 6$ ժամ

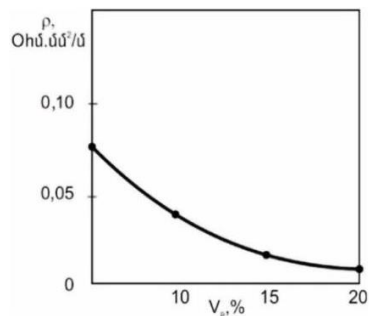


Նկ.4. Կարծրության (HB) և ամրության սահմանի (σ_{σ}) կախվածությունը ձերացման ջերմաստիճանից, երբ $T_{\text{միս}} = 1000 \pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{միս}} = 2$ ժամ

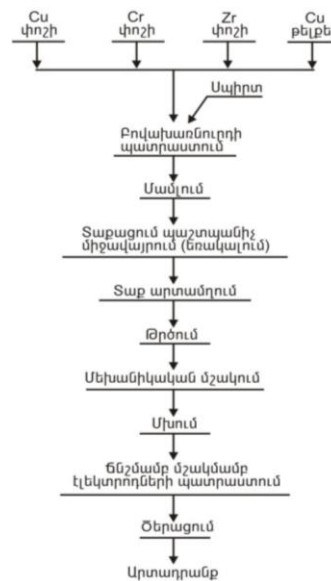


Նկ.5. $\text{Cu} + 1\% \text{Cr} + 0.8\% \text{Zr} + 10\% \text{Cu}$ կոմպոզիցիոն նյութի միկրոկառուցվածքը տաք արտամղումից և ջերմամշակումից հետո ($\times 500$)

Կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և պղնձյա թելքերով ամրանավորված պղնձի հիմքով փոշեկոմպոզիցիոն նյութի ստացման տեխնոլոգիա (նկ. 7), որը հնարավորություն է տալիս ապահովելու ոչ միայն բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ ամրություն, կարծրություն, շիկակայունություն, ջերմակայունություն, այլ նաև բարձր ֆիզիկական հատկություններ՝ ջերմահաղորդականություն և էլեկտրահաղորդականություն:



Նկ. 6. $Cu+1,0\%Cr+0,8\%Zr+Cu$ կոմպոզիցիոն նյութի տեսակարար էլեկտրադիմադրության կախվածությունը մետաղաթելի կոնցենտրացիայից



Նկ. 7. Դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և պղնձյա թելքերով ամրանալուով պղնձի հիմքով բարձրամուր և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ ու ջերմահաղորդականությամբ օժտված փոշեկոմպոզիցիոն նյութի ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Պղնձափոշու վերականգնման, ինչպես նաև պղնձի թելքերի մակակոփը վերացնելու նպատակով կատարվել է դրանց թրծաթողում ջրածնի միջավայրում $350...400^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում՝ $1,0...1,5$ ժամ պահմամբ:

Կոմպոնենտների հավասարաչափ խառնման և հոմոգեն բովախառնուրդ ստանալու նպատակով ավելացվել է սպիրտ $0,1\%$ -ի չափով: Բովախառնուրդի ձևավորումից հետո մամլվածքները ենթարկվել են տաք արտամղման, թրծման, մեխանիկական և ջերմային մշակման՝ միմյան և ծեղացման, ընդ որում, միտումից հետո իրականացվել է ճնշմամբ մշակում՝ էլեկտրոդների ստացման նպատակով, այնուհետև կատարվել է ծեղացում:

ԳԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977.- 312 с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**.- М.: Мир, 1970.- 672 с.
3. **Николаев А.К., Розенберг В.М.** Сплавы для электродов контактной сварки.- М.: Металлургия, 1978.- 96 с.
4. Композиционные материалы повышенной прочности: 1. Технология получения композиционных материалов экструзией / **С.Г. Агбальян, А.С. Петросян, Р.Б. Шатворян и др.** // Изв. НАН Армении. Сер. ТН.- 1999.- Том LII, N2.- С. 166-170.
5. Порошковые композиционные материалы, упрочненные волокнами / **С.Г. Агбальян, А.С. Петросян, Э.С. Амалян и др.** // Порошковая металлургия.- Киев, 2001.- № 11-12.- С. 66-72.
6. **Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ր.** Ամրանալորված կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեխնոլոգիան և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- 2012.- Հատ. LXV, №4.- էջ 335-345:
ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.11.2013:

С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, А.Р. САРГСЯН

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Разработана технология получения высокопрочного порошкового композиционного материала на основе меди, твердеющего дисперсными частицами и армированными медными волокнами, обладающего высокой электропроводностью и теплопроводностью. Технология включает: изготовление шихты, прессование, нагревание (спекание), горячую экструзию и термическую обработку.

Ключевые слова: медь, хром, цирконий, металлический порошок, прессование, спекание, горячая экструзия, отжиг, закалка, ковка, старение.

S.G. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN, A.R. SARGSYAN

DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR OBTAINING HIGH-STRENGTH COPPER- BASED DURABLE COMPOSITE MATERIALS

A technology for obtaining a high-strength powder copper-based composite material hardening by dispersed particles and reinforced with copper fibers with high electrical and thermal conductivity is developed. The technology includes: batch manufacturing, compacting heating (sintering), hot extrusion and heat treatment.

Keywords: copper, chromium, zirconium, metal powder, compacting, sintering, hot extrusion, annealing, hardening, forging, ageing.

В.А. МАРТИРОСЯН, К.В. САРКИСЯН, М.Э. САСУНЦЯН, А.А. АЙВАЗЯН,
Т.Л. ТАЛАКО

**ПОВЕДЕНИЕ ДРМБОНСКОГО МЕДНОГО СУЛЬФИДНОГО
КОНЦЕНТРАТА И ВХОДЯЩИХ В ЕГО СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ПРИ
МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ**

Обсуждается процесс механохимической активации дрмбонского медного концентрата и входящих в его состав отдельных минералов методом их тонкого измельчения в вибромельнице в водном и воздушном режимах. Показано, что при тонком измельчении (до -10 мкм) сульфиды меди и железа подвергаются глубоким химическим изменениям, превращаясь в сульфаты и оксиды. Полученные результаты подтверждены методами химического и рентгенофазового анализов.

Ключевые слова: дрмбонский медный сульфидный концентрат, механохимическая активация, выщелачивание, медь, железо, золото.

Введение. В последнее время внимание исследователей направлено на повышение скорости выщелачивания ценных компонентов из минерального сырья путем механохимической активации методом тонкого измельчения [1,2].

Известно, что инициирование твердофазных процессов механическими воздействиями сопровождается не только увеличением реакционной поверхности и, следовательно, контактом соприкосновения реагирующих веществ, но и образованием релаксации поля напряжения. В последнем случае имеют место два основных принципа: импульсный характер во времени (чередование процессов возникновения релаксации) и локальный характер механического воздействия на вещество. При механической обработке релаксация поля напряжений, возникающих во всем объеме твердой частицы, сопровождается новыми физико-химическими превращениями. Вещество в сверхтонком состоянии подвергается принципиально новым видоизменениям, которые связаны со спецификой физических характеристик конденсированного состояния: характером химической связи, строением и т.д. В результате механических воздействий в структуре твердого тела происходят изменения, связанные с изменением межатомного расстояния, разными электронными переходами, релаксациями, дислокациями, нарушениями в решетке, аморфизацией, разными полиморфными превращениями и т.д. В итоге эти превращения приводят к понижению энергии активации химических реакций и увеличению реакционной способности, протеканию новых специфических реакций и образованию модифицированных продуктов.

Таким образом, механическая обработка исходного материала может привести не только к механоактивации, обусловленной накоплением дефектов, изменением структуры и частичной или полной аморфизацией, но и к инициированию химических реакций, т.е. к механохимическому активированию.

Особый интерес представляет механохимическая обработка сульфидов [3-7], являющихся основой рудного сырья в производстве многих цветных металлов и в то же время одним из наиболее труднорастворимых в неорганических растворителях классов соединений. При использовании механохимической обработки сульфидов в водном и воздушном режимах происходит не только ускорение их окисления и растворения, но и изменение механизма этих процессов.

Целью данной работы является предварительное увеличение реакционной способности дробленого медного концентрата, а также отдельных минералов, входящих в состав концентрата - халькопирита, пирита и халькозина, методом тонкого измельчения в вибромельнице в условиях водного и воздушного режимов.

1. Методика экспериментов. Выбраны оптимальные условия механохимической активации и выщелачивания для обеспечения максимального выхода меди в раствор. Химический состав выбранного для изучения концентрата следующий, %: Cu -18,00; Fe-35,00; S-32,00; Ca-1,07; Mg-0,90; Si-3,27, C-0,69; O₂-2,6; остальное - 6,47; минералогический состав, %: CuFeS₂ - 36,30; Cu₂S - 6,75; FeS₂ - 34,00; Fe₂O₃-10,55; CaCO₃-2,50; MgCO₃-2,70; SiO₂-7,00, остальное - 0,20. Содержание золота и серебра в концентрате составляет: 50 г/т Au, 70 г/т Ag.

Опыты механохимической активации проводили методом тонкого измельчения концентрата в вибромельнице. Активации подвергались как отдельные минеральные фазы, находящиеся в составе сульфидных концентратов, так и сам концентрат. Минеральные фазы выделены механически-магнитными и электромагнитными методами в среде бромаформ с последующей отмывкой ацетоном или этиловым спиртом под минералогическим микроскопом. Минералы и концентрат активировали в высокоэнергонапряженной вибромельнице типа М-30. Объем каждого барабана составлял 600 см³, количество их оборотов - 1000 в мин, а системы из двух барабанов в противоположном направлении - 425 об/мин, фактор энергонапряженности - 50 г, мощность электродвигателя - 2,8 кВт. Активирование проводили в водной и воздушной средах. Метод заключался в том, что материал вначале диспергировали в воздушной среде, затем барабаны открывали, заливали в них такой же объем дистиллированной воды, что и в водной среде, закрывали их и продолжали активирование. Измельчение проводили 15, 30, 60 мин, но на рисунках приведены данные активирования в основном 60 мин, когда особенно ярко фиксируется изменение минералов. Вес диспергируемых продуктов - 10...50 г, объем воды, заливаемой в барабан, - от 50 до 250 мл при Ж:Т = 5:1. Для получения сравнительных данных диспергирование для всех минералов проводили при одинаковых условиях.

Рентгенофазовое исследование проводили с помощью рентгенографа марки “ДРОН-3,0” с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения и никелевого фильтра в следующем режиме: напряжение - 25 кВ, сила тока - 10 мА, скорость записи – 420 мм·ч⁻¹. Составы полученных фаз подвергались также химическому анализу [8].

2. Фазовые превращения входящих в состав сульфидных концентратов отдельных минералов в результате механохимической обработки. Изучено поведение отдельных минералов, входящих в состав медного концентрата Дрмбона, таких как халькопирит, пирит, халькозин, в вибромельнице в условиях водного и воздушного режимов при дисперсном измельчении продолжительностью 15, 30 и 60 мин. Исследование характера отдельных минералов при механохимической обработке позволит раскрыть поведение этих минералов в сульфидном концентрате при аналогичных условиях.

На рис. 1 приведены рентгенограммы основных минералов, содержащихся в дрмбонском концентрате.

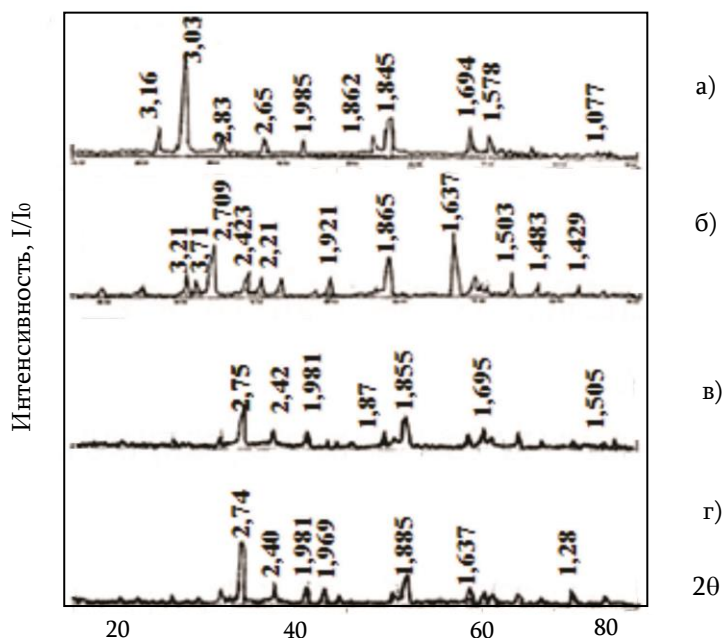


Рис. 1. Рентгенограммы отдельных минералов, содержащихся в дрмбонском концентрате: а - CuFeS_2 ; б - FeS_2 ; в - SiO_2 ; г - CuS

2.1. Фазовые превращения халькопирита. Халькопирит – один из главных компонентов медных сульфидных концентратов Арцаха, поступающих на гидро- и пирометаллургические переделы. Поэтому выяснение особенностей изменения его физико-химических свойств после механического активирования в окислительных процессах может иметь определенное теоретическое и практическое значение. Согласно результатам минералогического анализа, в образцах минерала преоб-

ладает CuFeS_2 в свободном виде. Кроме халькопирита, в свободном виде встречаются также пирит и некоторое количество нерудных примесей. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают данные минералогических исследований. На дифрактограммах исходного халькопирита четко фиксируются рефлексы с $d=3,03$ и $1,845 \text{ \AA}$, характерные для халькопирита (рис. 2). В составе концентрата обнаружена также примесь пирита ($1,694 \text{ \AA}$). Линий других примесных минералов не обнаружено. В процессе механической обработки халькопирит претерпевает значительные изменения (рис. 2 б). На дифрактограммах образца, активированного в воздушной среде продолжительностью 30 мин, появляются новые рефлексы $d=4,73$ и $3,99 \text{ \AA}$, которые подтверждают присутствие фазы $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. При активации продолжительностью 60 мин в водной среде появляется новая фаза - $4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ ($d=4,73 \text{ \AA}$). При дальнейшей активации появляется также фаза Fe_3O_4 ($d=4,38 \text{ \AA}$). Кроме того, замечается уменьшение и округление рефлексов халькопирита, что связано с аморфизацией минерала.

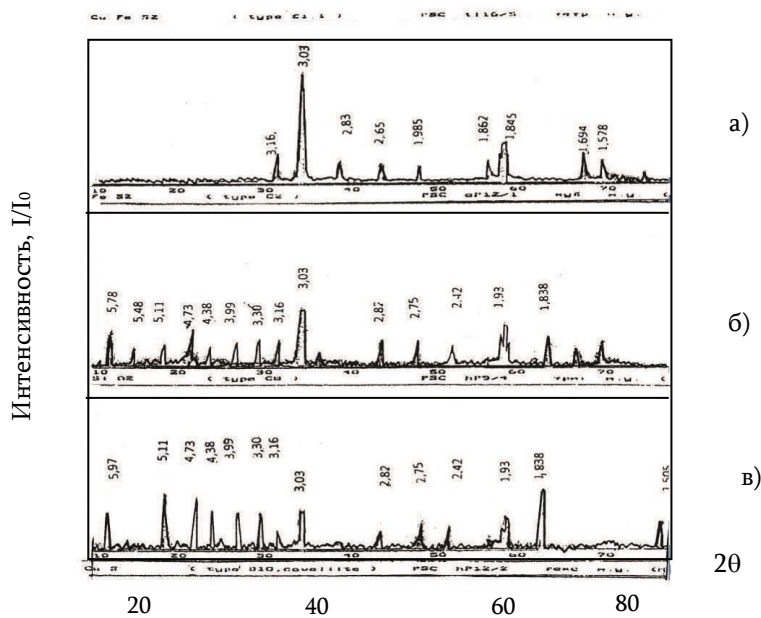
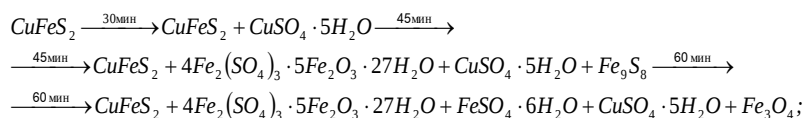


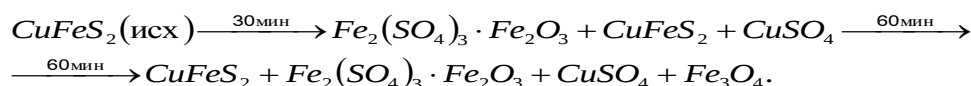
Рис. 2. Дифрактограммы фаз исходного халькопирита и продуктов его механохимической обработки образцов: 1 - неактивированного, 2 - активированных в водной среде продолжительностью 30 мин, 3- 60 мин

Фазовые превращения халькопирита в разных средах происходят по следующей схеме:

в водной среде -



в воздушной среде -

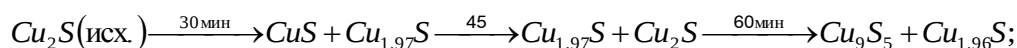


Таким образом, при активации халькопирита в водной среде образуются кристаллогидраты и оксиды, а при активации в воздушной среде - сульфаты и оксиды [1, 2].

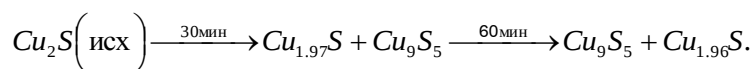
2.2. Фазовые превращения халькозина. В рентгенограммах исходного халькозина основные рефлексы составляют $d = 1,885; 1,981; 2,40; 2,74 \text{ \AA}$. По данным количественного анализа, халькозин содержит 70,40% Cu; 19,44% S; 3,08% Fe и 7,08% оксидов металлов.

В процессе механической обработки халькозин также претерпевает изменения. На дифрактограмме образца, активированного в водной среде 30 мин, преобладают рефлексы Cu_xS ($d=1,957 > x > 1,861$), количество джурлеита $\text{Cu}_{1,97}\text{S}$ незначительное ($3,03; 1,870 \text{ \AA}$). После измельчения в водной среде продолжительностью 60 мин появляются фаза $\text{Cu}_{1,96}\text{S}$ ($2,74; 1,870 \text{ \AA}$) и частично фаза Cu_9S_5 ($1,938 \text{ \AA}$). Изменения происходят по следующей схеме:

в водной среде -



в воздушной среде -



2.3. Фазовые превращения пирита. Пирит также входит в состав концентрата как основной минерал. Физико-химические превращения пирита при активации описаны в работах [3, 4]. Однако данные о новообразованиях противоречивы. По одним данным [5], в поверхностном слое пирита при обработке в планетарной мельнице появляется магнетит, по другим данным [6] – достаточно 20-минутного диспергирования для полного окисления его до магнетита, а при дальнейшем измельчении 85...90% пирита переходит в пиротин (Fe_7S_8). По нашим данным, в процессе механической обработки пирит претерпевает значительные изменения (навеска минерала - пирита в водной среде измельчения - 50 г, а в воздушной - 3 г, объем воды - 125 мл).

Механохимическое окисление в разных средах протекает по-разному. Наиболее интенсивно происходит механическая активация FeS_2 в воздушной среде. На соответствующей дифрактограмме фиксируются самые сильные рефлексы с $d = 4,85; 3,99; 3,16; 3,09, 2,72$ и $1,637 \text{ \AA}$, характерные для пирита. После механохимической активации продолжительностью 60 мин в воздухе фиксируются новые рефлексы $d = 4,85; 2,72; 2,56; 1,81 \text{ \AA}$, характерные для магнетита.

В интервале 15 мин обработки в водной среде $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, как промежуточный продукт механохимической реакции, окисляется до $4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$, что подтверждается появлением на дифрактограмме рефлекса $d=1,990 \text{ \AA}$. Кроме того, пирит в данных условиях перестает быть доминирующей фазой. Однако дальнейшее увеличение длительности активирования до 30 мин приводит к еще большему разрушению сульфатов железа как продуктов его механохимической обработки.

При активации в водной среде продолжительностью 60 мин на дифрактограмме фиксируются новые рефлексы $d=5,70; 5,11; 4,00; 3,09 \text{ \AA}$, характерные для $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$, из которых первый преобладает (рис. 3).

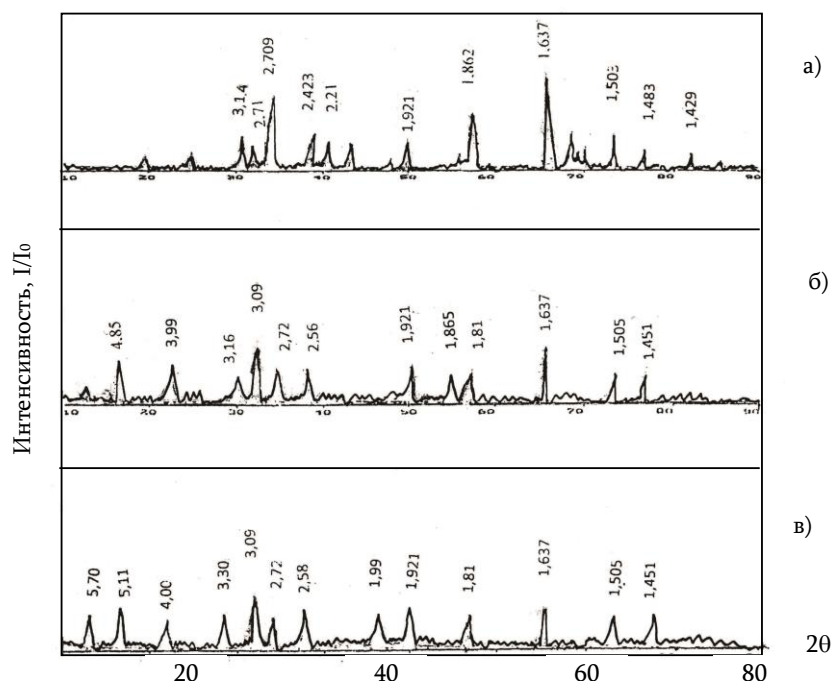


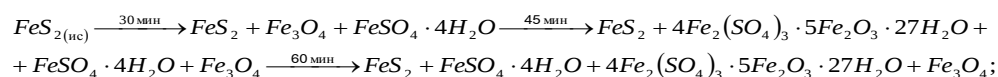
Рис. 3. Рентгенограммы исходного пирита (а) и продуктов его активации продолжительностью 60 мин в воздушной (б) и водной (в) средах

За счет активации как в воздушной, так и водной средах на дифрактограммах уменьшается интенсивность рефлексов исходного пирита в связи с образованием

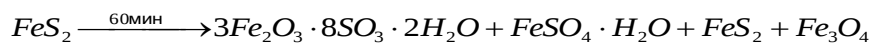
новых фаз, наличие которых фиксируется новыми рефlekсами на дифрактограммах. Непосредственно после активации практически во всех средах получается элементарная сера (линии $d = 3,85; 3,22; 3,08 \text{ \AA}$), линии которой сходны с продуктами активации пирита. Во всех случаях сохраняются в исходном виде рефlekсы SiO_2 .

Фазовые изменения пирита при активации продолжительностью 60 мин в разных средах можно представить по следующей схеме:

в водной среде -



в воздушной среде -



Как видно из схемы, в результате механохимической активации в разных средах получают гидросульфаты железа и магнетит. Активированный пирит продолжает окисляться в воздухе при комнатной температуре. Полученные продукты легко растворяются в воде. В дальнейшем от магнетита можно избавиться при помощи мокрой магнитной сепарации. Последний факт может иметь большое практическое значение при переработке сульфидных руд и концентратов.

Таким образом, механохимическая активация пирита также приводит к глубоким химическим превращениям с образованием гидросульфатов и оксидов железа, тем самым способствуя увеличению химической активности.

2.4. Фазовые превращения дрмбонского золото–медного сульфидного концентрата. Исходя из данных превращения сульфидсодержащих отдельных минералов в результате механохимической активации, исследованы также фазовые превращения дрмбонского золото–медного сульфидного концентрата в аналогичных условиях.

В исследуемых образцах, кроме халькопирита, который здесь преобладает, встречается также пирит в свободных зернах. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают данные минералогического анализа.

На дифрактограмме исходного концентрата (рис.4) четко фиксируются рефlekсы с $d = 3,16; 3,03; 1,862 \text{ \AA}$, характерные для халькопирита; $d=3,14; 2,731; 2,40; 2,21; 1,637 \text{ \AA}$, характерные для пирита; $d=3,39; 2,40; 1,969; 1,87; 1,696 \text{ \AA}$, характерные для халькозина, и некоторые другие линии, относящиеся к нерудным минералам, количество которых, судя по их интенсивности, невелико. Определены также линии пирита – $2,731 \text{ \AA}$. Основные линии на рентгенограммах образца халькопиритовых концентратов имеют близкую сходимость с линиями эталона, однако отличаются от последнего соотношением интенсивности. Измельчение

проводили при одинаковых условиях, что и отдельные минералы, входящие в состав концентрата. На рис. 4 иллюстрируются результаты рентгенофазового анализа концентрата как в воздушном, так и водном режимах.

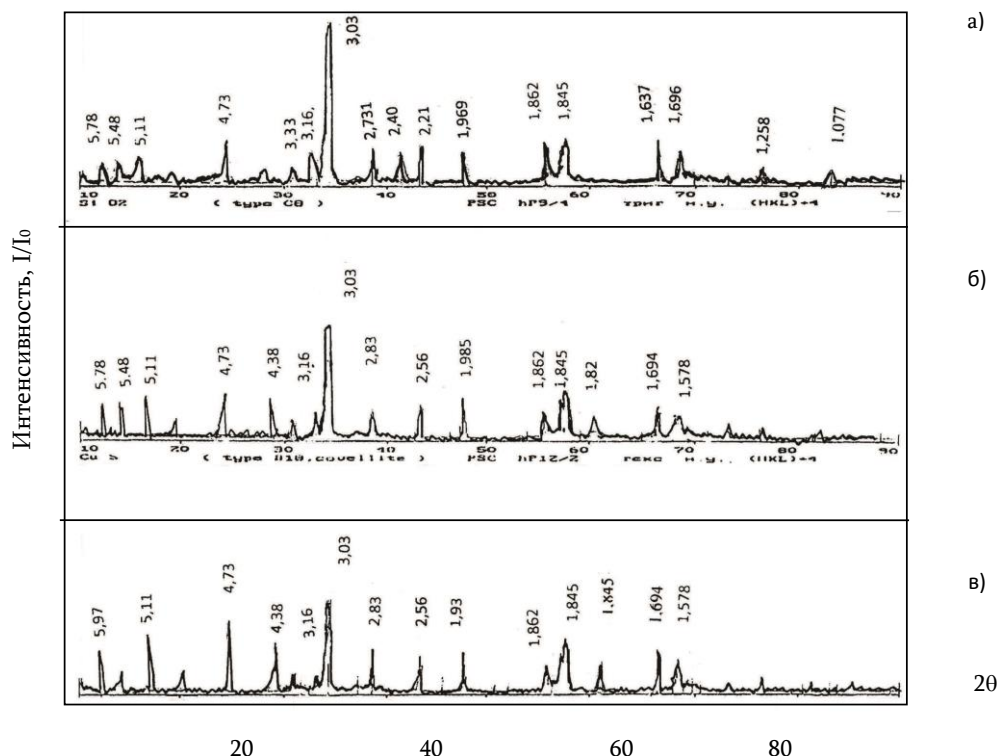


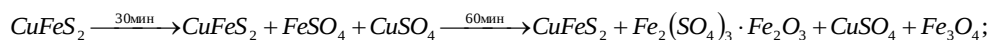
Рис. 4. Рентгенограммы фаз дрмбонских золото-сульфидных концентратов: исходного (а), активированного 60 мин в воздушном (б) и водном (в) режимах

Механохимическая обработка в вибромельнице сопровождается существенными физико-химическими изменениями. При измельчении продолжительностью 60 мин в воздушном режиме появляются новые рефлексы (рис. 4). Иногда эти рефлексы совпадают с рефлексами оксидов железа.

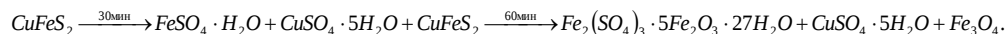
В интервале активирования 60 мин на рентгенограммах появляются новые рефлексы сульфатов и гидросульфатов железа и меди $4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ ($d = 5,11; 3,13; 3,09; 2,55; 1,987; 1,838 \text{ \AA}$); $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d=3,99; 3,44; 3,12 \text{ \AA}$) и $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($d = 5,78; 5,48; 4,38; 2,56 \text{ \AA}$) [8].

Фазовые превращения дрмбонского золото–медного сульфидного концентрата в результате механохимической активации происходят по следующей схеме:

в воздушном режиме -



в водном режиме -



При активации продолжительностью 30 мин в водном режиме кристаллическая структура халькопирита и пирита разрушается, что подтверждается появлением новых рефлексов $d=1,870$ и $1,855 \text{ \AA}$ за счет уменьшения рефлекса CuFeS_2 . Кроме фаз $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, образуется также новая фаза $d=3,12; 5,08 \text{ \AA}$, характерная для $4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$. Дальнейшая активация может привести в рентгеноаморфную форму кристаллогидрат меди - $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ с характерным рефлексом $d = 4,73 \text{ \AA}$ (рис. 4 б). Кристаллическая структура халькозина, по сравнению с таковой других минералов, более устойчива по отношению к механическому воздействию, что подтверждается отсутствием на дифрактограммах его активированных фракций новообразований.

Механоактивация в воздушном режиме приводит к аморфизации кристаллического состояния и окислению CuFeS_2 ($2,04 \text{ \AA}$) с образованием CuSO_4 , FeSO_4 , $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ($2,68 \text{ \AA}$) и Fe_3O_4 ($2,74; 2,53; 1,691 \text{ \AA}$) (рис. 4 в).

Таким образом, активация пирит-халькопиритового концентрата продолжительностью 60 мин в условиях водного и воздушного режимов приводит к глубокому физико-химическому превращению, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа. Кроме того, глубина физико-химического превращения концентратов зависит от состава примесных минералов. Данное обстоятельство необходимо учитывать при оптимизации технологических схем переработки халькопиритсодержащего сырья, включающих его предварительную механохимическую активацию.

Анализируя результаты поведения медного концентрата и входящих в его состав отдельных минералов при механохимической активации, можно заметить, что характер изменения концентрата аналогичен характеру изменения халькопирита и пирита. В обоих случаях измельчение сопровождается глубокими изменениями, которые находят отражение в их фазово-структурных характеристиках и химическом составе. В процессе измельчения образуются фазы $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$, вплоть до образования отдельных оксидов (Fe_2O_3 и Fe_3O_4), тогда как механоактивация халькозина не приводит к образованию отдельных оксидов. Это, по-видимому, связано с тем, что активация халькопирита и пирита сопровождается разрушением кристаллической решетки сульфидов с образованием сульфатов и гидросульфатов. В случае халькозина кристаллическая решетка не разрушается, а имеет место только его перестройка $\text{Cu}_2\text{S} \rightarrow \text{Cu}_{1,96}\text{S}$.

Следовательно, механохимическую активацию можно считать рациональным способом интенсификации пиро- и гидрометаллургических методов переработки сульфидных руд и концентратов. Данный метод в настоящее время постепенно используется в технологии переработки цветных металлов, особенно трудноперерабатываемых сульфидных руд и концентратов.

Кроме того, полученные сульфаты и гидросульфаты легко растворимы, что также следует учесть в предварительных обогатительных процессах.

Заключение. Изучено поведение дрмбонского медного концентрата и входящих в его состав отдельных минералов: халькопирита, пирита и халькозина, методом тонкого измельчения в вибромельнице в условиях воздушного и водного режимов продолжительностью 15, 30 и 60 мин. Показано, что как отдельные минералы, так и медный концентрат в воздушной и водной средах в результате тонкого измельчения подвергаются глубоким химическим превращениям. При активации продолжительностью измельчения 60 мин в воздушной среде образуются сульфаты меди и железа и оксиды (Fe_2O_3 и Fe_3O_4), а в водной – гидросульфаты этих металлов.

Таким образом, механохимическая подготовка сульфидного концентрата является эффективным средством повышения его реакционной способности и может найти практическое применение в гидрометаллургии. Кроме того, создается возможность за счет увеличения дисперсности решать вопросы переработки медных сульфидных концентратов, минуя утилизацию газа SO_2 , образовавшегося при переработке этих концентратов традиционными методами. Интенсифицируются также процессы в твердофазных системах.

Кристаллическая структура халькозина, по сравнению с таковой других минералов, более устойчива по отношению к механическому воздействию, что подтверждается отсутствием на дифрактограммах его активированных фракций новообразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулебакин В.Г. Превращения сульфидов при активировании.- Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1983.- 209 с.
2. Аввакумов Е.Г., Болдырев В.В., Кособудский И.Д. Механическая активация твердофазных реакций. Сообщ. 1: О взаимодействии пирита с железом // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. -1972.- Вып. 4, №9.- С. 45-50.
3. Смагунов В.Н., Рейнгольд Б.Б., Молчанов В.И. Об особенностях окисления пирита, активированного сверхтонким измельчением // Журнал прикладной химии.- 1976.- Т. 49.- С. 2339-2341.
4. Фаворская В.В., Романова А.Д., Шумакова Г.Е., Мулдарулова А.Д. Исследование механохимического окисления пирита и арсенопирита // В кн.: Химия и технология халькогенов и халькогенидов: Тез. докл.- Караганда, 1979.- С. 215-216.

5. **Абишев Д.И., Кобжасов А.К., Балтынова Н.З.** Исследование разложения пирито-содержащего сырья // В кн.: Всесоюзное совещание по термическому анализу: Тез. докл.- 1973.- С. 175-178.
6. **Соколов И.П., Чекмарев А.М., Селезнев В.П., Козырев А.В.** Особенности протекания твердофазных металлотермических реакций // Известия АН СССР. Металлы.- 1990.- N2.- С. 17-18.
7. **Болдырев В.В.** Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии / РАН.- 2006.- Т.75, вып. 3.- С. 203-216.
8. **Филиппова Н.А.** Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. - М.: Химия, 1975.- 280 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 20.08.2013.

**Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ք.Վ. ՍԱՐԿԻՍՅԱՆ, Մ.Է. ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ,
Ա.Ա. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Տ.Լ. ՏԱԼԱԿՈ**

**ԴՐՄԲՈՆԻ ՊՂՆՁԱՅԻՆ ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԻ ԵՎ ԴՐԱՆՈՒՄ ՊԱՐՈՒՆԱԿՎՈՂ
ԱՌԱՆՁԻՆ ՄԻՆԵՐԱԼՆԵՐԻ ՎԱՐՔԸ ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆՔՈՒՄ**

Քննարկվում է Դրմբոնի պղնձային սուլֆիդային խտանյութի և դրանում պարունակվող առանձին միներալների վարքը թրթռաղացում՝ օդային և ջրային ռեժիմով նուրբ մանրացմամբ մեխանաքիմիական ակտիվացման ենթարկելիս: Ցույց է տրվել, որ մինչև -10 մկմ չափսերով նուրբ մանրացման ենթարկելիս պղնձի և երկաթի սուլֆիդները ենթարկվում են քիմիական խոր փոխարկումների՝ առաջացնելով հիդրոսուլֆատներ և օքսիդներ: Վերլուծության քիմիական և ռենտգենաֆազային եղանակներով հաստատագրվել են ստացված արդյունքները:

Առանցքային բառեր. Դրմբոնի պղնձային սուլֆիդային խտանյութ, մեխանաքիմիական ակտիվացում, տարրալուծում, պղինձ, երկաթ, ոսկի:

**V.H. MARTIROSYAN, Q.V. SARKISYAN, M.E. SASUNTSYAN,
A.A. AJVAZYAN, T.L. TALAKO**

**BEHAVIOUR OF THE DRMBON COPPER SULPHIDE CONCENTRATE AND THE
MINERALS CONTAINED IN IT AT MECHANOCHEMICAL ACTIVATION**

The process of mechanochemical activation of the Drmbon copper concentrate and the separate minerals included in it by the method of their fine grinding in a vibratory mill in water and air regimes is considered. It is shown that at fine grinding (up to $-10 \text{ }\mu\text{m}$) the copper and iron sulphides are exposed to deep chemical changes transforming into sulphates and oxides. The results obtained are confirmed by the methods of chemical and x-ray phase analyses.

Keywords: Drmbon copper-sulphide concentrate, mechanochemical activation, leaching, copper, iron, gold.

Л.С. ОГАНЕСЯН, Н.Р. АРУТЮНЯН

**ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Дана оценка энергетической эффективности модернизации теплоэлектростанций (ТЭС) с использованием парогазовых технологий. Показано, что наибольшего снижения удельных расходов топлива при обновлении ТЭС можно достичь за счет внедрения прогрессивных технологий производства электроэнергии: для ТЭС на газе – это парогазовый цикл, газотурбинные надстройки паросиловых блоков и газовые турбины с утилизацией тепла.

Ключевые слова: газотурбинная установка, парогазовая установка, энергоблок, надежность.

Во всем мире прогресс в энергетике связывают с решением задач по снижению материало- и капиталоемкости, повышению эффективности, экологичности, надежности и эксплуатационных свойств энергетических установок электростанций. Одним из признанных направлений реализации поставленных задач является внедрение в энергетику комбинированных парогазовых электростанций на основе парогазовых установок (ПГУ). В энергетическом секторе, использующем в качестве топлива природный газ или жидкое топливо, приоритет ПГУ очевиден [1,2].

При выборе способов перевооружения ТЭС необходимо провести детальный анализ технических возможностей модернизируемого объекта с учетом конкретных условий проведения работ. Анализ состояния и путей совершенствования производства тепловой энергии проводится по следующим критериям.

1. Основным фактором, определяющим необходимость техперевооружения ТЭС, следует считать ресурсные условия, которые характеризуют состояние физического износа, степень промышленной безопасности и надежности оборудования, а также дают представление о моральном износе и уровне технических показателей оборудования.

2. В качестве критерия, определяющего необходимость техперевооружения ТЭС, принимается срок отработки паркового ресурса паровой турбины (ПТ).

3. Техперевооружение основного оборудования ТЭС рассматривается с позиции повышения технического уровня в целом энергоблока-энергоустановки по двум направлениям;

– замена действующего выбывающего энергоблока (энергоустановки) на основе внедрения передовой техники и технологии, что рассматривается как стратегическое обновление всего парка энергооборудования;

– замена действующего энергоблока на модернизированное паросиловое оборудование, более совершенное в конструктивном исполнении.

4. Практически в реальных условиях на ТЭС имеют место и другие мероприятия по основному оборудованию, относящиеся к частичному повышению эффективности энергоблоков, которые позволяют при минимальных затратах добиться существенного улучшения технико-экономических показателей (КПД - на 1,2%, увеличение тепловой нагрузки - до 15%).

С этой точки зрения наиболее важной задачей для энергетики является перевод паровых электростанций, работающих в основном на природном газе, на парогазовые.

Привлекательными особенностями таких ПГУ, помимо высоких КПД, являются умеренная удельная стоимость (в 1,5...2 раза ниже, чем у паровых энергоблоков близкой мощности), возможность сооружения за короткое (два года) время, вдвое меньшая потребность в охлаждающей воде, хорошая маневренность.

При техническом перевооружении электростанций возможно несколько вариантов [3].

Во-первых, строительство на площадке нового главного корпуса с оптимальной ПГУ с КПД 55...60%. Действующие энергоблоки в этом случае после окончания сроков службы выводятся в резерв или списываются. Сооружение оптимально спроектированных ПГУ в новом главном корпусе требует больших капитальных затрат, но такая электростанция обладает максимальной экономичностью. При этом увеличение единичной мощности газотурбинных установок (ГТУ) и ПГУ заметно уменьшает удельную площадь и стоимость главного корпуса.

Во-вторых, размещение ГТУ в существующих или новых главных корпусах и использование в создаваемых с ними ПГУ части имеющегося паротурбинного и электрического оборудования. Анализ мероприятий, целью которых является продление работоспособности энергоблоков на значительное время (например, на 20...30 лет, или 100...150 тыс.ч), свидетельствует о принципиальной возможности применения в таких ПГУ:

- электрического генератора и практически всего электрооборудования;
- цилиндра низкого давления, а в случае замены или восстановления части деталей - и других цилиндров паровой турбины;
- деаэратора;
- конденсатора (полностью или частично);
- насосов и трубопроводов циркуляционной системы;
- паропроводов и арматуры;
- питательного насоса;
- конденсатного насоса;
- насоса рециркуляции.

Возможность использования газотурбинной надстройки определяется следующими факторами:

- остаточным прочностным ресурсом и физическим состоянием основного и вспомогательного оборудования ПТУ;
- наличием свободной площадки и объема в ячейке энергоблока для размещения газотурбинного двигателя (ГТД) с всасывающими и выхлопными газоходами, электрогенератора с токопроводами;
- фактической пропускной способностью, мощностью и другими техническими характеристиками существующего тепло- и электротехнического оборудования;
- возможностью достижения оптимального отношения мощности газовой и паровой частей энергоблока (приблизительно 2:1).

На существующих энергоблоках ТЭС и ТЭЦ эти факторы реализуются индивидуально. Для газомазутных энергоблоков признанной технологической схемой является сбросная, т.е. сброс горячих выхлопных газов ГТД в топку парового котла.

Технологический процесс энергетической ГТУ характеризуется достаточно высокой температурой выхлопных газов и значительным содержанием в них окислителя. Оба параметра являются определяющими в технологическом процессе ПГУ сбросного типа [4,5].

В ПГУ этого типа (рис.1) выхлопные газы ГТУ 1 направляются в горелки парового котла 2, куда попадают также топливо с расходом $B_{\text{г}}$. Полученный в котле пар направляют в паровую турбину 4, имеющую систему регенеративного подогрева 5.

Уходящие газы котла проходят через газоводяные теплообменники 6, где они отдают теплоту конденсату и питательной воде. При остановке газотурбинного агрегата паротурбинная часть ПГУ может работать автономно по паротурбинному циклу. На этом режиме к горелкам котла подают воздух от вентилятора 7. Возможна также автономная работа и газотурбинного агрегата, для чего предусмотрена выхлопная труба 9. При переходе с режима на режим соответствующие переключения выполняют с помощью арматуры газовоздухопроводов 8.

Термодинамический цикл, по которому работает подобная парогазовая установка, практически не отличается от газопарового бинарного цикла с дожиганием. Отличие сводится к тому, что доля топлива, подаваемого в котел, значительно больше доли топлива в камере дожигания, соответственно больше мощность, вырабатываемая ПТ. Естественно, что с точки зрения экономичности, подобные установки, хотя и превосходят обычные паросиловые, но уступают ПГУ с котлами-утилизаторами (КУ) [6].

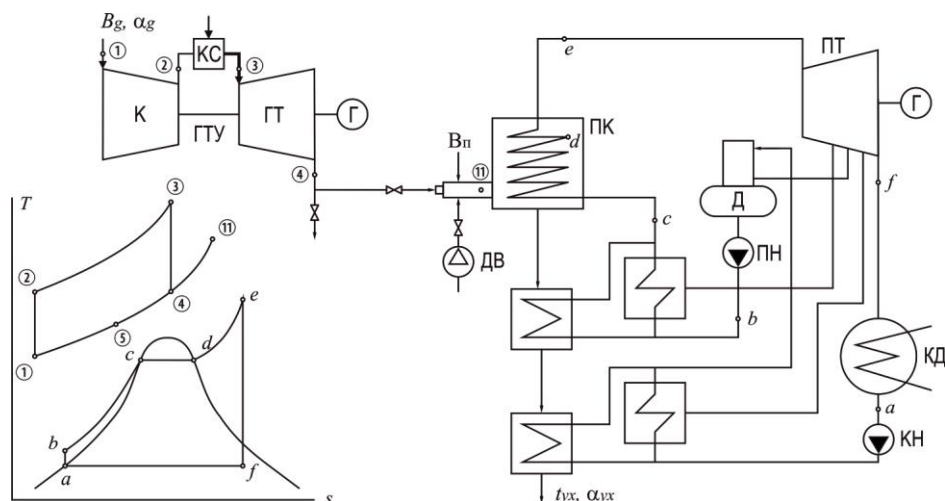


Рис. 1. Идеальный цикл и принципиальная тепловая схема ПГУ сбросного типа:
 ГТУ - газотурбинная установка; ПК - паровой котел; ПТ - паровая турбина;
 К - компрессор; КС - камера сгорания; ГТ - газовая турбина; Д - деаэрактор;
 КД - конденсатор; КН - конденсатный насос; ПН - питательный насос;
 Г - генератор

Действительно, в сбросной ПГУ реализуются два термодинамических цикла. Теплота, поступившая в камеру сгорания ГТУ вместе с топливом, преобразуется в электроэнергию так же, как и в утилизационной ПГУ, т.е. с КПД на уровне 50%, а теплота, поступившая в энергетический котел, - как в обычном паротурбинном цикле, т.е. с КПД на уровне 40%. Однако достаточно высокое содержание кислорода в уходящих газах ГТУ, а также необходимость наличия за энергетическим котлом малого коэффициента избытка воздуха приводят к тому, что доля мощности паротурбинного цикла составляет примерно 2/3, а доля мощности ГТУ - 1/3 (в отличие от утилизационной ПГУ, где это соотношение обратное). Поэтому КПД сбросной ПГУ составляет примерно

$$\eta_{ПГУ} = \frac{2}{3} \cdot 40 + \frac{1}{3} \cdot 50 = 43,3\%,$$

т.е. существенно меньше, чем у утилизационной ПГУ. Ориентировочно можно считать, что в сравнении с обычным паротурбинным циклом, экономия топлива при использовании сбросной ПГУ примерно вдвое меньше, чем утилизационной ПГУ. Однако сбросные установки имеют некоторые технические достоинства, что делает их применение в ряде случаев оправданным. Прежде всего открывается возможность выработки большой доли энергии за счет сжигания твердого топлива или топочного мазута. Кроме того, отпадает необходимость создания специального оборудования – котла-утилизатора, вместо этого может использоваться

обычный паровой котел. Поэтому установки такого типа часто создаются при модернизации действующих паросиловых электростанций путем дополнения существующего оборудования ГТУ. Иногда такое дополнение называют надстройкой. Однако выполнение такой модернизации сопряжено с необходимостью решения ряда специфических задач, и здесь возможны разные технические решения. Остановимся на основных положениях.

- Избыток воздуха α в выхлопных газах современных ГТУ в зависимости от начальной температуры и вида топлива колеблется от 2,5 до 4,5, а их температура - от 420 до 630°C. Подача газа с такой высокой температурой к горелкам парового котла невозможна, поэтому выхлопные газы приходится разбавлять атмосферным воздухом, одновременно в них увеличивается содержание окислителя (кислорода), что приводит к увеличению располагаемой мощности паротурбинной части ПГУ.

- При увеличении расхода дымовых газов за котлом (при переходе в режим ПГУ - примерно на 40%) требуется реконструкция тягодутьевых средств котла. Изменяются также условия работы дымовой трубы, что вызывает необходимость пересчета статических давлений газа в ней и др.

- В тепловой схеме ПГУ сбросного типа в паровом котле отсутствует воздухоподогреватель. Общее количество газов, проходящих через поверхность нагрева котла, увеличивается на 30...40%, а их температура за котлом (т.е. за водяным экономайзером) составляет около 300°C. Для охлаждения этих газов до температуры 120°C в конвективной шахте котла устанавливают газодынные теплообменники высокого и низкого давлений питательной воды, отводимой из системы регенерации паротурбинной установки (ПТУ). Это увеличивает расход пара в конденсатор ПТ, повышает ее электрическую мощность и снижает экономичность ПТУ. При этом соблюдаются ограничения по максимальному расходу пара в конденсатор и предельной электрической нагрузке генератора ПТУ. Завод-изготовитель ПТ (ЛМЗ) рекомендует для К-210-130 максимальное значение пропуска пара в конденсатор 125 кг/с.

- Подачей выхлопных газов ГТУ в горелочные устройства котла не исчерпываются возможности использования тепла выхлопных газов. В частности, их можно подавать в рассечку поверхностей нагрева конвективной шахты котла, где газы должны иметь соответствующую температуру.

- Так как выхлопные газы поступают в обычный котел, предназначенный для работы с разрежением, то для защиты его от наддува при отказе дымососов требуется установка быстродействующих высокотемпературных пускозащитных клапанов и байпасной дымовой трубы. Эти клапаны позволяют осуществлять раздельную работу ГТУ и ПТУ без изменения режимов работы установок. При отключении ГТУ от ПТУ пускозащитные клапаны направляют дымовые газы ГТУ в байпасную дымовую трубу.

- Для обеспечения необходимого расчетного коэффициента избытка воздуха в зоне горения котла устанавливается дополнительный вентилятор, подающий воздух в специально организованную камеру для смешения с выхлопными газами ГТУ.

- Из-за общего увеличения количества дымовых газов за паровым котлом приблизительно на 40% при переходе к парогазовому циклу потребуется реконструкция тягодутьевой установки и увеличение производительности дымососов.

- Удельные капитальные затраты на эту реконструкцию в пять раз ниже, чем на строительство новой ПГУ, так как удается использовать большую часть существующего оборудования. Однако сбросная схема не позволяет достичь КПД современных ПГУ (60%).

- Капитальные затраты на реконструкцию энергоблока, работающего по сбросной схеме на ТЭС, выработавших нормативный ресурс (до 250 *тыс.ч*), будут рационально использованы в том случае, когда продленный рабочий ресурс оставшегося в работе оборудования энергоблока будет не меньше рабочего ресурса ГТУ (36...100 *тыс.ч*). Неопределенность в оценке времени продления рабочего ресурса, рассмотренные ранее компоновочные сложности и подорожание природного газа сдерживают широкое использование этого способа реконструкции существующих газомазутных ТЭС.

- Различные схемы газотурбинных надстроек не равнозначны по воздействию на атмосферу. В схемах с вытеснением регенерации и автономным газоздухопроводом выбросы оксидов азота из газовой турбины и котла суммируются. В схеме со сбросом газов в котел оксиды азота газовой турбины и котла не суммируются, а наоборот, результирующая конструкция оксидов азота за котлом уменьшается по сравнению с автономной работой из-за значительного снижения температуры горения в котле.

- Осуществление технического перевооружения действующей электростанции с использованием парогазовой технологии требует успешной интеграции существующего и вновь устанавливаемого оборудования, что является непростой задачей.

При определении показателей тепловой экономичности ПГУ сбросного топлива условно рассматривается как некая ПГУ с КУ при предельном дожигании в нем тепла в среде выходных газов ГТУ. Здесь роль КУ выполняет паровой котел энергоблока, а роль ГТУ - функции надстройки. КПД производства электроэнергии ПГУ составляет

$$\eta_{ПГУ}^э = \frac{N_{Г}^э + N_{П}^э}{Q_{Г}^э + Q_{ПК}^э} = \frac{N_{ПГУ}^э}{Q_{ПГУ}^э}. \quad (1)$$

Для выявления влияния отдельных элементов тепловой схемы ПГУ на экономичность установки формулу (1) можно преобразовать в вид

$$\eta_{ПГУ}^3 = \frac{\eta_{ПГУ}^3 \eta_{пр} \eta_{пк} (1 + \beta_c \beta_{ym})}{(1 + \beta_c)(1 - k_{ПГУ})}. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2): N_G^3 - электрическая мощность ГТУ; $N_{ПТ}^3$ - электрическая мощность ПТУ; $N_{ПГУ}^3$ - электрическая мощность ПГУ; Q_G^c - теплота, подводимая к ГТУ с топливом; $Q_{ПК}^c$ - полезная тепловая нагрузка котла; $\eta_{ПГУ}^3$ - КПД производства электроэнергии в ПТУ; $\eta_{пр}$ - КПД транспорта теплоты; $\eta_{пк}$ - КПД парового котла; β_c - соотношение теплоты топлива, сжигаемых в ГТУ и в энергетическом паровом котле; β_{ym} - доля теплоты ГТУ, направляемой с выходными газами в энергетический паровой котел; $N_{ПГУ} = N_G^3 / N_{ПГУ}^3$ - коэффициент относительной мощности ПГУ.

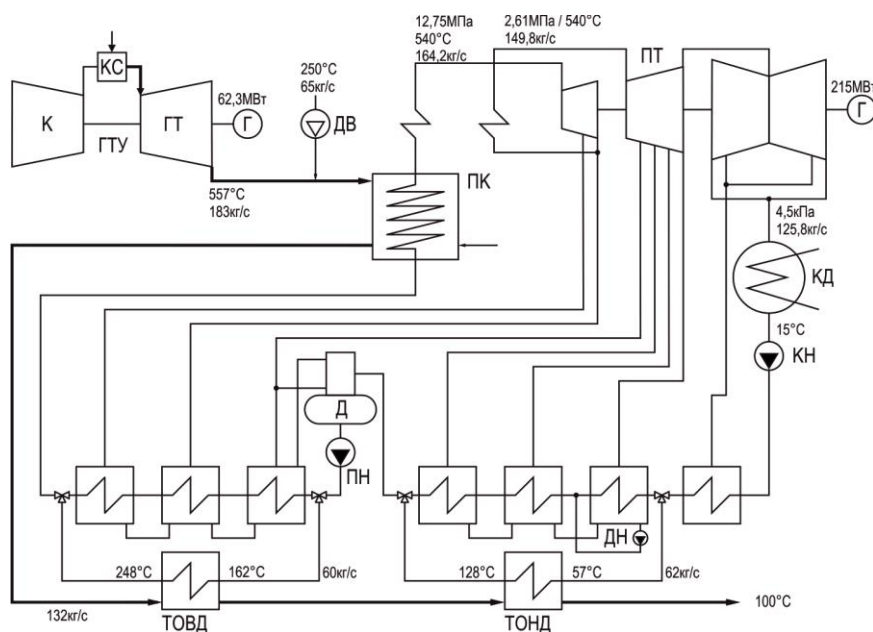


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема ПГУ сбросного типа с использованием ГТУ типа V64.3 (Siemens) и ПТУ типа K-210-130:

ГТУ - газотурбинная установка; ПК - паровой котёл; ПТ - паровая турбина;
 К - компрессор; КС - камера сгорания; ГТ - газовая турбина; Д - деаэратор;
 КД - конденсатор; КН - конденсатный насос; ПН - питательный насос;
 Г - генератор; ТОВД и ТОНД - теплообменники высокого и низкого давления, расположенные в дополнительной конвективной шахте парового котла

В результате выполненного расчета для ПГУ сбросного типа с ПТУ типа К-210-130 (ЛМЗ), энергетической ГТУ типа V64.3 (Siemens) и газомазутным паровым котлом (рис.2) получены показатели тепловой экономичности при номинальной нагрузке элементов схемы для $t_{нв} = 15^{\circ}\text{C}$. Согласно этим расчетам, КПД производства электроэнергии составит $\eta_{\text{ПГУ (нетто)}}^{\circ} = 43,9\%$.

Проанализирован вариант применения двух ГТУ мощностью 110 *MВт* на одну турбину К-210-130. КПД производства электроэнергии при этом увеличивается с 37 до 49,5%.

Анализ возможных технических решений по преобразованию паровых электростанций в парогазовые позволяет сделать следующие выводы:

1. Физическое изношенное оборудование электростанций, использующих природный газ, должно быть заменено бинарными ПГУ с экономичностью 50...60%.
2. При модернизации существующих блоков ПГ в первую очередь целесообразно рассматривать схемы со сбросом отработавших в ГТУ газов в котел.
3. Расчеты показывают, что наилучшие результаты наблюдаются при использовании двух ГТУ мощностью 110 *MВт* на одну турбину К-210-130, КПД электростанции при этом увеличится с 37 до 49,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов А.Ф., Попырин Л.С., Фаворский О.Н. Перспективные направления применения газотурбинных и парогазовых установок в энергетике России // Теплоэнергетика. - 1997. - No 2. - С. 59-64.
2. Ольховский Г.Г., Тумановский А.Г. Теплоэнергетические технологии в период до 2030г. // Известия РАН. Энергетика. - М.: Наука, 2008. - No 6. - С.79-94.
3. Фаворский О.Н., Полищук В.Л. Выбор тепловой схемы и профиля отечественной мощной энергетической ГТУ нового поколения ПГУ на ее основе // Теплоэнергетика.- 2010.- No 2. - С. 2-7.
4. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. - М.: Изд-во МЭИ, 2002. - 584 с.
5. Безлепкий В.П. Парогазовые установки со сбросом газов в котел. - Л.: Машиностроение, 1984. - 232 с.
6. Буров В.Д., Цанев С.В., Торжков В.Е. Эффективность технологического перевооружения паротурбинных теплофикационных энергоустановок с использованием парогазовой технологии // Энергосбережение и водоподготовка. - 2001. - No 1.- С. 4-10.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 11.07.2013.

Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ն.Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ
ՇՈՔԵԳԱԶԱՅԻՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ՋԵՐՄԱՅԻՆ
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՎԵՐԱԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Տրված է շոգեգազային տեխնոլոգիաների կիրառմամբ ջերմային էլեկտրակայանների (ՋԷԿ) վերակառուցման էներգետիկական արդյունավետության գնահատականը: Ցույց է տրված, որ ՋԷԿ-ի վերակառուցման պարագայում վառելիքի տեսակարար ծախսի առավելագույն նվազեցման կարելի է հասնել էլեկտրաէներգիայի արտադրության առաջավոր տեխնոլոգիաների ներդրման միջոցով: Գազային ՋԷԿ-երի համար դրանք են շոգեգազային ցիկլը, շոգեուժային բլոկների գազատուրբինային վերնակառույցը և ջերմության օգտահանմամբ գազային տուրբինները:

Առանցքային բաներ. գազատուրբինային տեղակայանք, շոգեգազային տեղակայանք, էներգաբլոկ, հուսալիություն:

L.S. HOVHANNISYAN, N.R. HARUTYUNYAN
ESTIMATING THE POWER EFFICIENCY OF THE THERMAL POWER PLANT
MODERNIZATION BY USING COMBINED-CYCLE TECHNOLOGIES

The power efficiency of the thermal power plant (TPP) modernization by using combined-cycle technologies is introduced. It is shown that it is possible to achieve the greatest decrease in the [specific fuel consumption](#) at modernizing the TPP at the expense of introducing progressive "know-how" of the electric power generation: for TPP on gas, it is combined-cycle, gas-turbine superstructures of steam-power plants and gas-turbines with heat utilization.

Keywords: gas-turbine power plant, combined-cycle power plant, power plant, reliability.

Л.О. КАРАХАНИЯН, Б.Т. ГНУНИ

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 400 кВ АРМЕНИЯ - ИРАН

Разработана математическая модель расчета установившегося режима двухцепной линии электропередачи (ЛЭП) 400 кВ, в которой учтено наличие гроззащитных тросов, потерь на корону и поперечных емкостей, а также несимметричных магнитных связей. Приведены результаты исследования работы ЛЭП в разных аварийных режимах.

Ключевые слова: двухцепная ЛЭП, корона, аварийный режим, собственная и взаимная индуктивность, короткое замыкание, неполнофазный режим.

В связи с предстоящим вводом в эксплуатацию двухцепной ЛЭП 400 кВ Армения – Иран протяженностью 300 км возникает необходимость расчета и анализа аварийных режимов ее работы. При исследовании режимов работы ЛЭП требуется учет потерь электроэнергии на корону, поскольку величина годовых потерь энергии на корону имеет ощутимое значение и может достигать до 40% от потерь на нагрев проводов. Оценка величины потерь энергии на корону проводится на основе экспериментально полученных данных [1, 2].

Для расчета режимов двухцепной ЛЭП 400 кВ Армения – Иран составим ее схему замещения (рис. 1).

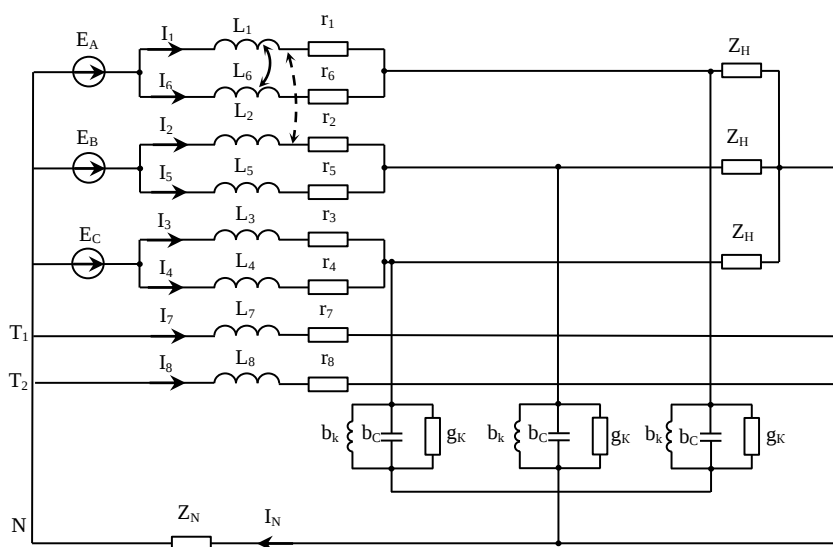


Рис. 1. Схема замещения ЛЭП 400 кВ Армения – Иран под нагрузкой

Записанная на основе законов Кирхгофа для схемы замещения ЛЭП 400 кВ (рис. 1) система уравнений установившегося режима имеет вид

$$\begin{cases} \dot{E}_A = \dot{I}_1 r_1 + Z^* (\dot{I}_1 + \dot{I}_6) + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{1j} \dot{I}_j, \\ \dot{E}_B = \dot{I}_2 r_2 + Z^* (\dot{I}_2 + \dot{I}_5) + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{2j} \dot{I}_j, \\ \dot{E}_C = \dot{I}_3 r_3 + Z^* (\dot{I}_3 + \dot{I}_4) + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{3j} \dot{I}_j, \\ \dot{E}_C = \dot{I}_4 r_4 + Z^* (\dot{I}_3 + \dot{I}_4) + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{4j} \dot{I}_j, \\ \dot{E}_B = \dot{I}_5 r_5 + Z^* (\dot{I}_2 + \dot{I}_5) + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{5j} \dot{I}_j, \\ \dot{E}_A = \dot{I}_6 r_6 + Z^* (\dot{I}_1 + \dot{I}_6) + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{6j} \dot{I}_j, \\ 0 = \dot{I}_7 r_7 + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{7j} \dot{I}_j, \\ 0 = \dot{I}_8 r_8 + \dot{I}_N Z_N + j\omega \sum_{j=1}^8 M_{8j} \dot{I}_j, \\ \dot{I}_N = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4 + \dot{I}_5 + \dot{I}_6 + \dot{I}_7 + \dot{I}_8, \end{cases} \quad (1)$$

где $Z^* = \frac{Z_H \cdot Z'}{Z_H + Z'}$, $Z' = Y^{-1} = \frac{1}{g_K + j(b_c + b_k)}$; g_K - активная проводимость потерь на корону ($g_K = 3,6403 \cdot 10^{-5}$ См); b_c - реактивная проводимость поперечной емкости ($b_c = 2,2 \cdot 10^{-3}$ См); b_k - индуктивная проводимость компенсирующего реактора ($b_k = 3,8 \cdot 10^{-3}$ См); $\dot{I}_i$, $i = \overline{1, 8}$ - комплексные величины токов соответственно в фазных проводах и тросах; $\dot{I}_N$ - ток, протекающий по земле; $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ - комплексные величины фазных ЭДС; $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = r_6 = 7,5$ Ом - активное сопротивление фазных проводов; $r_7 = r_8 = 50$ Ом - активное сопротивление грозозащитных тросов; $Z_N = R_N + jX_N = 13,067 + j5,026$ Ом - сопротивление земли; Z_H - сопротивление нагрузки ($R_H = 124$ Ом, $\cos \varphi = 0,85$); $\omega = 314$ рад/с - угловая частота; $M_{i,j}$ - собственные и взаимные индуктивности ЛЭП ($L_i = M_{i,i}$, $i = \overline{1, 8}$).

Индуктивности L_i и $M_{i,j}$ выражаются следующими формулами [3,4]:

$$L_i = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r_s} - 1 \right), \quad (2)$$

$$M_{i,j} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{h_{nm}} - 1 \right), \quad (3)$$

где r_s - эквивалентный радиус сечения расщепленных проводов фаз, или радиус сечения грозозащитного троса, $r_s = \sqrt{r \cdot D} = \sqrt{1,58 \cdot 10^{-2} \cdot 0,36} = 0,0754$ м (r – радиус сечения проводов ($r = 0,0158$ м); D – расстояние между двумя расщепленными фазами ($D = 0,36$ м)); $r_t = 0,015$ м; h_{nm} – расстояние между осями проводов; μ_0 - магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); l – общая длина ЛЭП 400 кВ Армения – Иран ($l = 300$ км).

Значения собственных и взаимных индуктивностей проводов ЛЭП 400 кВ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения собственных и взаимных индуктивностей проводов ЛЭП 400 кВ

N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,9534	0,6572	0,6242	0,6572	0,6242	0,6156	0,6632	0,6400
2	0,6572	0,9534	0,6572	0,6242	0,6156	0,6242	0,6204	0,6071
3	0,6242	0,6572	0,9534	0,6156	0,6242	0,6572	0,5990	0,5951
4	0,6572	0,6242	0,6156	0,9534	0,6572	0,6242	0,6400	0,6632
5	0,6242	0,6156	0,6242	0,6572	0,9534	0,6572	0,6071	0,6204
6	0,6156	0,6242	0,6572	0,6242	0,6572	0,9534	0,5951	0,5990
7	0,6632	0,6204	0,5990	0,6400	0,6071	0,5951	1,0503	0,6601
8	0,6400	0,6071	0,5951	0,6632	0,6204	0,5990	0,6601	1,0503

Рассмотрим следующие аварийные режимы работы ЛЭП:

- однофазное короткое замыкание (к.з. на фазе В);
- двухфазное короткое замыкание (к.з. на фазах В и С);
- неполнофазные режимы (при отключении фазы В на одной из цепей);
- отключена одна цепь.

Для имитации режима однофазного короткого замыкания на ЛЭП и расчета фазных токов в ЛЭП необходимо в модели (1) активное сопротивление потерь на корону одной из фаз приравнять к нулю. В качестве расчётного принят случай

к.з. на фазе В ($\frac{1}{g_{KB}} = 0$ Ом). Рассчитанные по (1) для однофазного к.з. комплекс-

ные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах при однофазном к.з.

N	$\dot{I}, A$	$ \dot{I} , A$
1	$1064,8 + j355,8$	1122,6
2	$-1631,7 - j203,5$	1644,4
3	$1,1 + j732,2$	732,2
4	$-144,3 + j906,2$	917,6
5	$-1633,6 - j203,5$	1646,3
6	$1205,2 + j181,6$	1218,8
T1	$417 - j621,7$	748,6
T2	$477,9 - j624,1$	786
N	$-243,7 + j522,9$	576,9

При этом напряжения на фазах нагрузки примут значения

$$U_{наг.А} = |(\dot{I}_1 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 368,58 \text{ кВ}, \quad U_{наг.В} = |(\dot{I}_2 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 0 \text{ кВ},$$

$$U_{наг.С} = |(\dot{I}_3 + \dot{I}_4) \cdot Z^*| = 259,86 \text{ кВ}.$$

Аналогичным образом можно рассчитать токи в фазных проводах и напряжения на нагрузках при двухфазном к.з., приравняв в модели (1) к нулю активные сопротивления потерь на корону двух фаз. В качестве расчётного принят случай двухфазного к.з. на фазах В и С ($\frac{1}{g_{KB}} = 0 \text{ Ом}$ и $\frac{1}{g_{KC}} = 0 \text{ Ом}$). Рассчитанные по (1) для двухфазного к.з. комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах приведены в табл. 3.

Таблица 3

Комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах при двухфазном к.з.

N	$\dot{I}, A$	$ \dot{I} , A$
1	$1045 + j67,3$	1047,2
2	$-2609,7 + j164,5$	2614,9
3	$1780,3 + j489,7$	1846,4
4	$1815 + j654,1$	1929,3
5	$-2609 + j165,7$	2614,3
6	$1011,9 - j93,8$	1016,3
T1	$-139,6 - j526,6$	544,8
T2	$-162,1 - j564,9$	587,6
N	$131,8 + j356,1$	379,8

При этом напряжения на нагрузках примут значения

$$U_{наг.А} = |(\dot{I}_1 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 325,05 \text{ кВ}, \quad U_{наг.В} = |(\dot{I}_2 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 0 \text{ кВ}, \\ U_{наг.С} = |(\dot{I}_3 + \dot{I}_4) \cdot Z^*| = 0 \text{ кВ}.$$

Для расчета режима работы ЛЭП в неполнофазном режиме необходимо в модели (1) приравнять к нулю активную проводимость данной фазы линии, имитируя таким образом разрыв фазы. В качестве расчётного принят случай разрыва фазы В на одной из цепей. Комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах приведены в табл. 4.

Таблица 4

Комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах при разрыве фазы на одной из цепей

	$\dot{I}, A$	$ \dot{I} , A$
1	771,3 + j34,4	772,1
2	0	0
3	-426,7 + j548,1	694,6
4	-350,4 + j707,0	789,1
5	-899,8 – j1081,8	1407,1
6	864 + j120	872,3
T1	-16,2 – j141,7	142,6
T2	55,8 – j111,1	124,3
N	-1,9 + j74,8	74,8

Для этого случая напряжения на нагрузках примут значения

$$U_{наг.А} = |(\dot{I}_1 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 259,54 \text{ кВ}, \quad U_{наг.В} = |(\dot{I}_2 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 222,33 \text{ кВ}, \\ U_{наг.С} = |(\dot{I}_3 + \dot{I}_4) \cdot Z^*| = 233,26 \text{ кВ}.$$

Для определения режима работы ЛЭП 400 кВ с отключенной одной цепью построим графики зависимости изменения передаваемой активной мощности (рис. 2) и напряжения на нагрузке (рис. 3) от величины активного сопротивления нагрузки, интервал изменения которого примем в пределах $R_H = [0, 700] \text{ Ом}$. Коэффициент мощности нагрузки принят неизменным и равным $\cos\varphi = 0,85$. Для увеличения пропускной способности ЛЭП при отключенной одной цепи используются индуктивные компенсаторы, проводимость которых для данного режима принята $b_K = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ См}$.

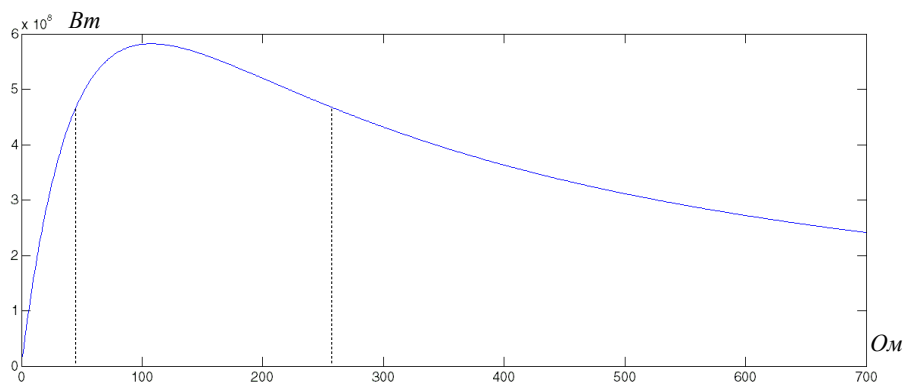


Рис. 2. Зависимость передаваемой по ЛЭП мощности от величины сопротивления при отключенной одной цепи

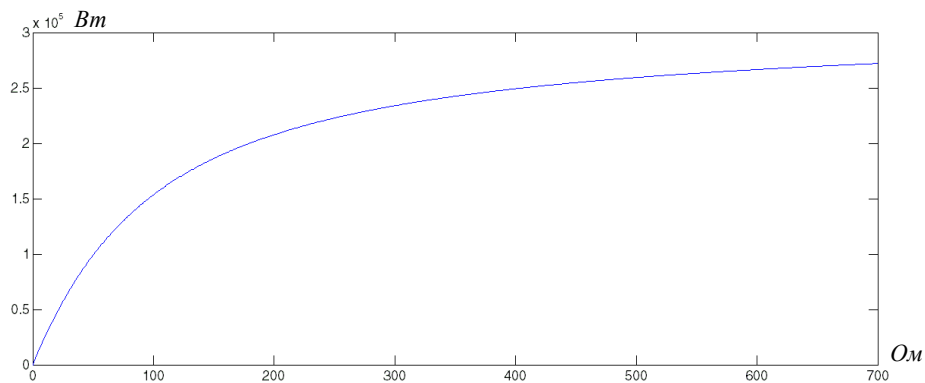


Рис. 3. Зависимость напряжения на нагрузке от величины сопротивления при отключенной одной цепи

С учетом требований по обеспечению 20%-го запаса по статической устойчивости получим условие длительно допустимого режима передачи мощности по ЛЭП, значение которой составит 465,53 МВт. Как видно из рис. 2, допустимый режим работы данной ЛЭП можно осуществить при двух различных значениях активного сопротивления нагрузки, а именно: при $R_{n1} = 46 \text{ Ом}$ и $R_{n2} = 259 \text{ Ом}$. Расчеты установившегося режима показывают, что экономически целесообразным является значение $R_n = 259 \text{ Ом}$.

Для рассматриваемого режима с учетом $R_n = 259 \text{ Ом}$ расчетные комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах представлены в табл. 5.

Таблица 5

Комплексные значения и модули токов в фазных проводах и грозозащитных тросах при работе ЛЭП с отключенной одной цепью

N	$\dot{I}, A$	$ \dot{I} , A$
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	$-374,2 + j610,1$	715,8
5	$-351,7 - j616$	709,3
6	$665 - j3,7$	665
T1	$23,1 - j4,4$	23,5
T2	$52,1 - j7,7$	52,6
N	$14,2 - j21,7$	25,9

При этом напряжения на нагрузках примут значения

$$U_{наг.А} = |(\dot{I}_1 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 225,03 \text{ кВ}, \quad U_{наг.В} = |(\dot{I}_2 + \dot{I}_6) \cdot Z^*| = 240,01 \text{ кВ},$$

$$U_{наг.С} = |(\dot{I}_3 + \dot{I}_4) \cdot Z^*| = 242,19 \text{ кВ}.$$

Потребляемая нагрузкой мощность составит

- для фазы А: $\tilde{S}_{наг.А} = U_{наг.А}^2 / Z_H^* = 141,26 + j87,543 \text{ МВА};$
- для фазы В: $\tilde{S}_{наг.В} = U_{наг.В}^2 / Z_H^* = 160,7 + j99,592 \text{ МВА};$
- для фазы С: $\tilde{S}_{наг.С} = U_{наг.С}^2 / Z_H^* = 163,63 + j101,41 \text{ МВА};$

$$\sum \tilde{S}_{наг} = \tilde{S}_{наг.А} + \tilde{S}_{наг.В} + \tilde{S}_{наг.С} = 465,59 + j288,54 \text{ МВА}.$$

Выводы

1. На основе разработанной математической модели установившегося режима двухцепной ЛЭП проведены расчеты и исследованы параметры ее работы в различных аварийных режимах (несимметричные к.з. и неполнофазные режимы).
2. Для режима ЛЭП с отключенной одной цепью получены графики зависимости передаваемой мощности и напряжения на нагрузках от изменения сопротивления нагрузки.
3. Для режима ЛЭП с отключенной одной цепью получено значение длительно допустимой передаваемой активной мощности с учетом требований по обеспечению статической устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тамазов А.М.** Корона на проводах воздушных линий переменного тока. - М.: Компания "Спутник", 2002. – 318 с.
2. **Егиазарян Л.В., Сафарян В.С., Караханян Л.О., Арутюнян А.С.** К вопросу уточнения расчета потерь мощности на корону в высокогорных воздушных линиях электропередачи // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2010.-Т. LXIV, N1.- С 63-69.
3. **Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л.** Теоретические основы электротехники: Учебник для ВУЗ-ов. В 3-х томах: Том 3.- СПб.: Питер, 2004. – 377 с.
4. **Александров Г.Н.** Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения. – СПб.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.

ЗАО "НИИ Энергетики". Материал поступил в редакцию 10.07.2013.

Լ. Հ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Բ.Տ. ԳՆՈՒՆԻ

ՀԱՅԱՍՏԱՆ – ԻՐԱՆ 400 կՎ ԵՐԿՇՂԹԱ ԷԼԵԿՏՐԱԶԱՐԱՆՈՐԴՄԱՆ ԳԾԻ ՎԺԱՐԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ

Մշակված է երկշղթա էլեկտրահաղորդման գծի (ԷՀԳ) կայունացված ռեժիմի հետազոտման մաթեմատիկական մոդելը, որը հաշվի է առնում ամպրոպապաշտպան ճոպանները, պսակաձև պարպման և լայնական ունակությունների վրա կորուստները, ինչպես նաև ոչ համաչափ մագնիսական կապերը: Ներկայացված են երկշղթա ԷՀԳ-ի վթարային տարբեր ռեժիմների հետազոտության արդյունքները:

Առանցքային բաներ. Երկշղթա ԷՀԳ, պսակաձև պարպում, վթարային ռեժիմ, սեփական և փոխադարձ ինդուկտիվություն, կարճ միացում, ոչ լիաֆազ ռեժիմ:

L.H. KARAKHANYAN, B.T. GNUNI

INVESTIGATING THE EMERGENCY OPERATIONS OF A DOUBLE CIRCUIT 400 kV POWER LINE ARMENIA - IRAN

A mathematical model for calculating the established operation of a double-circuit 400 kV power line taking into account the presence of the overhead ground-wire cable, losses on the corona and the latitudinal capacities, as well as the asymmetric magnetic couplings is developed. The results of investigation of the power line operation at different emergency regimes are introduced.

Keywords: double circuit power line, corona, emergency operation, own and mutual inductance, short circuit, phase unbalance.

УДК 541.124.2

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Л.А. СУКОЯН

**ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕМБРАНЫ
СВЕТОАДРЕСОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАРА
ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА**

Проведены измерения резистивных параметров новых структур (BST/Pt /SiO₂) при воздействии пара пероксида водорода.

Ключевые слова: нанопленки, пероксид водорода, резистор, полупроводник.

Введение. Датчики с чувствительной ферроэлектрической мембраной представляют особый интерес с точки зрения медицины и могут стать основой для развития технологии “Лаборатория на одном чипе” [1]. Сущность этой технологии заключается в том, что на основе одного кристалла создаются чувствительные к разным веществам мембраны, в результате чего при помощи всего лишь одной подложки можно проверить наличие нескольких веществ и произвести расчет их концентрации. Работа датчика основана на явлении изменения сопротивления структуры за счет воздействия внешнего реагента.

Ферроэлектрические керамические и пленочные структуры благодаря своим свойствам и многофункциональности широко применяются во многих областях. В настоящее время идет активная разработка этих структур для использования в медико-биологических датчиках.

Методы исследования. Пар пероксида водорода благодаря своим сильным антимикробным свойствам используется для дезактивации микроорганизмов, таких как бактерии, грибки, вирусы и т.д. [2-7]. Для полной стерилизации пар пероксида водорода нагревают до температуры 200°C и используют концентрации H₂O₂ до 10% [7-12].

Известно, что у здоровых людей концентрация неиспаряемых веществ в выдыхаемом воздухе слишком мала [13,14], однако у людей с легочными заболеваниями она существенно повышается. Например, при воспалении легких лейкоциты в крови человека начинают воспроизводить пероксид водорода и другие химические соединения, чтобы сразить вредоносные бактерии, которые завелись в организме. Кроме легочных заболеваний, курение тоже приводит к воспалительным процессам в легких, то есть в этих случаях концентрация H₂O₂ начинает расти. Таким образом, определение концентрации H₂O₂ в выдыхаемом воздухе может послужить основой для неинвазивной и быстрой диагностики многих заболеваний на ранней стадии.

Одним из основных факторов диагностики таких легочных заболеваний, как астма, пневмония, легочная недостаточность и другие хронические воспаления, является определение концентрации пероксида водорода в выдыхаемом воздухе [15,16].

С этой точки зрения, важно найти совместимые в настоящей микроэлектронной технологии дешевые нанопленки/датчики, которые проявляют чувствительность к пару пероксида водорода.

Учитывая высокую каталитическую активность ферроэлектрических материалов, их диэлектрическую проницаемость, а также устойчивость к реагентам и многофункциональность, при изучении пара пероксида водорода нами были использованы пленки из титаната бария-стронция (BST).

Конфигурация исследуемого датчика приведена на рис.1. Датчик состоит из металлических ($Pt \sim 50$ нм) микрополосковых электродов, нанесенных на SiO_2 подложку методом термического напыления. Pt электроды сверху покрыты слоем $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ толщиной порядка 110 нм лазерно-импульсным осаждением из керамических мишеней, полученных нами методом высокотемпературного самораспространяющегося синтеза (СВС) в лаборатории “Микро- и нанoeлектроники” ГИУА. Сенсор состоит из нескольких слоев: подложки-pSi-SiO₂, платиновых электродов и BST (титаната бария-стронция).

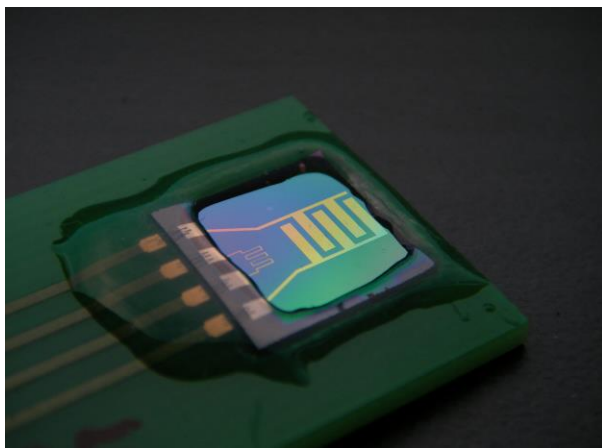


Рис. 1. Исследуемый образец

На рис. 2 приведен разрез электродов с размерами: $a=600$ мкм, $b=324$ мкм и $c=2900$ мкм. (Датчик изготовлен при содействии коллег из Аахенского университета прикладных наук, Германия).

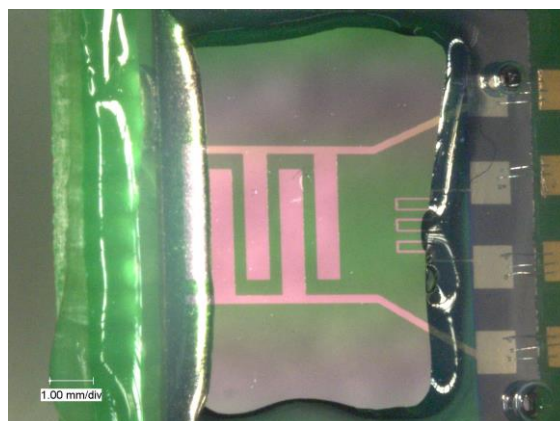


Рис. 2. Вид и размеры электродов

Экспериментальные данные. Во время экспериментов был использован раствор пероксида водорода в разных концентрациях (3, 6, 10, 15%). Для каждой концентрации было выбрано по 10 мг вещества. Измерения резистивных параметров образцов проводились универсальным измерительным прибором E7-14 (погрешность прибора равна 0,1%). Упрощенная структура экспериментального стенда приведена на рис. 3.

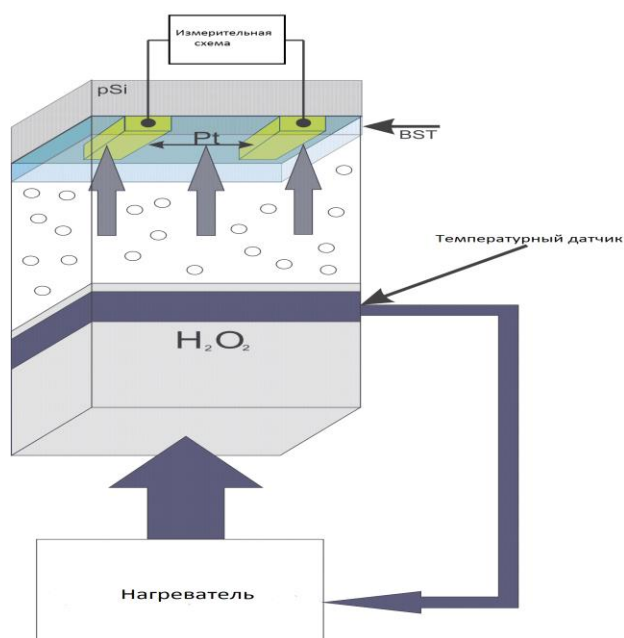


Рис. 3. Упрощенная структура экспериментального стенда

Во время эксперимента фиксировались данные для диапазона температур от 20 до 100°C. Из рис. 4 видно, что значения сопротивления начинают меняться, когда температура вещества достигает 55...70°C, и стабилизируются начиная с температуры $T=95^\circ\text{C}$. Чем выше концентрация H_2O_2 , тем выше температура, при которой происходит крутой спад сопротивления.

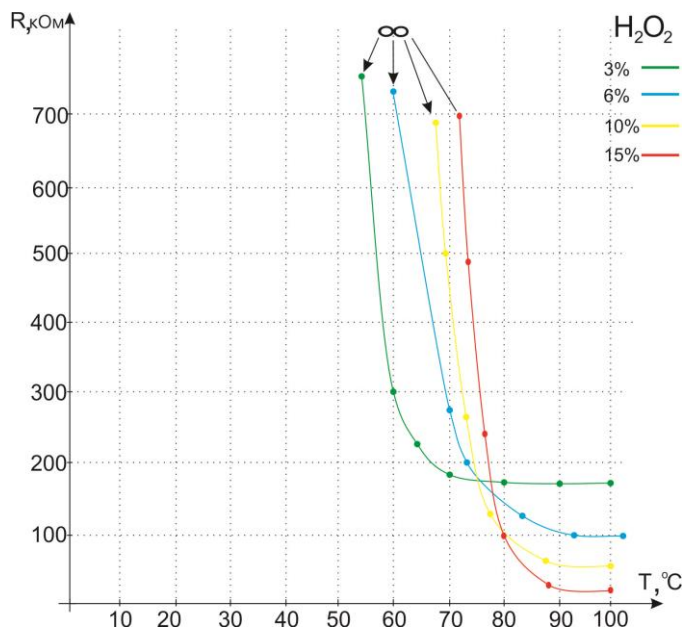


Рис. 4. Зависимости сопротивления от температуры вещества при разных концентрациях пероксида водорода

На рис. 5 показана зависимость сопротивления образца от плотности пероксида водорода при температуре раствора: $T=100^\circ\text{C}$. Как видно из рисунка, при росте концентрации пероксида максимальное значение сопротивления при определенной температуре уменьшается. Такой вид зависимости R при воздействии пара пероксида водорода можно объяснить следующим образом: при нагревании пероксида водорода получают водяные пары и атомы кислорода. Как известно, атомы кислорода при высоких температурах являются сильными оксидантами. Приближаясь к поверхности пленки BST, атомы O, содержащиеся в паре пероксида, “конфискуют” находящиеся в BST атомы кислорода и, объединяясь с ними, образуют молекулы кислорода. Вследствие этого в пленке BST образуются новые кислородные вакансии, из-за которых изменяется диэлектрическая проницаемость BST. Чем выше концентрация H_2O_2 , тем больше поднимается концентрация атомарного кислорода в паре. То есть, с увеличением концентрации H_2O_2 увеличивается количество новых вакансий и, как следствие, уменьшается диэлектрическая проницаемость BST [17,18].

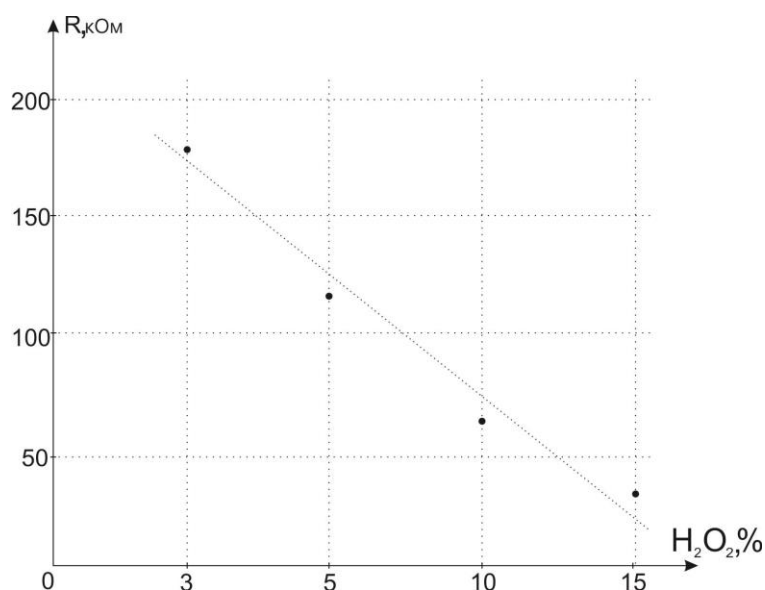


Рис. 5. Зависимость сопротивления датчика от концентрации пероксида при температуре $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сущность физической модели заключается в следующем: расщепленный атом кислорода, контактируя с поверхностью BST, захватывает атом кислорода. Для нейтрализации вакансии кислорода элементарная ячейка BST поглощает электроны из зоны проводимости, держа их в “ловушках” в связанном состоянии. Таким образом, ячейка BST сохраняет электрическую нейтральность. А поскольку в высоких температурах вещество нестабильно, то высока вероятность того, что из захваченных “ловушек” электроны могут термически переброситься в зону проводимости, и, как следствие, начальная концентрация электронов увеличивается, а сопротивление образца уменьшается.

Заключение. Эксперименты показали, что датчики такого типа проявляют чувствительность к пару пероксида водорода и их можно использовать в качестве чувствительной мембраны к пару пероксида водорода.

Дальнейшие исследования будут посвящены возможности интегрирования работы такого датчика со светоадресованными и другими типами медико-биологических устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Բունիաթյան Վ.Վ., Սուրբյան Լ.Հ., Դաշտոյան Հ.Ռ.** Լուսահասցեունակ Կենսաբժշկական տվիչների հետազոտումը // ՀՊՃՀ-ի ԼԲԱԲԵԲ. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2012. - Մաս 1.- էջ 381-385:
2. **McDonnell G. and Russell D.** // Clin. Microbiol. Rev.- 1999.- 12. - P. 147-153.
3. **Heckert R.A., Best M., Jordan L.T., Eddington D.L. and Sterritt W.G.** // Appl. Environ. Microbiol.- 1997. - P. 633-916.
4. **Kokubo M., Inoue T., and Akers J.** // PDA J. Pharm. Sci.Technol.- 1998. – P.-52-58.
5. **Toniolo R., Geatti P., Bontempelli G., and Schiavon G.** // J. Electroanal Chem. - 2001. - P. 514-123.
6. **Klapes N.A. and Vesley D.** // Appl. Environ. Microbiol.-1990.- 56. - P. 503-511.
7. **Graham G.S., Rickloff J.R., and Dalmasso J.P.** // Proceedings of the International Congress of Parenteral Drug Association. - Basel, Switzerland.- 1992. - P. 32–51.
8. **Hultman C., Hill A., and McDonnell G.** // Pharm. Eng.- 2006. - P. 22-27.
9. **Sigwart V. and Stark A.** // PDA J. Pharm. Sci. Technol. - 2003. - 3. - P. 57-63.
10. **Imai K., Watanabe S., Oshima Y., Kokubo M., and Akers J.** // Pharm. Eng. 2006.- 26.- P. 96-108.
11. **Unger-Bimezok B., Kottke V., Hertel C., and Rauschnabel J.** // Pharm. - 2008. - Innov. 3. - P. 123-129.
12. **Labas M. D., Zalazar C. S., Brandi R. J., and Cassano A. E.** // Biochem. Eng. - 2008. - J. - P. 38- 78.
13. **Сукоян Л.А., Бегоян В.К., Бунятян В.В.** Чувствительность ферроэлектрических нанопленок к пару пероксида водорода // Вестник ГИУА (Политехник). Серия "Информационные технологии. Электроника. Радиотехника". - 2013. - Вып. 16, № 2. С. 76-81
14. **Hunt J.** Exhaled Breath Condensates as a Source for Biomarkers for Characterization of Inflammatory Lung Diseases // Journal of Allergy and Clinical Immunology.-2002.- Vol 110(1). - P. 28-34.
15. **Lases E.C., Duurkens V.M., Gerritsen W.B.M. and Haas F.J.L.M.** A hydrogen peroxide sensor for exhaled breath measurement // Chest. - 2002. - Vol. 117(4). - P. 999-1002.
16. **Zhou M., Diwu Z., Panchuk-Vdoshina N. and Haugland P.** A stable no fluorescent derivative of resourcing for the fluorometric determination of trace hydrogen peroxide: applications in detecting the activity of phagocyte NADPH oxides and other oxidizes // Analytical Biochemistry.- 1997. - Vol. 253(2). - P. 162-168.
17. **Buniatyan V.V., Martirosyan N.W., Vorobiev A., and Gevorgian S.** Dielectric model of point charge defects in insulating paraelectric perovskites // J. Appl. Phys.-2011.-Vol. 110. - P. 094110-1-11.
18. **Oxygen vacancy affect on ferroelectric characteristics (Part 2) /V.V. Buniatyan, N.W. Martirosyan, V.K. Begoyan, et al** // Proceed. of Engineering of Academy of Armenia. - 2011. - Vol. 8, № 3. - P. 542-429.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 11.10.2013.

Լ.Հ. ՍՈՒՔՈՅԱՆ

ԼՈՒՍԱՀԱՍՑԵՈՒՆԱԿ ՏՎԻՉՆԵՐԻ ԹԱՂԱՆԹԻ ԴԻՄԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՈՒՄԸ ՋՐԱԾՆԻ ՊԵՐՕՔՍԻԴԻ ԳՈԼՈՐՇՈՒ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ

Կատարվել են նոր կառուցվածքների (BST/Pt/SiO₂) դիմադրության փոփոխության չափումներ՝ ջրածնի պերօքսիդի գոլորշու ազդեցության տակ:

Առանցքային բառեր. նանոթաղանթներ, ջրածնի պերօքսիդ, դիմադրություն, կիսահաղորդիչ:

L.H. SUKOYAN

MEASURING THE RESISTIVE PARAMETERS OF THE MEMBRANE OF
LIGHT-ADDRESSED SENSORS UNDER THE INFLUENCE OF HYDROGEN
PEROXIDE VAPOR

The resistive parameters of the new structures (BST/Pt /SiO₂), at the influence of hydrogen peroxide vapor are measured.

Keywords: nanofilms, hydrogen peroxide, resistor, semiconductor.

В.Т. ВАРДАНЯН

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА И ЗРИТЕЛЬНОГО
ЦЕНТРА МОЗГА**

Разработано устройство для одновременной регистрации ретинограммы и электроэнцефалограммы коры головного мозга при воздействии на сетчатку световых стимулов различной интенсивности и длительности. По своим техническим показателям устройство не уступает западным аналогам и может использоваться в глазных клиниках для оценки функционального состояния путей проведения зрительной информации в центральную нервную систему человека.

Ключевые слова: микропроцессорная аппаратура, ретинограмма, электроэнцефалограмма, вызванные ответы, световые стимулы.

В настоящее время при диагностике заболеваний зрительной системы человека (рис.1) широкое распространение получили электрофизиологические методы исследования, к которым, в частности, относятся электроретинография (ЭРГ) и регистрация зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) коры головного мозга [1].

ЭРГ возникает при воздействии на сетчатку световых стимулов различной интенсивности, длительности и частоты следования. Практическая ценность ЭРГ определяется тем, что она является чувствительным методом оценки функционального состояния сетчатки, которая позволяет определить как самые незначительные биохимические нарушения, так и грубые дистрофические и атрофические процессы. При этом выделение функций фотопической (колбочковой) и скотопической (палочковой) систем основано на различии физиологических свойств колбочек и палочек сетчатки. Различная степень вовлечения в патологический процесс палочковой и/или колбочковой систем сетчатки является одним из характерных признаков любого заболевания сетчатки - наследственного, сосудистого, воспалительного, токсического, травматического и иного генеза, что и определяет характер электрофизиологической симптоматики.

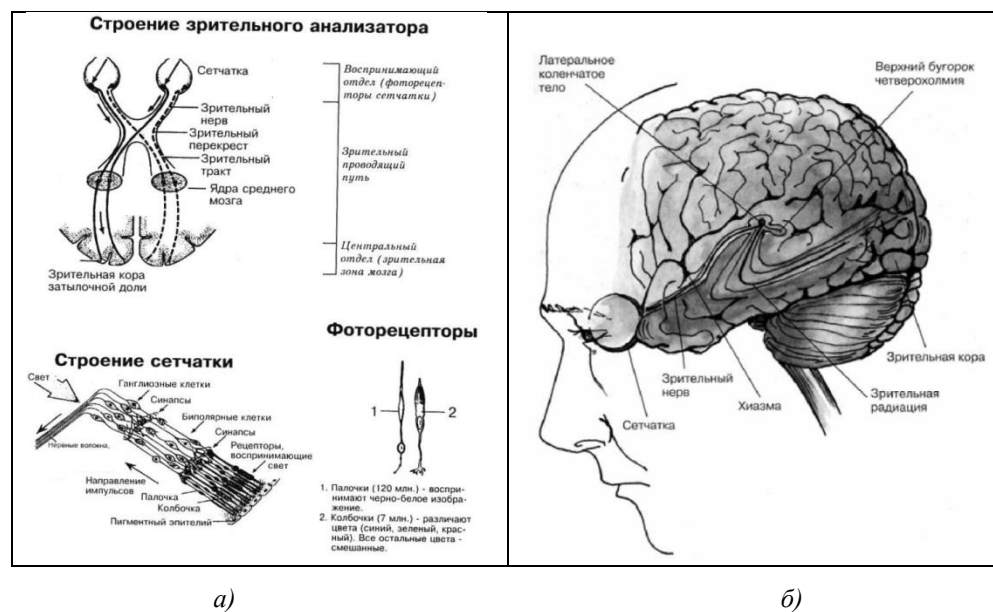


Рис. 1. Зрительная система человека:

а - проводящие пути зрительного анализатора; б - связи, идущие от первичных рецепторов сетчатки через ядра таламуса и гипоталамуса к первичной зрительной зоне коры

В основе принятой в электроретинографии классификации ЭРГ лежат амплитудные характеристики основных “а”- и “б”- волн ЭРГ, а также их временные параметры. Различают следующие виды ЭРГ: нормальная, супернормальная, субнормальная (плюс- и минус-негативная), угасшая, или нерегистрируемая (отсутствующая). Каждый из них отражает локализацию процесса, стадию его развития и патогенез. Среднее значение амплитуды волны “а” в норме составляет 50 мкВ, волны “б” — от 200 до 400 мкВ. При очаговых процессах в наружных слоях сетчатки, например у больных с ретинопатией, частичной отслойкой сетчатки, выявляют снижение амплитуды волн “а” (от 25 до 10 мкВ) и “б” (от 150 до 75 мкВ) — так называемая субнормальная ЭРГ. Более выраженное снижение высоты волн может наблюдаться у больных с тапеторетинальной абiotрофией. При нарушениях кровоснабжения сетчатки может наблюдаться увеличение амплитуды волны “а” - негативная ЭРГ.

Метод регистрации вызванных ответов электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов на вспышку света широко применяют в клинике для диагностики заболеваний зрительных путей и патологии зрительного нерва, при отеке, воспалении, атрофии, компрессионных повреждениях травматического и опухолевого генеза, локализации патологического процесса в хиазме, зрительном тракте и коре головного мозга, амблиопии и заболеваниях сетчатки.

Величина потенциалов ЗВП в норме значительно меньше (до 40 мкВ), чем волны электроэнцефалограммы (до 100 мкВ). Латентность определяется временем от момента включения светового стимула до достижения максимальной величины потенциала корой мозга. Обычно максимальная величина потенциала наблюдается через 100 мс.

При различных заболеваниях зрительного пути происходит изменение формы ЗВП, снижение амплитуды его компонентов и удлинение времени прохождения импульса по зрительному пути до коры головного мозга.

ЗВП дополняют результаты электроретинографии и являются единственным источником информации о зрительной системе в тех случаях, когда ЭРГ невозможно зарегистрировать по тем или иным причинам. Критериями клинически значимых отклонений при оценке ЗВП являются отсутствие ответа или значительное снижение амплитуды, удлинение латентности всех пиков.

Отметим также, что одновременная запись ЭРГ и ЗВП позволяет оценивать время прохождения зрительного возбуждения от сетчатки до зрительной коры (так называемое ретинокортикальное время). Этот метод используют при диагностике поражений зрительного нерва и зрительных путей, оценке состояния зрения у детей, выявлении симуляции слепоты и т. д.

Современные достижения физики, микроэлектроники и программного обеспечения произвели техническую революцию в построении медицинской аппаратуры и методах исследования для диагностики и терапии. При этом широкое распространение получил подход, при котором осуществляется цифровая обработка сигналов с последующим использованием микропроцессоров для управления и распределения информационных потоков.

В настоящее время микропроцессорная аппаратура широко используется в развитых странах для диагностики заболеваний зрительной системы человека. Однако отсутствие на отечественном рынке доступной по цене подобной аппаратуры делает актуальной их разработку и конструирование также и в Армении. С этой целью были проведены научно-технические работы по конструированию компактного микропроцессорного двухканального устройства, обеспечивающего одновременную регистрацию ЭРГ и ЗВП в любом помещении (рис. 2).

При разработке аппаратуры для проведения качественной регистрации ЭРГ и ЗВП [2] следует исходить из требования, чтобы полезный сигнал, приведенный ко входу усилителей, составлял 1 мкВ. Для правильного представления фронтов вызванных ответов необходимо для регистрируемых сигналов обеспечить полосу пропускания 0,1...100 Гц.

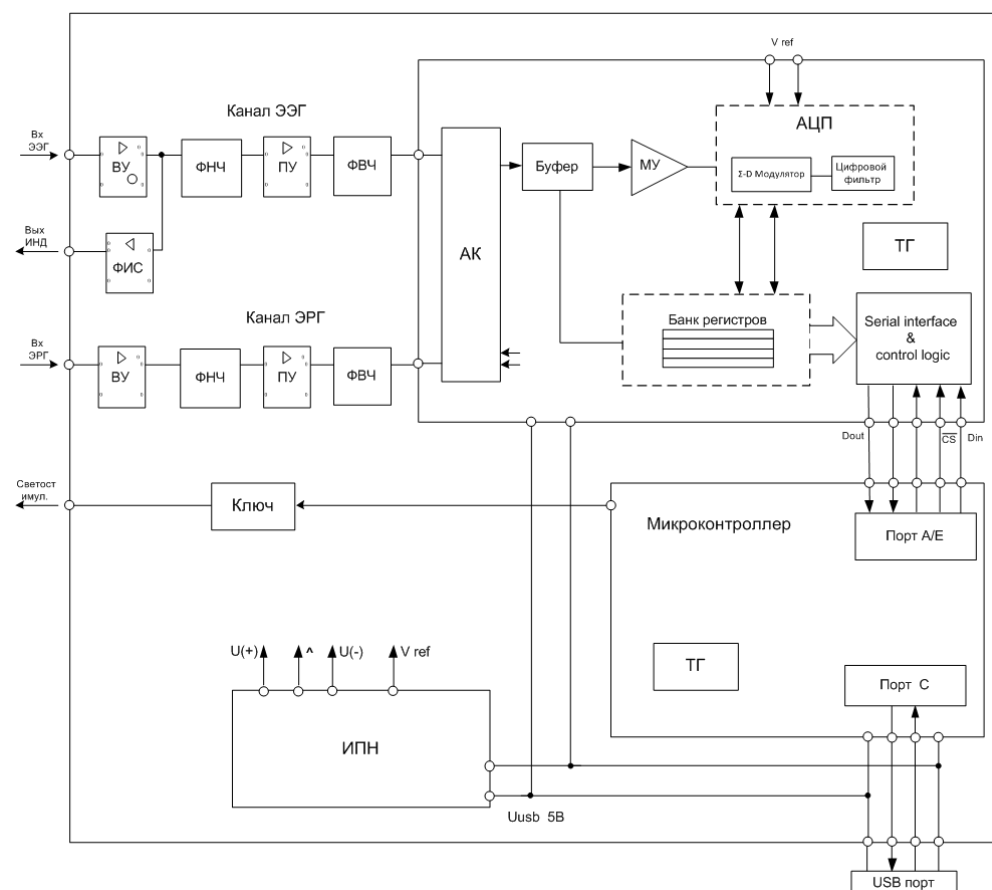


Рис. 2. Блок-схема микропроцессорной аппаратуры для оценки функционального состояния сетчатки глаза и зрительного центра мозга:

ВУ – входной усилитель; ПУ – промежуточный усилитель; ФИС – формирователь инверсного сигнала; ФНЧ – фильтр низких частот; ФВЧ – фильтр высоких частот; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; АК – аналоговый коммутатор; ТГ – тактовый генератор; ИПН – импульсный преобразователь напряжения

Первичными получателями информации в системах контроля и диагностики являются датчики. При регистрации ЭРГ используется серебряный шариковый электрод, который накладывается непосредственно на глаз. Для регистрации ЭЭГ обычно применяются чашечковые хлор-серебряные электроды. Поэтому при расчете первичных цепей усиления следует исходить из требований, чтобы входное сопротивление усилителя ЭРГ канала составляло 600...800 кОм, а для усилителя ЭЭГ канала – до десятков МОм [2, 3]. Для обеспечения большого входного сопротивления в предлагаемой схеме используются инвертирующие усилители с большим входным сопротивлением. Входные усилители спроектированы на

микросхемах AD620 для ЭРГ и AD8663 для ЭЭГ соответственно с дополнительной стабилизацией напряжения питания.

Помимо полезного сигнала биологического происхождения, на электродах всегда присутствуют наведенные шумы, артефакты и синфазные помехи от осветительной сети. Для подавления синфазных помех в разработанном устройстве применена “активная земля”. На теле человека закрепляется дополнительный (индифферентный) электрод, на который с выхода усилителя ВУ1 в противофазе подаётся синфазная составляющая входного сигнала. Её выделение выполняет сумматор на симметричных сопротивлениях, а формирователь инверсного сигнала – усиление и инверсию. Благодаря такой своеобразной отрицательной обратной связи величина синфазных помех резко снижается, и далее они эффективно подавляются цифровым фильтром. В частности, отметим, что использование цифрового фильтра позволяет гасить 50-герцовые паразитные колебания на 95 дБ [4,5].

Для подавления шумов и артефактов используется дополнительная фильтрация усиленного сигнала. В качестве фильтра нижних частот применяется фильтр Баттерворта, после которого в промежуточном усилителе сигналы усиливаются до необходимого уровня и после высокочастотной фильтрации подаются на аналоговый коммутатор. Спад используемой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра Баттерворта медленный, однако он имеет гладкую АЧХ на частотах полосы пропускания, что позволяет снизить искажения полезного сигнала.

Для организации двухканального приема сигналов ЭРГ и ЭЭГ в предлагаемой схеме используется АК, работающий в определенном частотном диапазоне [6]. При этом конкретная частота работы АК задается внешней программой. АК по команде от микроконтроллера (МК) подключает каждое из отведений к аналого-цифровому преобразователю. АЦП преобразовывает сигнал и записывает его в свой банк регистров с частотой $f = 500 \text{ Гц}$. Оцифрованный сигнал записывается в регистрах памяти АЦП независимо от МК и по запросу МК передается в память микропроцессора. Управление АК и передачей данных через USB порт выполняется микроконтроллером [7,8]. Через определенные промежутки времени, задаваемые внешней программой, МК дает команду на срабатывание внешнего раздражителя (вспышки), синхронизированного с регистрацией вызванных ответов ЭРГ и ЭЭГ.

Благодаря малой мощности прибора, его питание осуществляется от USB порта. Для получения двуполярного высокостабильного напряжения, необходимого для питания усилителей, используется импульсный преобразователь напряжения с последующей линейной стабилизацией. Питание АЦП и МК осуществляется непосредственно от USB порта с отдельной стабилизацией опорного напряжения АЦП.

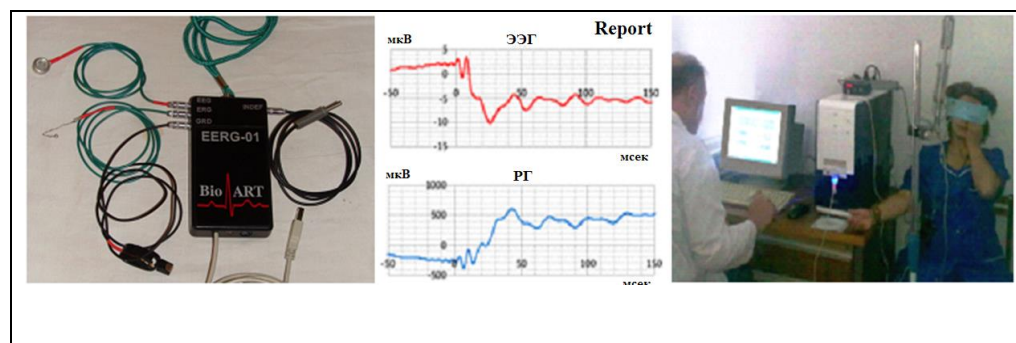
Реализация вышеизложенных положений привела к разработке аппаратуры, имеющей основные технические характеристики, представленные в таблице.

Таблица

Технические характеристики устройства для регистрации вызванных ответов ЭРГ и ЭЭГ сигналов на вспышку света

Чувствительность	менее 1 мкВ
Отношение сигнал/шум	не менее 95 дБ
Разрешение	0,2 мкВ
Полоса пропускания	0,1 ... 100 Гц
Входное сопротивление канала ЭРГ	1 МОм
Входное сопротивление канала ЭЭГ	10 МОм

В настоящее время такая аппаратура уже в течение нескольких лет используется в Ереванской глазной клинике N8 (рис. 3).



а)

б)

в)

Рис.3. Устройство для оценки функционального состояния нервных путей поступления зрительной информации в центральную нервную систему:

а- общий вид устройства; б- ЗВП и ЭРГ сигналы, вызванные в ответ на световую вспышку; в- регистрация ЗВП и ЭРГ потенциалов в Ереванской глазной клинике N 8

Отметим также, что важную роль в эффективном использовании разработанной аппаратуры играет пакет программ, который обеспечивает не только регистрацию и запоминание вызванных ЭРГ и ЭЭГ ответов на каждое световое воздействие, но и их усреднение по всем предъявляемым вспышкам. Последнее обстоятельство позволяет лечащему врачу сразу после тестовой процедуры оценить характер функционального состояния путей поступления зрительной информации в центральную нервную систему пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зенков Л.Р., Ронкин М.А.** Функциональная диагностика нервных болезней: Руководство для врачей. - М.: МЕДпресс-информ, 2011. – 488 с.
2. **Камышко И.В.** Медицинские приборы. Разработка и применение. – М.: Медицинская книга, 2004. - 720 с.
3. **Хоровиц П., Хилл У.** Искусство схемотехники. В 3-х т. Т. 2.- М.: Мир, 1993.- 371 с.
4. **Айфичер Э., Джервис Б.** Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - М.: Вильямс, 2004. - 992 с.
5. Основы цифровой обработки сигналов / **А.И. Солонина** и др. - СПб.: БХВ Петербург, 2005. - 768 с.
6. **Norsworthy S., Schreier R., Temes G.** Delta-Sigma Data Converters. - NY, 2007. - 286 p.
7. **Rabiner L.R., Gold B.** Theory and Application of Digital Signal Processing. Paramus.- NJ: Prentice-Hall, 1986. - 426 p.
8. **Уилмсхерст Т.** Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров "PIC". - М.: Мир, 2008. - 351 с.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА. Материал поступил в редакцию 10.09.2013.

Վ.Տ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԱՉՔԻ ՑԱՆՑԱԹԱՂԱՆԹԻ ԵՎ ԳԼԽՈՒՂԵՂԻ ՏԵՍՈՂԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՎԻՃԱԿԻ ԱՆՏՈՂՈՇՄԱՆ ՄԻԿՐՈՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ

Մշակվել է սարքավորում ռեթինոգրամի և գլխուղեղի կեղևի էլեկտրաէնցեֆալոգրամի միաժամանակյա գրանցման համար՝ ցանցաթաղանթի վրա տարբեր ինտենսիվություն և երկարություն ունեցող լուսային ազդակներով ներգործելու դեպքում: Իր տեխնիկական ցուցանիշներով սարքը չի զիջում արևմտյան երկրներում կիրառվող նմանատիպ սարքերին և կարող է կիրառվել ակնաբուժական կլինիկաներում՝ դեպի մարդու կենտրոնական նյարդային համակարգ տեսողական տեղեկության անցման ուղիների ֆունկցիոնալ գնահատման համար:

Առանցքային բառեր. միկրոպրոցեսորային սարքավորում, ռեթինոգրամ, էլեկտրաէնցեֆալոգրամ, հրահրված պատասխաններ, լուսային ազդակներ:

V.T. VARDANYAN

MICROPROCESSOR APPARATUS FOR DIAGNOSING THE FUNCTIONAL STATE OF THE EYE RETINA AND THE VISUAL CENTER OF THE BRAIN

A device for simultaneous recording of retinogram EEG and the cerebral cortex at acting on the retina by light stimuli of varying intensity and duration is developed. The device is not inferior to foreign counterparts by its technical characteristics and can be used in eye clinics to assess the functional state of the ways of transferring visual information to the central nervous system.

Keywords: microprocessor equipment, retinogram, electroencephalogram, induced responses, light stimuli.

Խ.Գ. ՇԱՐՈՑԱՆ, Ա.Գ. ԳԱԼՍՏՅԱՆ, Ռ.Պ.ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ՀԱՆՐԱԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ՈԼՈՐՏԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑՈՒՄ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉՍՅՐՆ ԳՐԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ
«ՈՒՍՈՒՄ-2» ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՆԵՐՂՆՈՒՄ

ՀՀ Կառավարության կողմից դրված ազգաբնակչության ամենալայն շերտերի համակարգչային գրագիտության ապահովման խնդիրը պայմանավորված է ժամանակակից տեխնոլոգիական նվաճումներն օգտագործելու անհրաժեշտությամբ: Միայն համակարգված, միևնույն չափանիշներին համապատասխանող համակարգչային գրագիտության ապահովմամբ, որը կհամապատասխանի միջազգային ասպարեզում արդի պահանջներին, հնարավոր կլինի կարճ ժամանակահատվածում իրականացնել առաջադրվող բարդ խնդրի լուծումը:

Առանցքային բառեր. ուսում_2, խմբագրիչ, աղյուսակ, տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ, օպերացիոն համակարգեր, բազաներ, շնորհանդեսներ, ինտերնետ, թեստեր, գրանցում, էջանշան:

Ներածություն: ՈՒՍՈՒՄ-2 համակարգը հնարավորություն է տալիս հայերեն լեզվով, ինքնուսուցման կարգով ստանալ համակարգչային այն գիտելիքները, որոնք անհրաժեշտ են ժամանակակից համակարգչային գործառնություններ իրագործելու համար [1]:

Ինքնուսուցումը կատարվում է ձայնի և / կամ տեքստի ուղեկցությամբ՝ ըստ տվյալ անձնավորության ընկալման հնարավորության կամ ժամանակային սահմանափակումների: Ուսուցումը կարող է կատարվել նաև խմբային կարգով ուսուցչի մասնակցությամբ կամ առանձին: Թեև ուսուցչի մասնակցությունը կարող է արագացնել ուսուցման գործընթացը, սակայն, ելնելով անհատական ընկալման առանձնահատկություններից, համակարգիչների քանակից, դասատուի զբաղվածությունից, սովորողների կազմից (տարբեր պատրաստվածությամբ ունկնդիրների առկայություն և այլն), նախընտրելի է անհատական ինքնուսուցումը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Ինքնուսուցման համակարգը հնարավորություն է տալիս՝

- ♦ ապահովել նյութի ցուցադրման ռեժիմ, որն ուղեկցվում է էլեկտրոնային դասավանդողի բացատրություններով կամ նյութի բացատրման տեքստային ռեժիմով,
- ♦ ընտրել ուսուցման դասընթացի անհատական ռեժիմ,
- ♦ ընդհատել դասընթացը որևէ կետում, ապա շարունակել ընդհատված տեղից,
- ♦ որոնել և գտնել անհրաժեշտ դասը՝ օգտագործելով առանցքային բառեր,
- ♦ ապահովել էլեկտրոնային ուսուցչի անմիջական արձագանքը ուսումնառողի գործողություններին,
- ♦ գնահատել ուսումնառողի կողմից նյութի յուրացման մակարդակը թեստային եղանակով:

Համակարգն ապահովում է ուսուցման գործընթացի հետևյալ ռեժիմները [2].

Անհատական ռեժիմ. – Ուսուցումը կատարվում է անհատական համակարգչով, սովորողն ինքն է համակարգի միջոցով հետևում իր ձեռք բերած գիտելիքների մակարդակին, ուսումնասիրում իր կողմից կատարված թեստերի արդյունքները:

Ցանցային ռեժիմ. – Ուսուցումը կատարվում է դասարանում, որտեղ կա համակարգիչների տեղային ցանց: Սովորողներից յուրաքանչյուրը սովորում է առանձին համակարգչի վրա, իսկ ուսուցման պատասխանատուն իր աշխատանքային տեղում համակարգչով հետևում է դասի ընթացքին: Նա կարող է ցանցի ցանկացած համակարգչի էկրանի պատկերը կանչել իր էկրանին, համակարգի կողմից կուտակված տվյալների բազայի միջոցով հետևել յուրաքանչյուր սովորողի ուսուցման ընթացքին, նյութի յուրացման ընթացքում նրա ծախսած ժամանակային բնութագրիչներին, թեստերի կատարման մակարդակին և համակարգի միավորներով գնահատել, թե որքանով է յուրացված դասի նյութը:

Հեռահար էլեկտրոնային ուսուցման ռեժիմ. – Այս ռեժիմն ապահովում է ցանցի հնարավորությունները՝ օգտագործելով ինտերնետ տեխնոլոգիաները: Համակարգը հնարավորություն է ընձեռում՝ դասընթացները վարելու տարածությամբ իրարից հեռու գտնվելով:

ՈՒՍՈՒՄ-2 համակարգը լիովին համապատասխանում է համակարգչային գիտելիքների ձեռքբերման միջազգային չափանիշներին (ECDL – European Computer Driving Licence) և կազմված է յոթ բաղադրիչներից, որոնց յուրացումը կատարվում է իրարից անկախ: Յուրաքանչյուր բաղադրիչ («մոդուլ») թեստավորվում է, և ըստ այդմ՝ որոշվում նյութի յուրացման աստիճանը տվյալ ուսումնառողի կողմից: Ուսումնառողը տեղեկացվում է իր արդյունքների մասին և կարող է լրացնել այն բացը, որը հայտնի է դարձել թեստավորման ընթացքում: Թեստավորման արդյունքների գնահատումը կարող է տարբերակվել ըստ նպատակահարմարության՝ շեմային չափորոշիչները սահմանող լիազոր կազմակերպության կողմից:

Համակարգի մոդուլները հետևյալներն են [3,4].

Մոդուլ 1. – Տեղեկատվական տեխնոլոգիաների վերաբերյալ հիմնական գիտելիքներ.

Ընդհանուր պատկերացում է տրվում համակարգչի տեխնիկական և ծրագրային բաղադրիչների, ինչպես նաև համակարգիչների օգտագործման վերաբերյալ մի շարք ամենօրյա կիրառումներում:

Մոդուլ 2. – Համակարգչի օգտագործում և աշխատանք օպերացիոն համակարգերով.

Ցույց է տրվում, թե ինչպես գործարկել, անջատել և վերահսկել համակարգիչը, ցուցադրել համակարգչային, գրասենյակային և օժանդակող տեղեկույթը իրական ժամանակում, աշխատանքը Windows պատուհաններով, ֆայլերի և թղթապանակների կազմակերպում, տվյալների խմբավորում և տպում: Համակարգիչն աշխատում է Windows օպերացիոն համակարգով:

Մոդուլ 3. – Տեքստային խմբագրիչներ: Ցույց է տալիս՝ ինչպես օգտագործել տեքստային խմբագրիչները՝ ստեղծելու համար փաստաթղթեր, ձևավորելու և ֆորմատավորելու համար տեքստերը, ինչպես պատրաստել փաստաթուղթը՝ տպելու համար, ստեղծել աղյուսակներ, ներանցել օբյեկտներ և այլն: Այս ամենը համապատասխանում է անհատական համակարգչի հնարավորություններին, որն օգտագործում է Microsoft Word և Windows օպերացիոն համակարգը:

Մոդուլ 4. – Էլեկտրոնային աղյուսակներ: Օգտագործելով Microsoft Excel և Windows օպերացիոն համակարգերը՝ ցույց է տալիս՝ ինչպես ստեղծել աղյուսակներ, ներանցել և ձևափոխել տվյալները, ստեղծել բանաձևեր և ֆունկցիաներ, ֆորմատավորել և տպել աղյուսակներ, ներառել օբյեկտներ, ստեղծել և ձևափոխել գծապատկերներ և այլն:

Մոդուլ 5. – Տվյալների հենքեր: Ցույց է տալիս՝ ինչպես աշխատել և ստեղծել տվյալների հենք, ստեղծել, օգտագործել և փոփոխել տվյալների մուտքի ձևը, ստանալ տեղեկություններ և ստեղծել հաշվետվություններ: Համակարգն աշխատում է Windows օպերացիոն համակարգով՝ օգտագործելով Microsoft Access-ը:

Մոդուլ 6. – Շնորհանդեսներ: Ցույց է տալիս՝ ինչպես կիրառել որևէ շնորհանդես՝ ներառել, փոփոխել և ֆորմատավորել տեքստը, պատկերները, էջերը: Ուսուցանում է ինչպես գծել օբյեկտներ և պատրաստել գծապատկերներ շնորհանդեսի համար, ինչպես տպել և բաշխել շնորհանդեսի նյութերը, ինչպես ավելացնել հատուկ էֆեկտներ: Համակարգիչը պետք է ունենա Microsoft Power Point և Windows օպերացիոն համակարգը:

Մոդուլ 7. – Տեղեկատվություն և կապ: Ցույց է տալիս՝ ինչպես բացել և կատարել որոնում համացանցում, ինչպես օգտագործել էլեկտրոնային փոստը՝ ստանալու և ուղարկելու համար հաղորդագրություններ: Համակարգիչն օգտագործում է Windows օպերացիոն համակարգ և Microsoft Internet Explorer 5 և Outlook 2000 միջոցները:

ՈՒՍՈՒՄ-2 համակարգի կազմակերպչական կառուցվածքը և գործառույթները:

Համակարգի մշակման, ներդրման, ուսուցման և թեստավորման կազմակերպչական գործընթացներն իրականացնում է Երևանի մաթեմատիկական մեքենաների գիտահետազոտական ինստիտուտը, (ԵրՄՄԳՀԻ), որը “ՈՒՍՈՒՄ-2”-ի համար ունի հեղինակային իրավունքի վկայական [5] և որպես համակարգի հեղինակ պատասխանատու է համակարգի ներդրման համար ՀՀ դպրոցներում՝ յուրաքանչյուրում ապահովելով համակարգի տեղակայումը, դասատուների պատրաստումը, համակարգի բարելավումների և ընդլայնումների իրագործումը՝ ըստ շահառուների առաջարկությունների և/կամ ասպարեզի առաջընթացի:

Հետազոտության արդյունքները: Ներկայումս, ՀՀ Կրթության և գիտության նախարարության առաջարկով և ՀՀ Կառավարության որոշմամբ, ՄՄԳՀԻ -ում մշակված “ՈՒՍՈՒՄ-2” համակարգը տեղադրված է և արդյունավետ կերպով շահագործվում է ՀՀ հանրակրթական դպրոցներում: “ՈՒՍՈՒՄ-2” համակարգը բարեփոխված է դպրոցների կողմից կատարված մի շարք կոնկրետ առաջարկություններով:

Եզրակացություն: Մշակման և ներդրման արդյունքներից կարելի է եզրակացնել, որ համակարգը ճիշտ և ամբողջությամբ է արտացոլում ուսումնական գործառնությունների էլեկտրոնային իրագործման ֆունկցիաները, ապահովում է այսօր գոյություն ունեցող միջոցների հետ ծրագրային համատեղելիությունը /ECDL European computer driving license, standart/, և այն կարելի է օգտագործել ցանկացած մասշտաբի /դպրոցական, մարզային և քաղաքային/ ուսուցման ու թեստավորման կենտրոններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. <http://www.ecdl.com/>
2. <http://whatis.techtarget.com>
3. <http://www.ecdl.org>
4. <https://www.ecdl.ie/>
5. Հեղինակային վկայական N 08/1856, 22.06.2010

Երևանի մաթեմատիկական մեքենաների գիտահետազոտական ինստիտուտ (ԵրՄՄԳՀԻ ՓԲԸ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.09.2013:

Մ.Գ. ՄԱՐԿԱՆԻԱՆ, Ա.Գ. ԳԱԼՏՅԱՆ, Բ.Ս. ՍԵՏՐՈՍՅԱՆ

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ САМООБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАМОТНОСТИ - "УСУМ-2"

Использование достижений современных технологий невозможно без применения одинаковых стандартов компьютерной грамотности на международной арене, соответствующих современным требованиям. Система "УСУМ-2" позволяет на армянском языке получать знания, необходимые для реализации современных функций компьютера. Программное обеспечение системы совместимо с современными аналогичными системами, такими как "ECDL - Европейские компьютерные права, стандартная версия".

Ключевые слова: "Усум-2", редактор, таблица, информационные системы, операционные системы, база данных, презентация, интернет, тесты, регистрация, закладка.

KH.G. SHAROYAN, A.G. GALSTYAN, R.P. PETROSYAN

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SELF-STUDY AND TESTING SYSTEM "USUM_2" FOR COMPUTER LITERACY.

Application of achievements of modern technologies is not possible without using the same standards of computer literacy worldwide, which would correspond to modern requirements. The system "USUM_2" allows to acquire knowledge required for carrying out modern computer functions. The system software is compatible with modern similar systems, such as ECDL European Computer Driving License, Standard Edition.

Keywords: "USUM_2", editor, table, Information Technologies, Operation Systems, database, presentation, Internet, tests, registration, bookmark.

T.H. SHAHINYAN

**APPLYING SCRIPTING LANGUAGES AT DEVELOPING SYSTEMS OF
AUTOMATED DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS**

Scripting languages (SLs) are used in electronic design automation (EDA) software development and VLSI design flows. There are also EDA tools that contain embedded SLs. This article reveals various tasks and specialities that use SLs. It gives information on the purpose and strengths of SLs. The possible swapability and complementarity of SLs for various tasks in EDA software development and VLSI design flows are described too.

Keywords: scripting languages, electronic design automation, designing integrated circuits.

Introduction. SLs [1] are programming languages that do not require a preliminary compilation of the code before execution. The compilation of the code is implemented runtime by the interpreter. This feature saves time and provides the code portability between different operating systems. The SLs are usually higher level languages compared with the C programming language. Using a higher level language provides quick development of the required functionality.

There are many SLs. Different SLs have been designed and developed for different purposes, but there are 3 main categories of SLs [2]:

1. Command languages.
2. Markup languages.
3. General purpose languages.

This work will focus on the open source SLs used by EDA leader companies, such as Synopsys and Mentor Graphics. The EDA software tools of the market leaders are mainly developed in the environment of Linux operating system (OS). The Linux OS mainly determines the used SLs. The Linux package contains a number of open source SLs, but 3 of them are the most popular in the leading EDA companies. These 3 languages are Perl, TCL and Python. These are general purpose SLs used for various tasks. The general analysis of SLs can be found in other articles [2,3].

Specialities and areas of usage of SLs in EDA software development and VLSI design flows. There are several specialities that use SLs in EDA software development and VLSI design flows widely. These specialities are:

1. Software Configuration Management (SCM) Engineer.
2. Software Quality Assurance (SQA) Engineer.
3. Computer Aided Design (CAD) Engineer.
4. Corporate Application Engineer (CAE).

The engineers of the above mentioned specialities have tasks that are mainly solved with SLs. One of the areas of usage of SLs is a software development flow, which contains the following stages that use scripting widely:

1. Building software.
2. Running regression tests and writing run results to a MySQL database.
3. Viewing results using web browsers.

Building software is a non-trivial, multioptional task [4] that requires a SCM engineer to configure and watch after the process. To organize automated and regular builds in the environment of Linux OS, it is required to have a build system that setups the environment, checks out the appropriate branch from repository, compiles and builds software components with required options, validates and reports the results. All these steps require scripting.

Running regression tests is used by QA and SCM engineers for testing the software. This is done with test drivers that distribute thousands of tests among available computers and use multiprocessor parallel runs in order to finish testing in an acceptable time interval. For the minimization of the total runtime, there are several rules, which are discussed in [5]. All these tasks are solved by using scripting.

Steps 1-2 are mostly implemented either with Perl or by Python. Step 3 is mostly implemented with PHP, but it can also be implemented with Perl or Python. Perl and Python are perfect for distribution of multiple runs against servers on the grid [6].

VLSI design flow contains many stages and uses many formats (views) of representation of integrated circuits (IC). Many of these formats are ASCII files such as SPICE, verilog, LEF, DEF, liberty etc. For processing the text data, the best languages are Perl and Python. There are also binary formats like GDSII, OASIS, Milkyway, Open Access etc. which can be processed by Perl and Python. VLSI design contains simulation stages which can also have multiple corners and require parallel distribution on the grid [6].

During VLSI design SLs are used for automated analysis, verification, comparison and modification of the design views and other files. Typical tasks include but are not limited to:

1. Reading and reporting the design data.
2. Verifying the data against the technical specification.
3. Comparing the common data of different views.
4. Modifying the data to meet the requirements.

The VLSI design tools usually have embedded SLs, which allow to automate the design flow and integrate different EDA tools for interoperability (Fig.1) [7]. Actually, many languages can be used as an embedded language if designed accordingly but the most popular open source SL embedded in EDA tools is the TCL because it has been specially designed for this purpose.

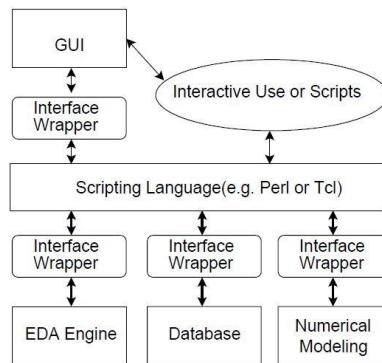


Fig. Tools integration by a scripting language

Features, swapability and complementarity of SLs. TCL (Tool Command Language) was specially designed for IC design applications. The author of the TCL is John Ousterhout who created the Magic VLSI layout tool [8], in the 1980's at University of California Berkeley and designed TCL in 1987 for embedding in such tools. Currently TCL is used in many tools of EDA market leaders. TCL also has a widget library for creating window based applications called TK [9]. TK is an open source, cross-platform widget toolkit that provides a library of basic elements for building a graphical user interface (GUI). TK can be used to create a GUI for reading input arguments of the existing scripts developed with other languages like Perl or Python. This provides an integration of the user friendly GUI with the existing command line applications. If embedded in an EDA tool, TK can be used for customization of GUI. Typical tasks include creating special menus with appropriate commands for a special purpose. These types of tasks are implemented either by CAD or CAE engineers.

Perl (Practical Extraction and Report Language) was originally designed in 1987 for text processing and it is very strong in it. Besides Perl has a wide range of applications. It is a general purpose language including features from C, bash, awk and sed languages. It has more than 25 thousand modules for various purposes at the famous comprehensive Perl archive network [10]. It is also widely used in EDA software development and VLSI design flows.

Python implementation was started in December 1989 by Guido van Rossum. Python is a general purpose language influenced by ABC, ALGOL, C, C++, Dylan, Haskell, Icon, Java, Lisp, Modula-3, Perl and includes but is not limited to the following features:

1. Very clear, readable syntax.
2. Strong introspection capabilities.
3. Intuitive object orientation.
4. Natural expression of procedural code.
5. Full modularity, supporting hierarchical packages.

6. Exception-based error handling.
7. Very high level dynamic data types.
8. Extensive standard libraries for virtually every task.
9. Extensions and modules easily written in C, C++ (or Java for Jython, or .NET languages for IronPython).
10. Used within applications as a scripting interface.

More information on Python usage and ready modules can be found at official Python web page [11]. The Python is also widely used for programmable layout cells (PYCELLS) development [12] for layout editors.

Conclusion. The usage of SLs provides quick solutions for common tasks in the EDA software development and VLSI design flows. SLs provide effective solutions for interoperability of different EDA tools. Python and Perl provide equal capabilities for solving tasks such as automating software builds, creating driver scripts for running automated tests, processing all types of ASCII files, using system commands and working with databases. TCL is mostly used as embedded scripting language in EDA tools and is used for automation of design flow and integration of different tools. The TK is used for customization of GUIs of EDA tools, as well as creation user friendly GUIs for existing scripts which can be written in other languages.

REFERENCES

1. **John K. Ousterhout.** Scripting: Higher-Level Programming for the 21st Century // IEEE Computer Society Press Los Alamitos. – March, 1998.- Vol. 31, issue 3. - P. 23-30.
2. **Kanavin Alexander.** An overview of scripting languages / Lappeenranta University of Technology. – Finland, December, 2002. - 10 p.
3. **Lutz Prechelt.** Are Scripting Languages Any Good? A Validation of Perl, Python, Rexx, and Tcl against C, C++, and Java. - A chapter for Advances in Computers. - August 18, 2002. - Vol. 58. – 62 p.
4. **Nick Jenkins.** How to Make Software. –eBook. – 2005. - 54 p.
<http://www.nickjenkins.net/prose/makingSoftware.pdf>
5. **Shahinyan T.H.** Method for parallel testing of electronic design automation applications // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2013. -Т. 66, №3. – С. 223-228.
6. **Shankar U.** Oracle Grid Engine User Guide. Release 6.2 Update 7. E21976-02. 2012. 154 p.
7. **Pinhong Chen.** Fast Integration of EDA Tools and Scripting Languages.
http://embedded.eecs.berkeley.edu/Alumni/pinhong/scriptEDA/scriptEDA_pinhong.pdf
8. Magic VLSI layout tool <http://opencircuitdesign.com/magic/>
9. <http://www.tcl.tk/>
10. <http://www.cpan.org>
11. <http://www.python.org>
12. <http://www.synopsys.com/Tools/Implementation/CustomImplementation/Pages/pycell-ide.aspx>

SEUA (POLYTECHNIC). The material is received 11.10.2013.

А.Р. СИМОНЯН, А.Г. ГУЛЯН, Р.А. СИМОНЯН

**СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА САМОРАЗРЯДА ХИМИЧЕСКИХ
ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

Описан макет прибора для измерения тока саморазряда химических источников тока. В макете запоминается начальное значение напряжения на полюсах химического источника тока. Затем это же напряжение применяется для удержания напряжения на полюсах источника. Ток, необходимый для стабилизации напряжения, измеряется как ток саморазряда. Описаны функциональная схема, принцип работы и технические характеристики макета. Доказана целесообразность разработки прибора для измерения тока саморазряда на основе макета.

Ключевые слова: химический источник тока, заряд, разряд, ток, напряжение, саморазряд.

При выборе химических источников тока (ХИТ) для автономных блоков питания наряду с емкостью и напряжением первостепенное значение имеет также ток саморазряда. Из-за явления саморазряда происходит бесполезная потеря емкости ХИТ при разомкнутой внешней цепи. Главной причиной саморазряда является взаимодействие активных масс электродов и электролита, в результате чего металлические электроды растворяются в электролите (цинк, свинец, кадмий).

Саморазряду способствует также наличие нежелательных ионов в электролите, несоответствующая концентрация электролита. В любом случае саморазряд ХИТ равносителен его разряду малым током, с той лишь разницей, что при саморазряде емкость теряется. При этом напряжение на клеммах ХИТ уменьшается, а наклон зависимости величины напряжения от времени изменяется в зависимости от типа ХИТ, а также от чистоты применяемых для изготовления ХИТ компонентов, степени разряженности, температуры окружающей среды и т. д. (при полном отсутствии нагрузок).

Устройства для измерения или определения тока саморазряда ХИТ неизвестны. В большинстве случаев принято оценивать по величине уменьшения емкости за определенный промежуток времени, например, суток [1]. Однако это достаточно трудоемкий способ определения тока саморазряда, так как при этом сначала определяют полную отдаваемую емкость ХИТ, затем проводят полный заряд и хранение ХИТ при комнатной температуре (20°C) в течение дня (или более длительное время), а потом полный разряд и определяют отдаваемую емкость (режимы разряда такие же, как и при определении емкости до хранения). Разделив разницу емкостей до и после хранения на количество часов хранения, получают величину тока саморазряда.

В [2] предлагается схема для определения тока саморазряда по величине остаточного тока при заряде ХИТ в режиме постоянного напряжения. При этом

ХИТ заряжается полностью в течение длительного времени, пока ток заряда не уменьшается до минимального стабильного уровня. Этот остаточный уровень принято считать током саморазряда ХИТ. Очевидно, что технически трудно определить ток саморазряда при любом уровне разряженности ХИТ.

В данной работе описан макет прибора, в котором строго стабилизируется напряжение на клеммах ХИТ, и при этом измеряется ток, необходимый для поддержания этого уровня напряжения. С этой целью в макет включены две системы стабилизации: электромеханическая - для фиксации и высокоточного хранения напряжения на выводах ХИТ, и электронная - для компенсации саморазряда. При этом ток саморазряда определяется посредством усиления напряжения на выводах низкоомного точного резистора, включенного последовательно с ХИТ, и последующего измерения его величины цифровым вольтметром.

На рисунке показана упрощенная функциональная схема макета прибора для измерения тока саморазряда ХИТ.

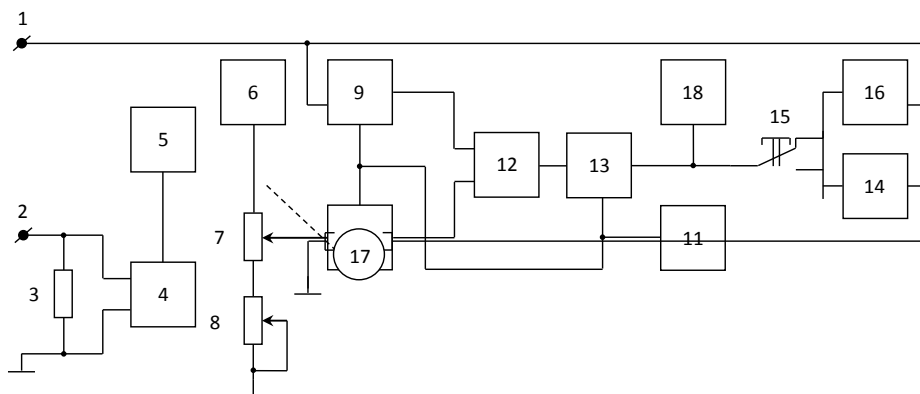


Рис. Упрощенная функциональная схема измерителя тока саморазряда химических источников тока:

1 и 2 - клеммы для подключения полюсов ХИТ, 3 - токоизмерительный резистор, 4 и 12 - дифференциальные усилители, 5 - цифровой вольтметр, 6 - генератор постоянного тока, 7 и 8 - многооборотные резисторы, 9 и 10 - электронные ключи, 11 - генератор прямоугольных импульсов, 13 - синхронный фильтр-детектор, 14 - усилитель тока, 15 - кнопочный переключатель, 16 - преобразователь напряжение-ток, 17 - микродвигатель постоянного тока, 18 - нуль-гальванометр

Для измерения тока саморазряда положительный полюс ХИТ соединяется с первой клеммой прибора, а отрицательный полюс - со второй клеммой. Ток компенсации саморазряда протекает через точный токоизмерительный резистор 3, а разность напряжения на выводах резистора 3 после усиления дифференциальным усилителем 4 измеряется цифровым вольтметром 5. В схеме имеются две системы автоматической стабилизации напряжения:

а) электромеханическая система стабилизации уровня напряжения на подвижном контакте резистора 7, состоящая из генератора постоянного тока 6, пе-

ременных резисторов 7 и 8, электронных ключей 9 и 10, дифференциального усилителя 12, синхронного фильтра–детектора 13, генератора прямоугольных импульсов 11, кнопочного переключателя 15, усилителя тока 14, микродвигателя 17, ось которого механически соединена с подвижным контактом многооборотного резистора 7;

б) система электронной стабилизации напряжения на клеммах измеряемого ХИТ, состоящая из электронных ключей 9 и 10, дифференциального усилителя 12, синхронного фильтра–детектора 13, генератора 11, кнопочного переключателя 15, преобразователя напряжение–ток 16, а также источника опорного напряжения, реализованного на резисторах 7 и 8 и на генераторе тока 6.

Система работает следующим образом. Положительный полюс ХИТ подключается к клемме 1, а отрицательный – к клемме 2. Включается общее питание прибора и производится установка текущего значения напряжения на полюсах ХИТ для хранения на подвижном контакте резистора 7. Для этого нажимается кнопка переключателя 15. При этом замыкается открытый контакт переключателя 15 и начинает работать электромеханическая следящая система. В течение 10...15 с двигатель 17 передвигает подвижный контакт многооборотного резистора настолько, насколько необходимо, чтобы уровни напряжений на входах дифференциального усилителя уравнились. После отпускания кнопки переключателя 15 цепь электромеханической следящей системы размыкается, двигатель 17 обесточивается. Из-за статической ошибки электромеханической следящей системы на выходе синхронного фильтра–детектора еще имеется остаточное напряжение, которое обнуляется вручную, передвигая подвижный контакт резистора 8. Установка напряжения на подвижном контакте резистора 7 контролируется положением стрелки нуль–гальванометра 18. После отпускания кнопки переключателя 15 и обнуления выход синхронного фильтра–детектора 13 соединяется со входом преобразователя 16, и тем самым начинает работать электронная система стабилизации напряжения на полюсах измеряемого ХИТ. В качестве задатчика напряжения для электронной системы стабилизации служит напряжение на подвижном контакте резистора 7.

Из-за саморазряда ХИТ напряжение на клеммах начинает уменьшаться, в результате чего на выходе синхронного фильтра–детектора появляется напряжение, которое после преобразователя напряжение–ток 16 компенсирует ток саморазряда ХИТ и стабилизирует напряжение на клеммах. Компенсирующий ток (фактически ток саморазряда) определяется усилением разности напряжения между выводами токоизмерительного резистора 3 и измерением цифровым вольтметром 5. Величину тока саморазряда $I_{\text{ср}}$ можно выразить согласно формуле

$$I_{\text{ср}} = U / R_0 K,$$

где U - величина напряжения согласно показанию вольтметра 5; R_0 - величина сопротивления резистора 3; K - коэффициент усиления дифференциального усилителя 4.

Таким образом, согласно формуле, ток саморазряда зависит от тех параметров схемы, которые имеют высокую тепловую и временную стабильность, что гарантирует высокую точность измерения. Кроме этого, во время измерения тока саморазряда кнопка находится в исходном состоянии, двигатель обесточен, а напряжение поддерживается на уровне напряжения при разомкнутой внешней цепи (отсутствует нагрузка). Следовательно, можно утверждать, что ток внешней цепи не приводит к зарядке ХИТ, а лишь компенсирует собственную потерю емкости.

Технические параметры разработанного макета измерителя тока саморазряда следующие:

- измеренное значение тока саморазряда – от $10 \mu A$ до $10 mA$;
- допустимая погрешность измерения – $\leq 1,5\%$;
- диапазон напряжения измеряемых ХИТ – от 6 до 12 В;
- максимальное значение изменения напряжения на клеммах во время стабилизации $\leq \pm 5 \mu V$.

Посредством разработанного макета были исследованы ХИТ различных производителей и типов (результаты приведены в таблице).

N п/п	Тип ХИТ	Емкость, А·час	Напряжение, В	Ток саморазряда, А
1	PS-445	4,5	8	$2,59 \cdot 10^{-3}$
2	Ni-Mn Camelion	1,3	7,2	$0,57 \cdot 10^{-3}$
3	LIR17500	1,1	7,4	$< 5 \cdot 10^{-6}$
4	Д-0,26Д	0,26	9,0	$\leq 100 \cdot 10^{-6}$
5	Ni-Mn GPG	0,17	8,4	$< 78,0 \cdot 10^{-6}$

Отметим, что во время эксперимента все ХИТ термостабилизированы при комнатной температуре ($20^\circ C \pm 1^\circ C$), так как изменение температуры ХИТ может привести к дополнительной погрешности в измерениях (из-за влияния температуры на величину напряжения на полюсах ХИТ).

Таким образом:

- а) разработанный макет прибора обеспечивает высокую точность измерения тока саморазряда;
 - б) макет прибора допускает измерение тока саморазряда практически для всех основных видов ХИТ при любом состоянии заряженности;
 - в) во время измерения исключается подзарядка измерительным током;
 - г) макет прибора прост в обращении, не требует специальной подготовки.
- Для измерения тока саморазряда достаточно подключить ХИТ к зажимам макета, нажать и отжать кнопку переключателя, установить вручную нулевое показание нуль-гальванометра и через определенное время прочесть показание цифрового вольтметра.

Очевидно, что на основе данного макета можно разработать прибор для измерения тока саморазряда ХИТ с расширенными возможностями как по напряжению (1,5 В и выше), так и по емкости (несколько сот ампер-часов). Этот прибор может найти широкое применение как среди разработчиков и изготовителей ХИТ, так и среди эксплуатационщиков при диагностике вновь разработанных или находящихся в эксплуатации ХИТ благодаря высокой точности, оперативности полученной информации и широкому диапазону напряжений измеряемых ХИТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. – М.- Советское радио, 1968. – 384.
2. Патент РФ N 2014708, кл. НО217/10/ Г.И. Абрамов, А.Г. Абрамов.- Опубл. 15.06.1994.

ИРФЕ НАН РА. Материал поступил в редакцию 20.11.2013.

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

ՀՈՍԱՆՔԻ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԻ ԻՆՔՆԱԼԻԳՐԱԹԱՓՄԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՉԱՓՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Նկարագրված է հոսանքի քիմիական աղբյուրների (ՀՔԱ) ինքնալիցքաթափման հոսանքը չափող սարքի մակետը: Մակետում ՀՔԱ-ի լարման սկզբնական արժեքը բարձր ճշտությամբ հիշեցվելուց հետո այդ նույն արժեքն օգտագործվում է ՀՔԱ-ի լարման մակարդակը կայուն պահելու համար: Հոսանքը, որն անհրաժեշտ է ՀՔԱ-ի լարման մակարդակը կայուն պահելու համար, չափվում է որպես ինքնալիցքաթափման հոսանք: Ներկայացված են մակետի կառուցվածքային սխեման, տեխնիկական տվյալները, նրա աշխատանքը: Նշված է մակետի հիման վրա ինքնալիցքաթափման հոսանք չափող սարքի պատրաստման նպատակահարմարությունը:

Առանցքային բառեր: հոսանքի քիմիական աղբյուր, լիցքավորում, լիցքաթափում, հոսանք, լարում, ինքնալիցքաթափում:

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

A METHOD FOR MEASURING THE SELF - DISCHARGE CURRENT OF CHEMICAL CURRENT SOURCES

A layout of device for measuring the self-discharge current of chemical current sources is described. The initial value of voltage at the poles of the chemical current source is stored in the layout. Then, the same voltage is applied to keep the voltage at the poles of the source. The current required to stabilize the voltage is measured as a self-discharge current. The functional diagram, principles of operation and specifications of the layout are described. The expedience of developing a device for measuring the self-discharge current on the basis of the layout is proved.

Keywords: chemical current source, charge, discharge, current, voltage, self -discharge.

М.М. ОСИПЯН

**К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СРЕДЕ
LABVIEW**

Показано, что интеграцией возможностей программы схемотехнического проектирования Multisim и измерительной платформы LabVIEW студенты могут легко создать образец схемы в лаборатории, сравнить теоретические и смоделированные результаты с действительными измерениями и обнаружить ошибки на ранних стадиях проектирования.

Ключевые слова: измерительная система, интернет-технологии, цифровой мультиметр, образовательный процесс.

При традиционных формах образовательного процесса возможность реализации физического эксперимента осуществляется в ходе выполнения необходимого комплекса лабораторных работ или практических занятий. Однако существует проблема ограниченности доступа обучающихся к наиболее интересному и уникальному оборудованию, техническим объектам, научным и технологическим экспериментам, представляющим наибольший интерес, даже в пределах одного учебного заведения.

"Виртуальная тенденция" в высшем образовании уже допускает модернизацию устаревшей материальной базы, организацию дистанционного обучения по лабораторным занятиям, что позволяет исключить дублирование лабораторных работ (сейчас часто имеет место неоправданное дублирование лабораторных работ на родственных кафедрах различных факультетов и даже в пределах одного факультета). Создание виртуальных приборов (ВП) в настоящее время сопровождает процесс разработки современных информационно-измерительных систем в учебном процессе, которые успешно используются в таких дисциплинах, как "Электронные методы измерений", "Программное обеспечение измерительных процессов", "Интеллектуальные средства измерений" и т.д. Тенденция по переоценке эффективности традиционных средств обучения развивается больше в направлении информационно-телекоммуникационных технологий, нежели в направлении лекций и семинаров. Учитывая вышесказанное, представляется актуальным вопрос поиска средств формирования практических навыков на качественно новом уровне.

С применением интернет-технологий для создания и исследования измерительных систем минимальной конфигурации (измерительных приборов, измерительных комплексов, автоматизированных систем сбора и обработки данных) подклю-

чаются синхронизируемые каналы аналогового и цифрового ввода-вывода сигналов, которые с помощью встроенных или внешних измерительных датчиков, интерфейсных средств сопрягаются с исследуемыми объектами. Ввод и вывод аналоговых сигналов основываются на их аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях (АЦП и ЦАП). По цифровым кодам АЦП с помощью измерительной программы вычисляются соответствующие им значения напряжения или тока. Таким образом, подготавливается и выдвигается концептуальная модель виртуального инструмента, включающего модули сбора данных и генерации сигналов, как, например, показано на рис.1 [1-3].

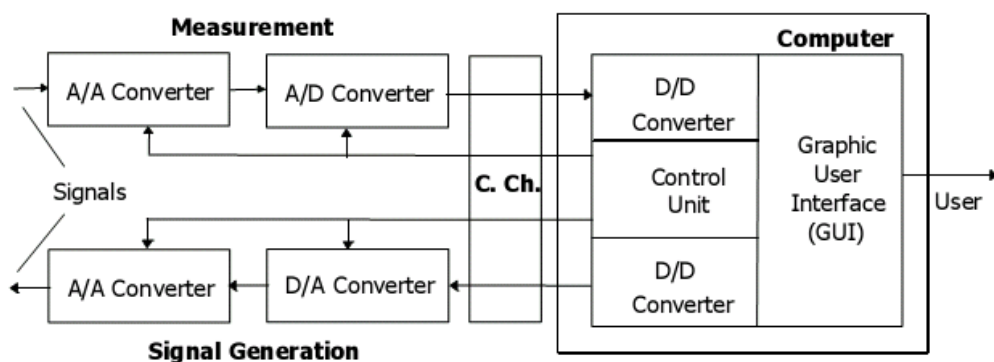


Рис. 1. Концептуальная модель виртуального инструмента

Придерживаясь принципа "программирование без программирования", система LabVIEW имеет доступ к самостоятельному применению разработчиками измерительных систем. Особое значение этой системы состоит в том, что она предназначена не столько для вычислительных работ, сколько для действий с реальными объектами: проведения измерений, их математической обработки и хранения результатов и, что важно, для выработки сигналов управления. Такие ответственные функции уже предопределяют особый подход при построении учебного курса разных технических дисциплин.

К примеру, используя LabVIEW для связи и управления таких инструментов, как источник питания, функциональный генератор, цифровой мультиметр, можно сказать, что отдельный виртуальный прибор может быть скомбинирован с одним из ВП, придавая схеме новую функциональность. Так, создавая в схеме из предопределяющего вида сигналов функционального генератора (FG) и цифрового мультиметра (DMM) виртуальный прибор для FG, тем самым устанавливаем базу для создания DMM, который дополнительно должен завершить такие задачи, как сбор, анализ, генерация данных, а впоследствии и тестировать FG. При разработке в одной из работ [4] системы цифрового мультиметра с помощью средств National Instruments (NI) DAQ было выделено три блока:

1. Измерительный преобразователь, обеспечивающий на выходе напряжение, пропорциональное измерительной величине, и возможность переключения диапазонов измерения.
2. Система сбора информации (в связи с наличием ЦАП и АЦП используется
3. National Instruments PCI-6221).
4. Программная часть виртуальной системы "Мультиметр" (G-язык LabVIEW) (рис. 2).

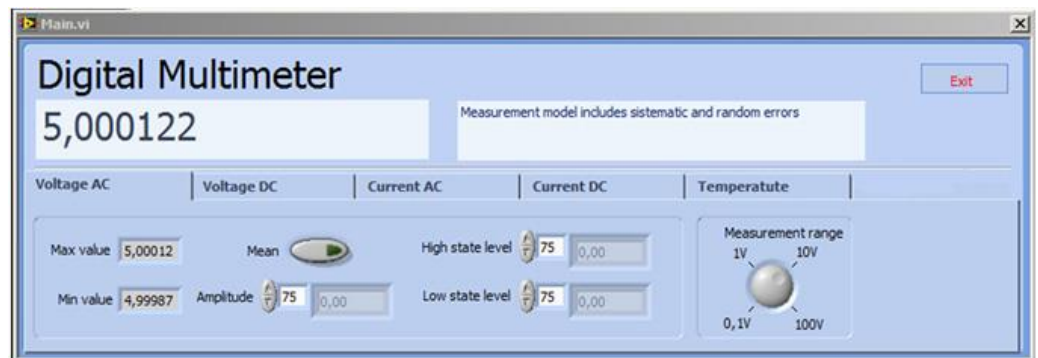


Рис. 2. Программа виртуальной системы "Мультиметр" (G-язык LabVIEW)

Чтобы способствовать тестированию такого цифрового мультиметра, надо соединить источник питания с мультиметром и путем изменения напряжения источника питания произвести несколько измерений. Таким образом, используя два разных ВП (источник питания и цифровой мультиметр), в данный момент мы можем управлять одним из них: после завершения корректировки источника питания может задействовать цифровой мультиметр. Программа не будет работать, если два ВП будут пытаться управлять одним и тем же инструментом, т.е. надо закрыть лицевую панель для отдельного источника питания и цифрового мультиметра и продолжить проектирование для каждой группы контроля с целью создания комбинированного ВП, причем не изменяя напряжение источника питания (рис.3). В итоге получится только одно считывание, которое будет полезным, но не таким практичным, как при управлении инструментом без LabVIEW, где была достигнута непрерывная корректировка. Поэтому для улучшения характеристики используется цикл WHILE, позволяющий изображать с непрерывной корректировкой измерение цифровым мультиметром: уровень напряжения, входящего в мультиметр, также непрерывно корректируется. Проблемным остается вопрос быстрого появления ВП двойного инструмента для последующей корректировки.

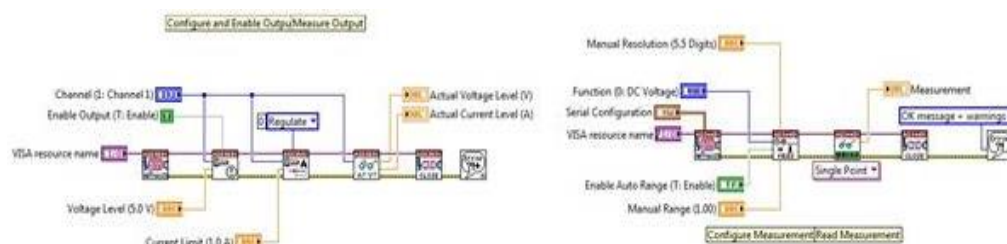


Рис. 3. Комбинированная блок-диаграмма источника питания и цифрового мультиметра

В процессе разработки современных электронных устройств наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями применяется и схемотехническое моделирование [5].

Multisim (Electronics Workbench) - это уникальная возможность для интерактивного создания принципиальных электрических схем и моделирования их режимов работы, где реализовано большое количество функций для профессионального проектирования, ориентированных на самые современные средства моделирования. Здесь также улучшена компонентная база данных, что позволяет, с одной стороны, сделать наглядным изучение дисциплины, а с другой – подготовиться к работе в реальной лаборатории.

Multisim имитирует реальное рабочее место исследователя - лабораторию, оборудованную измерительными приборами, работающими в реальном масштабе времени. Для четкого понимания принципов ее работы необходимо понимание принципов работы основных измерительных приборов (осциллограф, мультиметр и т.д.), т.е. знание отдельных элементов радиоэлектронных устройств. Работа с электронной системой моделирования Multisim включает в себя три основных этапа: создание схемы, выбор и подключение измерительных приборов и, наконец, активация схемы - расчет процессов, протекающих в исследуемом устройстве. Описание схемы стало как никогда простым и интуитивно понятным. Представление в виде электронной таблицы позволяет одновременно изменять характеристики любого количества элементов: от схемы печатной платы до модели SPICE.

Каким образом осуществляется связь "Multisim + LabVIEW"? Виртуальный эксперимент между программными средствами Multisim и LabVIEW становится реальным благодаря дополнению Multisim Automation with the LabVIEW Multisim Connectivity Toolkit. При необходимости более сложного анализа, Multisim предлагает более 15 различных функций анализа. Некоторые примеры включают использование переменного тока, Монте-Карло, анализ наиболее неблагоприятных условий и Фурье.

Традиционно для исследователя функции моделирования и экспериментирования разделены. Эффективность использования среды LabVIEW в научных

исследованиях состоит в том, что, оставаясь в ее рамках, можно как разрабатывать математическую модель объекта, так и снабжать эту модель экспериментальными данными с помощью аппаратных средств ввода-вывода, сопряженных с реальным объектом. Используя дополнение An Introduction Multisim Automation with the LabVIEW Multisim Connectivity Toolkit (beta), достаточно собрать схему РЭС в Multisim и произвести моделирование в LabVIEW. Виртуальные приборы Multisim - это программные модули контрольно-измерительных приборов.

Виртуализация учебных работ профессионального характера создает предпосылки для более глубокого познания свойств исследуемых объектов и процессов на математических моделях, проведения параметрических исследований и оптимизации. Однако осмысленное применение систем виртуальных лабораторий требует довольно высокой квалификации. Нередко студенты успешно овладевают лишь аппаратными и программными компонентами автоматизированных систем. Профессиональная же квалификация в предметной области, связанная с вопросами построения математических моделей и анализа компьютерных расчетов, возрастает медленно или совсем отсутствует. Студенты не получают в полном объеме даже тех знаний, которые им давало традиционное обучение. К тому же относительная легкость получения результата с применением ВП снижает любопытство к самому результату. Так, целенаправленный поиск путем нескольких попыток оптимального или рационального решения в проектных задачах намного интереснее и поучительнее для будущего специалиста, чем получение только одного виртуального решения, которое нельзя улучшить и не с чем сравнить. Поэтому многие специалисты, имеющие большой опыт в образовательной сфере, должны провести анализ существующего состояния кафедр, что приведет к поиску передовых образовательных технологий и позволит оперативно начать решение образовательной задачи. Прежде всего нужна лабораторная база.

В отечественных источниках есть мнение, что реализация обучающей схемы, использование обратной связи, распределение использования готовых решений разными студенческими группами могут стать основными моментами вхождения кафедр в новую образовательную среду на основе компании NI. Этот процесс должен проводиться в несколько этапов:

- 1) каждая кафедра должна разработать свою концепцию внедрения программно-аппаратных средств компании NI в образовательную среду;
- 2) на начальном этапе обучения студентов первых курсов представляется разумным использовать только готовые решения лабораторных работ на базе NI, т.е. задействовать создаваемую лабораторию в учебном процессе;
- 3) расширение лаборатории за счет перевода на базу LabVIEW имеющихся лабораторных работ (предлагается использовать студентов старших курсов, уже прошедших начальный этап).

Потребности современного потребителя образовательных услуг тоже значительно изменились: все больше студентов работают, и график их обучения должен быть гибким, а нагрузка – меньшей, и общество требует уважения к статусу студента. Преподавателю же отведена роль руководителя в обучении и планировании карьеры студента, что становится уже личностно ориентированным процессом. Очевидно, что одним из путей решения данной проблемы может стать возможность активного дистанционного эксперимента в единой информационно-коммуникационной обучающей среде. При этом появится также возможность коммерческого использования виртуальных лабораторий, уникальных установок другими вузами.

В заключение отметим, что на сегодняшний день существует достаточное число программных средств, ориентированных на математическое моделирование задач обработки сигналов, разработки и исследования различных радиоэлектронных и электроизмерительных устройств: на наш взгляд, Electronics Workbench (Multisim) и LabVIEW в наибольшей степени учитывают специфику учебного процесса. При этом характер использования виртуальных лабораторий в профессиональной подготовке будущих специалистов выдвигает перед преподавателем задачи усовершенствования методики применения в учебном процессе виртуальных приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коньков О.И., Приходько А.В.** LabVIEW-лизация кафедры. Год спустя // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии NI: Сб. трудов межд. конф. – М.: Изд-во Рос. унив. дружбы народов. – 2005. - С.86-92 .
2. **Winiecki W.** Virtual instrument or measuring system? // Proc. XVI-th IMEKO World Congress. - Vienna, Austria, Sept. 23-28, 2000.
3. **Zhou Z.** LabVIEW-Based Laboratory for Electronics Engineering Technology Program // 2010 ASEE Southeast Section Conference. - 2010.
4. Development of virtual system "Multimeter" based on National Instruments, September 14, 2011. habrahabr.ru/post/128382/
5. **Noonan P.** Electronics WorkbenchTools. NI Multisim -Electronic Design, Circuit Simulation andPrototyping // National Instruments (www.ieee.li/pdf/.../ni_multisim_for_design_validation_test.pdf)

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 11.09.2013.

Մ.Մ. ՕՍԻՊՅԱՆ

**LabVIEW ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ ՉԱՓԻՉ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ
ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՁ**

Multisim սխեմայի նախագծման և LabVIEW չափիչ պլատֆորմի հնարավորությունների ինտեգրումով ուսանողները կարող են լաբորատորիայում հեշտորեն ստեղծել սխեմայի նմուշը և համեմատել տեսական ու մոդելավորված արդյունքները իրական չափումների հետ, հայտնաբերել սխալները նախագծման վաղ փուլում:

Առանցքային բառեր. չափիչ համակարգ, ինտերնետ-տեխնոլոգիաներ, թվային մուլտիմետր, կրթական գործընթաց:

M.M. OSIPIYAN

**ON THE ISSUE OF MODELING THE MEASURING TECHNOLOGIES IN THE
MEDIUM LabVIEW**

It is shown that by integrating the abilities of circuit design Multisim and the LabVIEW measurement platform, students can easily create circuits in the laboratory, compare the theoretical and simulated results with the actual measurements, detect the errors at the early stages of design.

Keywords: measuring system, digital multimeter, internet-technologies, educational process.

С.О. СИМОНЯН

**МАТРИЧНО-ВЕКТОРНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ**

Предложены конструктивные матрично-векторные представления некоторых вычислительных методов определения параметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза, основанных на дифференциальных преобразованиях Пухова.

Ключевые слова: параметрические матрицы, обобщенные обратные матрицы, дифференциальные преобразования, последовательные рекуррентные вычислительные схемы, конструктивные матрично-векторные представления вычислительных методов.

Введение. Для определения параметрических обобщенных обратных матриц $X(t) = A^+(t) \in R^{n \times m}$ Мура-Пенроуза [1] при параметрических матрицах $A(t) \in R^{m \times n}$ (заметим, что параметр t может быть временем, оператором Лапласа ($S \sim d/dt$) или другим параметром) на основе дифференциальных преобразований Пухова [2] в работе [3] был предложен дифференциальный аналог (Д-аналог) простейшего метода с двумя разновидностями, а в работе [4] – Д-аналог универсального метода с четырьмя разновидностями. В настоящей работе с той же целью предлагаются конструктивные матрично-векторные представления этих вычислительных методов, основанные на явных последовательных рекуррентных вычислительных схемах, намного облегчающие процедуры программирования [5] по определению параметрических обобщенных обратных матриц.

Математический аппарат. Дифференциальные преобразования параметрических матриц $A(t)$ и $X(t)$ в соответствии с [2] имеют вид

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K A(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \Leftrightarrow \quad A(t) = \aleph_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}),$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K X(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \Leftrightarrow \quad X(t) = \aleph_2(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}),$$

где левые части – прямые преобразования; правые части – обратные преобразования; $K = \overline{0, \infty}$ – целочисленный аргумент; $A(K)$ и $X(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ – матрич-

ные дискреты матричных оригиналов $A(t)$ и $X(t)$ соответственно с размерами $m \times n$ и $n \times m$; H – масштабный коэффициент; t_v – центр аппроксимации; $\mathfrak{S}_1(\bullet)$ и $\mathfrak{S}_2(\bullet)$ – матричные функции, восстанавливающие оригиналы – матрицы $A(t)$ и $X(t)$ соответственно; символ $\overline{\cdot}$ – знак перехода из области оригиналов в область Д-изображений и наоборот [2].

1. Матрично-векторные представления Д-аналогов простейшего метода. В соответствии с работой [3] рассмотрим два варианта конструктивных матрично-векторных представлений.

Вариант 1. На основе использования простейшего соотношения

$$A(t) \cdot X(t) = E_{m \times m}, \quad (1.1)$$

где $E_{m \times m}$ – единичная матрица порядка m , и перевода его из области оригиналов в область Д-изображений была получена следующая явная последовательная рекуррентная вычислительная схема для определения неизвестных матричных дискрет $X(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ обобщенной обратной матрицы $X(t)$:

$$\begin{aligned} \text{при } K=0: & X(0) = A^+(0), \\ \text{при } K=1: & X(1) = -X(0) \cdot A(1) \cdot X(0), \\ \text{при } K=2: & X(2) = -X(0) \cdot A(2) \cdot X(0) - X(0) \cdot A(1) \cdot X(1), \\ \text{при } K=3: & X(3) = -X(0) \cdot A(3) \cdot X(0) - X(0) \cdot A(2) \cdot X(1) - \\ & - X(0) \cdot A(1) \cdot X(2), \\ & \dots\dots\dots \\ \text{при } K=K: & X(K) = -X(0) \cdot \sum_{l=1}^K A(l) \cdot X(K-l), \end{aligned} \quad (1.2)$$

где $A^+(0)$ – псевдообратная матрица с размерами $n \times m$ матрицы $A(0)$ (нулевая матричная дискрета обобщенной обратной матрицы $X(t)$).

Теперь явную последовательную рекуррентную вычислительную схему (1.2) представим в несколько ином – объединенном матрично-векторном виде, имея в виду, что $X(0) = A^+(0)$:

$$\begin{pmatrix} X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ \vdots \\ X(K) \end{pmatrix} = - \begin{bmatrix} A^+(0) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A^+(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & A^+(0) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A^+(0) \end{bmatrix} \times \\
\times \begin{bmatrix} A(1) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ A(2) & A(1) & 0 & \dots & 0 \\ A(3) & A(2) & A(1) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A(K) & A(K-1) & A(K-2) & \dots & A(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ \vdots \\ X(K-1) \end{pmatrix}, \quad (1.3)$$

или в компактной записи:

$$X(\overline{1,K}) = -\text{diag}[A^+(0)] \cdot \overline{A(\overline{1,K})} \cdot X(\overline{0,K-1}), \quad (1.4)$$

где $X(\overline{1,K}) = [X(1):X(2):\dots:X(K)]^T$ - составной гипервектор-столбец – матрица с размерами $Kn \times m$; $\text{diag}[A^+(0)]$ - диагональная гиперматрица с размерами $Kn \times Km$ с матричными диагональными элементами-матрицами $A^+(0)$; $\overline{A(\overline{1,K})}$ - составная блочная нижнетреугольная гиперматрица с размерами $Km \times Kn$ с матричными элементами $A(1), \dots, A(K)$ (с матричными элементами $A(1)$ на главной диагонали, с $A(2)$ на нижней поддиагонали и т.д. до матричного элемента $A(K)$ включительно); $X(\overline{0,K-1}) = [X(0):X(1):\dots:X(K-1)]^T$ - составной гипервектор – столбец – матрица с размерами $Kn \times m$.

Вариант 2. На основе использования другого простейшего соотношения

$$X(t) \cdot A(t) = E_{n \times n}, \quad (1.5)$$

где $E_{n \times n}$ - единичная матрица порядка n , и перевода его из области оригиналов в область Д-изображений была получена следующая явная последовательная рекуррентная вычислительная схема:

при $K=0$: $X(0) = A^+(0)$,

при $K=1$: $X(1) = -X(0) \cdot A(1) \cdot X(0)$,

при $K=2$: $X(2) = -X(0) \cdot A(2) \cdot X(0) - X(1) \cdot A(1) \cdot X(0)$,

при $K=3$: $X(3) = -X(0) \cdot A(3) \cdot X(0) - X(1) \cdot A(2) \cdot X(0) -$
 $- X(2) \cdot A(1) \cdot X(0)$,

.....

$$\text{при } K=K: X(K) = - \left[\sum_{l=0}^{K-1} X(l) \cdot A(K-l) \right] \cdot X(0). \quad (1.6)$$

Теперь явную последовательную рекуррентную вычислительную схему (1.6) представим в следующем матрично-векторном виде, также имея в виду, что $X(0) = A^+(0)$.

$$\begin{aligned} [X(1):X(2):X(3):\dots:X(K)] = & - [X(0):X(1):X(2):\dots:X(K-1)] \times \\ & \times \begin{bmatrix} A(1) & A(2) & A(3) & \dots & A(K) \\ 0 & A(1) & A(2) & \dots & A(K-1) \\ 0 & 0 & A(1) & \dots & A(K-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A(1) \end{bmatrix} \times \\ & \times \begin{bmatrix} A^+(0) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A^+(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & A^+(0) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A^+(0) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (1.7)$$

или в компактной записи:

$$X(\overline{1,K}) = -X(\overline{0,K-1}) \cdot \overline{A(1,K)} \cdot \text{diag}[A^+(0)], \quad (1.8)$$

где $X(\overline{1,K}) = [X(1):X(2):\dots:X(K)]$ - составной гипервектор – строка – матрица с размерами $n \times Km$; $X(\overline{0,K-1}) = [X(0):X(1):\dots:X(K-1)]$ - составной гипервектор – строка – матрица с размерами $n \times Km$; $\overline{A(1,K)}$ - составная блочная верхнетреугольная гиперматрица с размерами $Km \times Kn$ с матричными элементами $A(1), \dots, A(K)$ (с матричными элементами $A(1)$ на главной диагонали, с $A(2)$ на верхней наддиагонали и т.д. до матричного элемента $A(K)$ включительно); $\text{diag}[A^+(0)]$ - диагональная гиперматрица с размерами $Kn \times Km$ с матричными элементами $A^+(0)$.

2. Матрично-векторные представления Д-аналогов универсального метода. В соответствии с работой [4] рассмотрим два наиболее общих варианта конструктивных матрично-векторных представлений.

Вариант 1. На основе использования известного условия [1]

$$A^T(t) \cdot A(t) \cdot X(t) = A^T(t) \quad (2.1)$$

или

$$B(t) \cdot X(t) = A^T(t), \quad (2.2)$$

где

$$B(t) = A^T(t) \cdot A(t), \quad (2.3)$$

и перевода (2.2) из области оригиналов в область Д – изображений для наиболее общего случая была получена следующая явная последовательная рекуррентная вычислительная схема для определения неизвестных матричных дискрет $X(K)$:

$$\text{при } K=0: X(0) = B^+(0) \cdot A^T(0),$$

$$\text{при } K=1: X(1) = B^+(0) \cdot [A^T(1) - B(1) \cdot X(0)],$$

$$\text{при } K=2: X(2) = B^+(0) \cdot [A^T(2) - B(2) \cdot X(0) - B(1) \cdot X(1)],$$

при $K=3$:

$$X(3) = B^+(0) \cdot [A^T(3) - B(3) \cdot X(0) - B(2) \cdot X(1) - B(1) \cdot X(2)],$$

.....

$$\text{при } K=K: X(K) = B^+(0) \cdot \left[A^T(K) - \sum_{l=1}^K B(l) \cdot X(K-l) \right], \quad (2.4)$$

где

$$B(K)_{n \times n} = \sum_{l=0}^K A^T(l) \cdot A(K-l), K = \overline{0, \infty}, \quad (2.5)$$

причем $B^+(0)$ – нулевая псевдообратная матричная дискрета порядка n .

Заметим, что все матричные дискреты $B(K)$ являются положительно полу-определенными (когда $\text{rang} B(K) < n$) или положительно определенными (когда $\text{rang} B(K) = n$) матрицами. Естественно, в последнем случае при $K=0$ в (2.4) можно оперировать нулевой обратной матричной дискретой $B^{-1}(0)$.

Теперь явную последовательную рекуррентную вычислительную схему (2.4) представим в следующем матрично-векторном виде, имея в виду, что $X(0) = B^+(0) \cdot A^T(0)$:

$$\begin{pmatrix} X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ \vdots \\ X(K) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} B^+(0) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & B^+(0) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & B^+(0) & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & B^+(0) \end{bmatrix} \times \\ \times \left[\begin{pmatrix} A^T(1) \\ A^T(2) \\ A^T(3) \\ \vdots \\ A^T(K) \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} B(1) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ B(2) & B(1) & 0 & \cdots & 0 \\ B(3) & B(2) & B(1) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B(K) & B(K-1) & B(K-2) & \cdots & B(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ \vdots \\ X(K-1) \end{pmatrix} \right], \quad (2.6)$$

или в компактной записи:

$$X(1, \overline{K}) = \text{diag}[B^+(0)] \cdot [A^T(1, \overline{K}) - \overline{B(1, K)} \cdot X(0, K-1)], \quad (2.7)$$

где $X(1, \overline{K}) = [X(1):X(2):\cdots:X(K)]^T$ - составной гипервектор – столбец – матрица с размерами $Kn \times m$; $\text{diag}[B^+(0)]$ - составная диагональная гиперматрица порядка Kn с матричными элементами $B^+(0)$; $A^T(1, \overline{K}) = [A^T(1):A^T(2):\cdots:A^T(K)]^T$ - составной гипервектор – столбец – матрица с размерами $Kn \times m$; $\overline{B(1, K)}$ - составная блочная нижнетреугольная гиперматрица порядка Kn с матричными элементами, с $B(1), B(2), \dots, B(K)$ (с матричными элементами, с $B(1)$ на главной диагонали, с $B(2)$ на нижней поддиагонали и т.д. до матричного элемента $B(K)$ включительно); $X(0, K-1) = [X(0):X(1):\cdots:X(K-1)]^T$ - составной гипервектор – столбец – матрица с размерами $Kn \times m$.

Вариант 2. На основе использования другого известного условия [1]

$$X(t) \cdot A(t) \cdot A^T(t) = A^T(t) \quad (2.8)$$

или

$$X(t) \cdot C(t) = A^T(t), \quad (2.9)$$

где

$$C(t) = A(t) \cdot A^T(t), \quad (2.10)$$

и перевода (2.9) из области оригиналов в область Д-изображений была получена следующая явная последовательная рекуррентная вычислительная схема для определения неизвестных матричных дискрет $X(K)$:

$$\text{при } K=0: X(0) = A^T(0) \cdot C^+(0),$$

$$\text{при } K=1: X(1) = [A^T(1) - X(0) \cdot C(1)] \cdot C^+(0),$$

$$\text{при } K=2: X(2) = [A^T(2) - X(0) \cdot C(2) - X(1) \cdot C(1)] \cdot C^+(0),$$

при $K=3$:

$$X(3) = [A^T(3) - X(0) \cdot C(3) - X(1) \cdot C(2) - X(2) \cdot C(1)] \cdot C^+(0),$$

.....

$$\text{при } K=K: X(K) = \left[A^T(K) - \sum_{l=0}^{K-1} X(l) \cdot C(K-l) \right] \cdot C^+(0), \quad (2.11)$$

где

$$C(K) = \sum_{l=0}^K A(l) \cdot A^T(K-l), K = \overline{0, \infty}, \quad (2.12)$$

причем $C^+(0)$ – нулевая псевдообратная матричная дискрета порядка m . Заметим, что все матричные дискреты $C(K)$ также являются положительно полуопределенными (когда $\text{rang} C(K) < m$) или положительно определенными (когда $\text{rang} C(K) = m$) матрицами. Естественно, в последнем случае при $K = 0$ в (2.11) можно оперировать нулевой обратной матричной дискретой $C^{-1}(0)$.

Теперь явную последовательную рекуррентную вычислительную схему (2.11) представим в следующем матрично-векторном виде, имея в виду, что $X(0) = A^T(0) \cdot C^+(0)$:

$$\begin{aligned} (X(1):X(2):\dots:X(K)) = & [(A^T(1):A^T(2):\dots:A^T(K)) - \\ & - (X(0):X(1):\dots:X(K-1)) \cdot \begin{bmatrix} C(1) & C(2) & C(3) & \dots & C(K) \\ 0 & C(1) & C(2) & \dots & C(K-1) \\ 0 & 0 & C(1) & \dots & C(K-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & C(1) \end{bmatrix}] \times \end{aligned}$$

$$\times \begin{bmatrix} C^+(0) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C^+(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & C^+(0) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & C^+(0) \end{bmatrix}, \quad (2.13)$$

или в компактной записи:

$$X(\overline{1, K}) = [A^T(\overline{1, K}) - X(\overline{0, K-1}) \cdot \overline{C(\overline{1, K})}] \cdot \text{diag}[C^+(0)], \quad (2.14)$$

где $X(\overline{1, K}) = [X(1):X(2):\dots:X(K)]$ - составной гипервектор – строка – матрица с размерами $n \times Km$; $A^T(\overline{1, K}) = (A^T(1):A^T(2):\dots:A^T(K))$ - составной гипервектор – строка - матрица с размерами $n \times Km$; $X(\overline{0, K-1}) = [X(0):X(1):\dots:X(K-1)]$ - составной гипервектор-строка-матрица с размерами $n \times Km$; $\overline{C(\overline{1, K})}$ - составная блочная верхнетреугольная гиперматрица порядка Km с матричными элементами $C(1), C(2), \dots, C(K)$ (с матричными элементами $C(1)$ на главной диагонали, с $C(2)$ на верхней наддиагонали и т.д. до матричного элемента $C(K)$ включительно); $\text{diag}[C^+(0)]$ - составная диагональная гиперматрица порядка Km с матричными элементами $C^+(0)$.

Заключение. Таким образом, вполне очевидно, что конструктивные матрично-векторные представления (1.3), (1.7) и (2.6), (2.13) намного более удобны для эффективного программирования по определению параметрических обобщенных обратных матриц Мура-Пенроуза, нежели последовательные рекуррентные вычислительные схемы (1.2), (1.6) и (2.4), (2.5); (2.11), (2.12) соответственно, предложенные в работах [3] и [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц.- М.: Физматлит, 2010.- 560 с.
2. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные спектры и модели. - Киев: Наукова думка, 1990.- 184 с.
3. **Симомян С.О., Аветисян А.Г., Симомян А.С.** Метод определения параметрических обобщенно-обратных матриц, основанный на дифференциальных преобразованиях // Вестник ГИУА. Сер. “Моделирование, оптимизация, управление”.- 2008.- Вып. 11, том 1.- С. 78-85.
4. **Симомян С.О., Аветисян А.Г., Симомян А.С., Авинян В.Р.** Универсальный метод определения параметрических обобщенных обратных матриц // Вестник ГИУА. Сер. “Информационные технологии, электроника, радиотехника”.- 2012.- Вып. 15, N⁰ 2.- С. 9-19.

5. **Боровский А.** QT 4.7+. Практическое программирование на C⁺⁺. – СПб.: “БХВ_Петербург”, 2012.- 496 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 11.09.2013.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

**ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՑՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ
ՈՐՈՇ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՄԱՏՐԻՑԱՎԵԿՏՈՐԱՑԻՆ
ՆԵՐԿԱՑԱՑՈՒՄՆԵՐԸ**

Առաջարկվել են Մուր-Պենրոուզի պարամետրական ընդհանրացված հակադարձ մատրիցների որոշման Պուլտովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա հիմնված որոշ եղանակների կոնստրուկտիվ մատրիցավեկտորային ներկայացումները:

Առանցքային բառեր. պարամետրական մատրիցներ, ընդհանրացված հակադարձ մատրիցներ, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, հաջորդական անդրադարձ հաշվողական սխեմաներ, հաշվողական մեթոդների կոնստրուկտիվ մատրիցավեկտորային ներկայացումներ:

S.H. SIMONYAN

**MATRIX-VECTOR REPRESENTATIONS OF SOME CALCULATING
METHODS FOR DEFINING PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE
MATRICES**

Constructive matrix-vector representations of some calculating methods for defining Moore - Penrouse's parametric generalized inverse matrices based on Pukhv's differential conversions, are proposed.

Keywords: parametric matrices, generalized inverse matrices, differential, transforms, sequential recurrent calculating circuits, representations of matrix-vector constructive methods calculating.

A.G. AVETISYAN, V.R. AVINYAN, D.A. GHAZARYAN

A METHOD FOR SOLVING SILVESTER TYPE
PARAMETRIC MATRIX EQUATION

A method for solving Sylvester type parametric matrix equations is proposed. The method is a generalization of Bartels-Stuard's algorithm for solving Sylvester type autonomous matrix equations. The method is based on differential transformations and is called D-analogue of Bartels-Stuard's algorithm. A model example is also presented.

Keywords: matrix equation, nonautonomous matrix, differential transformations, Bartels-Stuard's algorithm, Schure decomposition.

There are many common problems in science and technology which are reduced to the solution of linear autonomous matrix equations. The problems become more complicated when the system is described by nonlinear and/or nonautonomous equations. There are a lot of methods for solving autonomous matrix equations [1-3] but the nonautonomous case is almost not investigated. The efficiency of differential transformations [4] for solving many problems of nonautonomous systems was shown in many investigations by many authors [5,6]. Taking into account the efficiency of using differential transformations for nonautonomous cases, in this paper, differential transformations are applied for solving Sylvester type non-autonomous matrix equations.

Considering the Sylvester parametric matrix equation:

$$A_{m \times m}(t) \cdot X_{m \times n}(t) + X_{m \times n}(t) \cdot B_{n \times n}(t) = C_{m \times n}(t). \quad (1)$$

According to Bartels-Stuard's algorithm [1], the equation (1) is reduced to:

$$U_a(t) \cdot T_a(t) \cdot U_a^T(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot U_b(t) \cdot T_b(t) \cdot U_b^T(t) = C(t), \quad (2)$$

where $U_a(t)$ and $U_b(t)$ are unitary matrices [4,5] ($U_a^T(t) = U_a^{-1}(t)$ and $U_b^T(t) = U_b^{-1}(t)$), $T_a(t)$ and $T_b(t)$ are the upper triangular matrices computed as Schure decomposition [1]:

$$T_a(t) = U_a^T(t) \cdot A(t) \cdot U_a(t), \quad (3)$$

$$T_b(t) = U_b^T(t) \cdot B(t) \cdot U_b(t). \quad (4)$$

Taking into account the unitarity of U matrices and multiplying (2) by $U_a^T(t)$ the left side and by $U_b(t)$ the right side (2) becomes:

$$T_a(t) \cdot U_a^T(t) \cdot X(t) U_b(t) + U_a^T(t) \cdot X(t) \cdot U_b(t) \cdot T_b(t) = U_a^T(t) \cdot C(t) U_b(t). \quad (5)$$

Denoted by

$$\tilde{C}(t) = U_a^T(t) \cdot C(t) \cdot U_b(t), \quad (6)$$

$$Y(t) = U_a^T(t) \cdot X(t) \cdot U_b(t), \quad (7)$$

(5) becomes:

$$T_a(t) \cdot Y(t) + Y(t) \cdot T_b(t) = \tilde{C}(t). \quad (8)$$

The solution of equation (1) can be computed as:

$$X(t) = U_a(t) \cdot Y(t) \cdot U_b^T(t). \quad (9)$$

The differential transformations[4-6] will serve as a main mathematical apparatus for solving this parametric matrix equation, so let us introduce the main expression of differential transformations and some of their important properties:

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K x(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad x(t) = \aleph(t, t_v, H, X(K)), \quad (10)$$

where $X(K)$ is the image (discrete) of the original $X(t)$; H - the known constant (scale coefficient); $\aleph(\cdot)$ - the known function of the variant for reconstruction of the original $X(t)$; t_v - the center of approximation. The left side of the expression is called forward transformations, and the right side - the reverse transformation or reconstruction. Here are some of the properties of differential transformations, which will be used for the future computations.

According to differential transformation algebra, the matrix equation (8) in image space will be [4-6]:

$$\sum_{l=0}^K (T_a(l) \cdot Y(K-l) + Y(l) \cdot T_b(K-l)) = \tilde{C}(K), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (11)$$

where

$$T_a(K) = \sum_{\substack{p=0, q=0, r=0 \\ p+q+r=K}}^{p=K, q=K, r=K} (U_a^T(p) \cdot A(q) \cdot U_a(r)), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (12)$$

$$T_b(K) = \sum_{\substack{p=K, q=K, r=K \\ p=0, q=0, r=0 \\ p+q+r=K}} (U_b^T(p) \cdot B(q) \cdot U_b(r)), K = \overline{0, \infty}, \quad (13)$$

$$\tilde{C}(K) = \sum_{\substack{p=K, q=K, r=K \\ p=0, q=0, r=0 \\ p+q+r=K}} (U_a^T(p) \cdot C(q) \cdot U_b(r)), K = \overline{0, \infty}, \quad (14)$$

are the matrix discrete or images of (3), (4) and (6) accordingly.

From (11) it follows:

$$\begin{aligned} & T_a(0) \cdot Y(K) + Y(K) \cdot T_b(0) = \\ & = \tilde{C}(K) - \sum_{l=0}^{K-1} (T_a(K-l) \cdot Y(l) + Y(l) \cdot T_b(K-l)), K = \overline{0, \infty}. \end{aligned} \quad (15)$$

For each iteration ($K = \overline{0, \infty}$) the elements of Y are computed as:

$$\begin{aligned} Y_{ij}(K) &= \frac{\tilde{C}_{ij}(K) - \left(\sum_{l=i+1}^m T_a(K)_{il} \cdot Y(K)_{lj} + \sum_{f=1}^{j-1} Y(K)_{if} \cdot T_b(K)_{fj} \right)}{T_a(K)_{ii} + T_b(K)_{jj}}, \\ & i = \overline{m, 1}; j = \overline{1, n}; \\ & T_a(K)_{ii} + T_b(K)_{jj} \neq 0. \end{aligned} \quad (16)$$

The $U_a(K)$ and $U_b(K)$ ($K = \overline{0, \infty}$) discretized can be calculated as the Eigen vectors' matrices of $A(t)$ and $B(t)$ previously orthogonalized by D-analogue of the Gramm-Schmidt process [6].

The $X(K)$ discretized can be calculated from the image of (9):

$$X(K) = \sum_{\substack{p=K, q=K, r=K \\ p=0, q=0, r=0 \\ p+q+r=K}} (U_a(p) \cdot Y(q) \cdot U_b^T(r)), K = \overline{0, \infty}. \quad (17)$$

The original $X(t)$ can be reconstructed as the second part of (10).

Example. Now consider the following matrix equation:

$$\begin{aligned}
A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) &= C(t) = \\
&= \begin{bmatrix} t+1 & 1-t \\ -t & t^2 \end{bmatrix} \cdot X(t) + X(t) \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{t} & \frac{1}{t-5} \\ \frac{t}{t^2-t-6} & \frac{t-5}{t^2-t+3} \end{bmatrix} = \\
&= \begin{bmatrix} \frac{-t^4 + t^3 + 3t^2 + t + 12}{-t^2 + t + 6} & \frac{3t^4 - 15t^3 + 13t^2 - 39t - 15}{t^3 - 6t^2 + 8t - 15} \\ \frac{t^3 + t^2 - t - 6}{t^3 - t^2 - 6t} & \frac{t^6 - 7t^5 + 13t^4 - 16t^3 + 3t^2 + 14t + 3}{t^3 - 6t^2 + 8t - 15} \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

According to (10) the discretized versions of $A(t)$, $B(t)$ and $C(t)$ (at $t_v = 1.5$; $H = 1$;) are as follows:

$$A(0) = \begin{bmatrix} 2.5 & -0.5 \\ -1.5 & 2.25 \end{bmatrix}; A(1) = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}; A(2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; A(K) = \{0\}, K \geq 3.$$

$$B(0) = \begin{bmatrix} 0.66667 & -0.28571 \\ -0.28571 & 0.40000 \end{bmatrix}, B(1) = \begin{bmatrix} -0.44444 & -0.08163 \\ -0.29932 & 0.05333 \end{bmatrix},$$

$$B(2) = \begin{bmatrix} 0.29630 & -0.02332 \\ -0.16845 & -0.13511 \end{bmatrix}, B(3) = \begin{bmatrix} -0.19753 & -0.00666 \\ -0.12118 & 0.05784 \end{bmatrix},$$

$$B(4) = \begin{bmatrix} 0.13169 & -0.00190 \\ -0.07825 & 0.00518 \end{bmatrix}, B(5) = \begin{bmatrix} -0.08779 & -0.00054 \\ -0.05289 & -0.01819 \end{bmatrix},$$

$$B(6) = \begin{bmatrix} 0.05853 & -0.00016 \\ -0.03505 & 0.00832 \end{bmatrix}, B(7) = \begin{bmatrix} -0.03902 & -0.00004 \\ -0.02343 & -0.00041 \end{bmatrix},$$

$$B(8) = \begin{bmatrix} 0.02601 & -0.00001 \\ -0.01560 & -0.00244 \end{bmatrix}.$$

$$C(0) = \begin{bmatrix} 3.5357 & 6.0714 \\ 0.2381 & -0.0607 \end{bmatrix}, C(1) = \begin{bmatrix} 1.9660 & 3.1252 \\ -1.1791 & 3.1484 \end{bmatrix},$$

$$C(2) = \begin{bmatrix} 0.2796 & -0.4011 \\ -0.2557 & 3.3273 \end{bmatrix}, C(3) = \begin{bmatrix} -0.4714 & -0.0238 \\ -0.5478 & 0.9450 \end{bmatrix},$$

$$C(4) = \begin{bmatrix} -0.3168 & 0.0613 \\ -0.1069 & 0.0637 \end{bmatrix}, C(5) = \begin{bmatrix} -0.2105 & -0.0430 \\ -0.2454 & -0.0226 \end{bmatrix},$$

$$C(6) = \begin{bmatrix} -0.1405 & 0.0018 \\ -0.0469 & -0.0059 \end{bmatrix}, C(7) = \begin{bmatrix} -0.0936 & 0.0091 \\ -0.1092 & 0.0089 \end{bmatrix},$$

$$C(8) = \begin{bmatrix} -0.0624 & -0.0057 \\ -0.0208 & -0.0033 \end{bmatrix}.$$

According to D-analogue of orthogonalization of the Gram-Schmidt process [6], the discretized versions of $U_a(t)$ and $U_b(t)$ are as follows:

$$U_a(0) = \begin{bmatrix} -0.5547 & 0.8321 \\ 0.8321 & 0.5547 \end{bmatrix}, U_a(1) = \begin{bmatrix} 0.2560 & 0.1707 \\ 0.1707 & -0.2560 \end{bmatrix},$$

$$U_a(2) = \begin{bmatrix} -0.0919 & -0.1182 \\ -0.1182 & 0.0919 \end{bmatrix}, U_a(3) = \begin{bmatrix} 0.0182 & 0.0646 \\ 0.0646 & -0.0182 \end{bmatrix},$$

$$U_a(4) = \begin{bmatrix} 0.0065 & -0.0280 \\ -0.0280 & -0.0065 \end{bmatrix}, U_a(5) = \begin{bmatrix} -0.0099 & 0.0083 \\ 0.0083 & 0.0099 \end{bmatrix},$$

$$U_a(6) = \begin{bmatrix} 0.0067 & -0.0002 \\ -0.0002 & -0.0067 \end{bmatrix}, U_a(7) = \begin{bmatrix} -0.0031 & -0.0020 \\ -0.0020 & 0.0031 \end{bmatrix},$$

$$U_a(8) = \begin{bmatrix} 0.0009 & 0.0018 \\ 0.0018 & -0.0009 \end{bmatrix}.$$

$$U_b(0) = \begin{bmatrix} 0.5372 & -0.8435 \\ 0.8435 & 0.5372 \end{bmatrix}, U_b(1) = \begin{bmatrix} 0.2638 & 0.1680 \\ -0.1680 & 0.2638 \end{bmatrix},$$

$$U_b(2) = \begin{bmatrix} -0.3869 & -0.1884 \\ 0.1884 & -0.3869 \end{bmatrix}, U_b(3) = \begin{bmatrix} 0.0470 & -0.1286 \\ 0.1286 & 0.0470 \end{bmatrix},$$

$$U_b(4) = \begin{bmatrix} 0.2653 & 0.2678 \\ -0.2678 & 0.2653 \end{bmatrix}, U_b(5) = \begin{bmatrix} -0.3610 & -0.0864 \\ 0.0864 & -0.3610 \end{bmatrix},$$

$$U_b(6) = \begin{bmatrix} 0.0009 & 0.0018 \\ 0.0018 & -0.0009 \end{bmatrix}, U_b(7) = \begin{bmatrix} 0.4630 & 0.4036 \\ -0.4036 & 0.4630 \end{bmatrix},$$

$$U_b(8) = \begin{bmatrix} -0.5449 & 0.0093 \\ -0.0093 & -0.5449 \end{bmatrix}.$$

For $T_a(t)$ and $T_b(t)$ from (12) and (13), the matrix discretized versions are:

$$T_a(0) = \begin{bmatrix} 3.25 & -1 \\ 0 & 1.5 \end{bmatrix}, T_a(1) = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, T_a(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, A(2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$T_a(K) = \{0\}, K \geq 3.$$

$$T_b(0) = \begin{bmatrix} 0.2180 & 0 \\ 0 & 0.8486 \end{bmatrix}, T_b(1) = \begin{bmatrix} -0.2629 & 0.2177 \\ 0 & -0.1282 \end{bmatrix},$$

$$T_b(2) = \begin{bmatrix} -0.2273 & 0.1451 \\ 0 & 0.3885 \end{bmatrix}, T_b(3) = \begin{bmatrix} 0.1294 & 0.1145 \\ 0 & -0.2691 \end{bmatrix},$$

$$T_b(4) = \begin{bmatrix} -0.0865 & 0.0763 \\ 0 & 0.2234 \end{bmatrix}, T_b(5) = \begin{bmatrix} -0.1040 & 0.0523 \\ 0 & -0.0020 \end{bmatrix},$$

$$T_b(6) = \begin{bmatrix} 0.1236 & 0.0349 \\ 0 & -0.0568 \end{bmatrix}, T_b(7) = \begin{bmatrix} -0.0277 & 0.0234 \\ 0 & -0.0109 \end{bmatrix},$$

$$T_b(8) = \begin{bmatrix} -0.1402 & 0.0156 \\ 0 & 0.1638 \end{bmatrix}.$$

The $\tilde{C}(K)$ discretized are calculated from (14):

$$\tilde{C}(0) = \begin{bmatrix} -3.8304 & -0.3491 \\ 5.8838 & 0.1028 \end{bmatrix}, \tilde{C}(1) = \begin{bmatrix} 1.5541 & 1.0568 \\ 5.3401 & 3.4547 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{C}(2) = \begin{bmatrix} 2.2941 & 4.4893 \\ -0.1348 & -0.8432 \end{bmatrix}, \tilde{C}(3) = \begin{bmatrix} 0.1574 & 0.7549 \\ 0.7562 & -1.8087 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{C}(4) = \begin{bmatrix} 1.4498 & -2.1484 \\ 0.0357 & 2.1249 \end{bmatrix}, \tilde{C}(5) = \begin{bmatrix} -0.0573 & 1.7826 \\ -1.7510 & 0.1310 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{C}(6) = \begin{bmatrix} -1.4382 & 0.5874 \\ 1.3535 & -2.5293 \end{bmatrix}, \tilde{C}(7) = \begin{bmatrix} 1.5134 & -3.0276 \\ 0.7543 & 3.0819 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{C}(8) = \begin{bmatrix} 0.5821 & 2.5169 \\ -2.9709 & 0.4562 \end{bmatrix}.$$

The $Y(K)$ discrete is collected from (16):

$$Y(0) = \begin{bmatrix} -0.1170 & -0.0745 \\ 3.4247 & 0.0438 \end{bmatrix}, Y(1) = \begin{bmatrix} 1.0130 & 0.5937 \\ 1.6389 & 1.1373 \end{bmatrix},$$

$$Y(2) = \begin{bmatrix} -0.2067 & 0.3738 \\ -0.3285 & -1.1520 \end{bmatrix}, Y(3) = \begin{bmatrix} 0.1429 & -0.4917 \\ 0.5400 & -0.7634 \end{bmatrix},$$

$$Y(4) = \begin{bmatrix} 0.2514 & 0.0236 \\ -0.2054 & 1.2838 \end{bmatrix}, Y(5) = \begin{bmatrix} -0.3745 & 0.3855 \\ -0.5451 & -0.6625 \end{bmatrix},$$

$$Y(6) = \begin{bmatrix} 0.0767 & -0.4476 \\ 0.7900 & -1.0591 \end{bmatrix}, Y(7) = \begin{bmatrix} 0.4068 & -0.0459 \\ -0.0120 & 1.9631 \end{bmatrix},$$

$$Y(8) = \begin{bmatrix} -0.4888 & 0.6503 \\ -1.2267 & -0.6442 \end{bmatrix}.$$

The $X(K)$ discretized are calculated from (17):

$$X(0) = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 \\ 1 & 1.5 \end{bmatrix}, X(1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, X(K) = \{0\}, K \geq 2.$$

The original $X(t)$ is reconstructed using differential Taylor's transformation [4-6]:

$$X(t) = \begin{bmatrix} t & t+1 \\ 1 & t \end{bmatrix}.$$

Conclusion. The solution of the model example by using the developed D-analogue of Bartels-Stuard's method analytically, satisfies the considered Sylvester type nonautonomous matrix equation.

REFERENCES

1. **Икрамов Х.Д.** Численное решение матричных уравнений / Под ред. Д.К. Фаддеева. - М.: Наука, 1984. - 192с.
2. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. - М.: Физматлит, 2010. - 560 с.
3. **Ланкастер П.** Теория матриц. - М.: Наука, 1978. - 280 с.
4. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Прикладная теория дифференциальных преобразований. - Ереван: Изд-во ГИУА "Чартарагет", 2010. - 364 с.
5. **Бадалян Л.А.** Разработка методов определения псевдообратных нестационарных матриц и автоматизация вычислительных процедур: Автореф. дис. ... к.т.н. - Ереван, 2007. - 21с.
6. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные спектры и модели. - Киев: Наукова думка, 1990. - 230 с.

SEUA (POLYTECHNIC). The material is received 20.09.2013.

Ա.Գ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Վ.Ռ. ԱՎԻՆՅԱՆ, Դ.Ա. ԿԱԶԱՐՅԱՆ

ՄԻԼՎԵՍՏՐԻ ՏԻՊԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ԼՈՒԾՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Առաջարկված է Միլվեստրի տիպի պարամետրական մատրիցային հավասարումների լուծման եղանակ՝ հիմնված Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա, որը Միլվեստրի տիպի ավտոնոմ մատրիցային հավասարումների լուծման Բարտելս-Ստյուարտի եղանակի ընդհանրացումն է և կոչվում է Բարտելս-Ստյուարտի եղանակի Դ-նմանակ: Ներկայացված է մոդելային օրինակ:

Առանցքային բառեր. մատրիցային հավասարում, ոչ-ավտոնոմ մատրից, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, Բարտելս-Ստյուարտի եղանակ, Շուրի դեկոմպոզիցիա:

Ա.Г. АВЕТИСЯН, В.Р. АВИНЯН, Д.А. КАЗАРЯН

МЕТОД РЕШЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ
ТИПА СИЛЬВЕСТРА

Предложен метод решения параметрических матричных уравнений типа Сильвестра, который является обобщением метода Бартельса-Стюарта для решения автономных матричных уравнений типа Сильвестра. Метод основан на дифференциальных преобразованиях Пухова и назван Д-аналогом метода Бартельса-Стюарта. Представлен модельный пример.

Ключевые слова: матричное уравнение, неавтономная матрица, дифференциальные преобразования, метод Бартельса-Стюарта, декомпозиция Шура.

УДК 621.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ

Г.С. СУКИАСЯН

**ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ТЕТРАЭДРИЧЕСКОЙ СЕТКИ ПРИ РЕШЕНИИ
ТРЕХМЕРНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ**

Предложен быстрый нетрудоемкий алгоритм оценивания качества тетраэдрической сетки, применяемый при решении трехмерных краевых задач методом конечных элементов. Алгоритм основан на оценке частоты появления треугольников и четырехугольников при сечении сетки случайными плоскостями. Развитый подход реализован на модельной задаче вычисления электромагнитного поля. Показана эффективность предложенного алгоритма.

Ключевые слова: электромагнитное поле, сеточные задачи, тетраэдрическая сетка, алгоритм оценки качества.

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

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

где $\vec{A}$ - вектор магнитного потенциала; δ - плотность тока; μ - величина магнитной проницаемости.

Из-за нелинейности поля возникает обратная связь между искомым значением векторного магнитного потенциала $\vec{A}$ и неизвестным значением магнитной проницаемости μ , что приводит к необходимости численного решения задачи методом последовательных приближений.

Скорость сходимости процесса последовательных приближений к решению сильно зависит от геометрической конфигурации аппроксимирующей сетки. В [1] приведены примеры решения задач электромагнитного поля методом конечных элементов при помощи разных сеток. Хотя задачи решались при прочих (кроме геометрии сетки) равных условиях: одинаковые начальные приближения, краевые условия, равное количество узлов дискретизации, результаты были разными. Для одной сетки процесс последовательных приближений сходил, для другой – расходился.

Таким образом, при численном решении нелинейных задач электромагнитного поля методом конечных элементов на сходимость процесса последовательных приближений сильное влияние оказывает качество тетраэдрической сетки.

В [2] было предложено применять в качестве двумерной треугольной сетки триангуляцию Делоне. В [3] отмечено, что для фиксированного набора узлов оптимальной сеткой является триангуляция Делоне (в смысле сходимости процесса последовательных приближений). В [4] показано, что на процесс последовательных приближений к численному решению двумерной задачи нахождения векторного магнитного потенциала отрицательно влияет наличие тупых углов у треугольников сетки. В [5] показано, что и в трехмерной полевой задаче на сходимость процесса последовательных приближений отрицательно влияет наличие тупых углов у тетраэдрической сетки. В [1] и [5] даны оценки критического угла в сетке, при превышении которого процесс последовательных приближений к решению полевой задачи заведомо расходится. Для двумерной треугольной сетки критический угол равен 156° , а для трехмерной тетраэдрической сетки - 163° .

Главным критерием качества сетки до сих пор было наличие тупых углов. Однако вычисление всех углов тетраэдров трехмерной сетки - весьма трудоемкая и громоздкая задача. Целью настоящей работы является создание быстрого нетрудоемкого метода оценивания качества тетраэдрической сетки.

Необходимые сведения из стохастической геометрии. Рассмотрим в трехмерном евклидовом пространстве треугольную пирамиду (тетраэдр) T , которую пересекает плоскость e . Плоскость будем задавать нормальными координатами (r, φ, ψ) , где r – расстояние от начала координат до плоскости, (φ, ψ) – сферические координаты (долгота и широта) направления нормали к плоскости e . Если координаты (r, φ, ψ) являются случайными величинами с плотностью распределения

$$de = \sin \varphi dr d\varphi d\psi,$$

то вероятностное распределение сечения $e \cap T$ инвариантно относительно группы движений пространства, т.е. не зависит от местоположения пирамиды T и ее пространственной ориентации. Вероятность того, что случайная плоскость проходит через какую-либо вершину пирамиды, равна нулю. Следовательно, сечение $e \cap T$ является либо треугольником, либо четырехугольником. Обозначим через P_3 (соотв. P_4) вероятность события, что сечение $e \cap T$ является треугольником (соотв. четырехугольником). В [6] доказана следующая теорема: для любой треугольной пирамиды имеют место неравенства

$$P_3 > P_4, P_3 > 0,71, P_4 < 0,29.$$

Величина P_3 достигает своего минимума, а P_4 - своего максимума для правильного тетраэдра, у которого все ребра равны.

Алгоритм оценивания качества тетраэдрической сетки. На основании вышеприведенной теоремы можно построить следующий алгоритм оценивания качества тетраэдрической сетки. Пересечем сетку несколькими независимыми плоскостями и рассчитаем количество N_3 треугольников и N_4 четырехугольников, образованных в сечении плоскости с тетраэдрами сетки. Затем вычислим соответствующие частоты:

$$m_3 = \frac{N_3}{N_3 + N_4}, \quad m_4 = \frac{N_4}{N_3 + N_4}.$$

Здесь m_3 – частота появления треугольников в сечении плоскости с тетраэдрами сетки; m_4 – частота появления четырехугольников.

Критерий качества тетраэдрической расчетной сетки при конечно-элементном моделировании трехмерных краевых задач: чем меньше доля четырехугольников m_4 , тем хуже сетка.

Критическим углом в сетке, при превышении которого процесс последовательных приближений к решению полевой задачи заведомо расходится, равен 163° . Ему соответствует (см. [6]) частота 9%. Если частота появления четырехугольников меньше 9%, то среди элементов сетки заведомо имеются тетраэдры с тупым углом, превышающим 163° .

Отметим, что при конечно-элементном моделировании имеется строгое требование к сетке: внутренности элементов не должны пересекаться, а объединение всех элементов должно совпадать с выпуклой оболочкой сетки, т.е. внутри сетки не должно быть пустот, не покрытых элементами. Если в двумерном случае визуально видно, выполнено ли это требование, то для трехмерной сетки проверка выполнения полноты сетки и непересекаемости элементов представляет определенную трудность.

Вышеприведенная теорема позволяет провести следующий тест: если для какой-либо плоскости, пересекающей тетраэдрическую сетку, возникли пятиугольники или получено неравенство $N_3 < N_4$, то сетка имеет дефекты – нарушено требование полноты сетки и непересекаемости элементов.

Численные результаты. Предложенный алгоритм оценивания качества тетраэдрической сетки реализован для сетки, полученной при моделировании реле [7]. Сетка [7] получена часто употребляемым в приложениях методом: вначале область разбита на параллелепипеды, каждый из которых разделен на 6 тетраэдров. В среднем получены следующие частоты: $m_3 = 75,8\%$, $m_4 = 24,2\%$.

На рисунке представлено сечение указанной тетраэдрической сетки случайной плоскостью. Количество треугольников $N_3 = 171$, количество четырехугольников $N_4 = 56$.

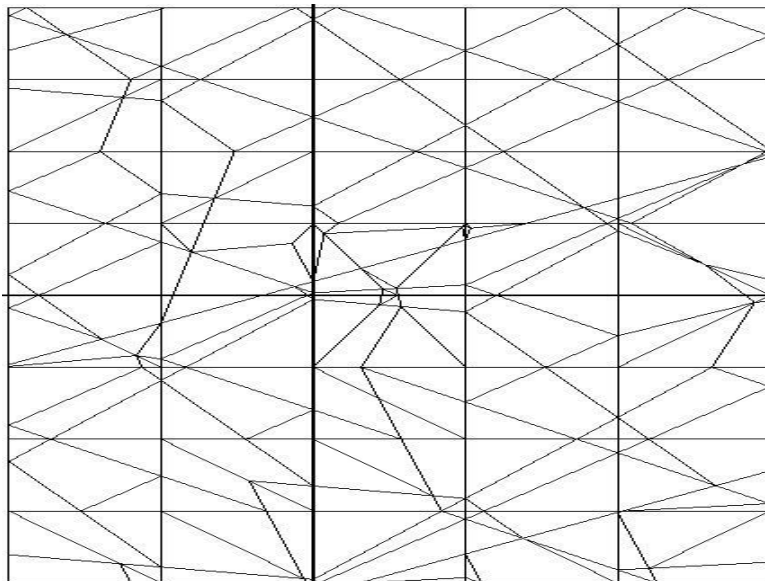


Рис. Сечение тетраэдрической сетки случайной плоскостью

Заключение. Разработан и реализован алгоритм оценивания тетраэдрической расчетной сетки при конечно-элементном моделировании трехмерных краевых задач. Алгоритм эффективен для сравнения разных сеток, а также для обнаружения дефектных сеток, имеющих тупые углы, превышающие критическое значение, и нарушения геометрических требований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е. Об углах треугольной сетки для расчета магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2007. - Т. 60, № 3. - С. 523-532.
2. Ruppert J. A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation / NASA Ames Research Center // Journal of Algorithms. - 1994.
3. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е. Об оптимизации сетки для расчета магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2005. - Т. 58, № 3. - С. 570-578.
4. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е. О расчете магнитных полей методом конечных элементов с динамической композицией элементов дискретизации // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2005. - Т. 58, № 2. - С. 332-339.
5. Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э. К расчету трехмерных магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. 61, № 2. - С. 305-317.
6. Сукиасян Г.С. О случайных сечениях многогранников // ДАН СССР. - 1982. - Т. 263, № 4. - С. 809-812.

7. Терзян А.А., Акопян А.Э., Сукиасян Г.С., Оганесян Л.Т. Параллельное построение тетраэдрической сетки при конечно-элементном моделировании трехмерных электромагнитных полей // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.– 2012.– Т. 65, № 2. – С. 213–218.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 20.10.2013.

Հ.Ս. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ

ԵՌԱՉԱՓ ԵԶՐԱՑԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՔԱՌԱՆԻՍՏԱՑԻՆ ՑԱՆՑԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Առաջարկված է քառանկյունային ցանցի որակի գնահատման արագ և ոչ-աշխատատար ալգորիթ, որն օգտագործվում է վերջավոր տարրերի մեթոդով եռաչափ եզրային խնդիրների լուծման համար: Ալգորիթը հիմնված է այդ ցանցը պատահական հարթությունով հատելիս առաջացած եռանկյունների և քառանկյունների հաճախականությունների գնահատականի վրա: Առաջարկված մոտեցումն իրականացված է մոդելային էլեկտրամագնիսական դաշտի հաշվարկման խնդրի համար: Ցույց է տրված դիտարկվող ալգորիթի արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամագնիսական դաշտ, ցանցային խնդիրներ, քառանկյունային ցանց, որակի գնահատման ալգորիթ:

H.S. SUKIASYAN

ESTIMATING THE QUALITY OF TETRAHEDRAL MESH AT SOLVING THREE-DIMENSIONAL BOUNDARY PROBLEMS

An algorithm for estimating the quality of a tetrahedral mesh applied at solving three-dimensional boundary problems by the finite-element method is proposed. The algorithm is based on estimating the frequency of emergence of triangles and tetragons at the section of the mesh by random planes. The developed approach is realized on the model problem of electromagnetic field calculation. The efficiency of the proposed algorithm is shown.

Keywords: electromagnetic field, mesh problems, tetrahedral mesh, quality estimation algorithm.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՐԲԱՆԱՆԱԿԱՆ Ս.Գ., ՎԱՍԻՆԱՆԱԿԱՆ Գ.Ա., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Ո.

ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԲԱՐՁՐԱՄՈՒՐ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 295

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ՄԱՐԿԻՍՅԱՆ Ք.Վ., ՄԱՍՈՒՆՅԱՆ Մ.Է., ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Ա., ՏԱԼԱԿՈ Տ.Լ.

ԴՐՄԲՈՆԻ ՊՂՆՁԱՅԻՆ ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԻ ԵՎ ԴՐԱՆՈՒՄ ՊԱՐՈՒՆԱԿՎՈՂ ԱՌԱՆՁԻՆ ՄԻՆԵՐԱԼՆԵՐԻ ՎԱՐՔԸ ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՅՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՈՒՄ..... 304

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Ս., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ն.Ո.

ՇՈԳԵԳԱԶԱՅԻՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՎԵՐԱԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ 315

ԿԱՐԱՔԱՆԱՅԱՆ Լ. Հ. , ԳՆՈՒՆԻ Բ.Տ.

ՀԱՅԱՍՏԱՆ – ԻՐԱՆ 400 կՎ ԵՐԿՇՂԹԱ ԷԼԵԿՏՐԱԶԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԻ ՎԹԱՐԱՅԻՆ ՈՇԺԻՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ..... 324

ՍՈՒՔՈՅԱՆ Լ.Հ.

ԼՈՒՍԱՀԱՍՑԵՈՒՆԱԿ ՏՎԻՉՆԵՐԻ ԹԱՂԱՆԹԻ ԴԻՄԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓՈՒՄԸ ՋՐԱԾՆԻ ՊԵՐՕՔՍԻԴԻ ԳՈԼՈՐՇՈՒ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ..... 332

ՎԱՐԱՆՅԱՆ Վ.Տ.

ԱՉՔԻ ՑԱՆՑԱԹԱՂԱՆԹԻ ԵՎ ԳԼԽՈՒՂԵՂԻ ՏԵՍՈՂԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ՎԻՃԱԿԻ ԱԽՏՈՐՈՇՄԱՆ ՄԻԿՐՈՊՐՈՑԵՍՈՐԱՅԻՆ ՄԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ..... 339

ՇԱՐՈՅԱՆ Խ.Գ., ԳԱԼՍՅԱՆ Ա.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ռ.Պ.

ՀԱՆՐԱԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ՈԼՈՐՏԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ԳՐԱԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ «ՈՒՍՈՒՄ-2» ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՆԵՐԴՆՈՒՄ..... 346

ՇԱՀԻՆՅԱՆ Տ.Հ.

ՄԿՐԻՊՏԱՎՈՐՄԱՆ ԼԵԶՈՒՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆԸ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԵԽԵՄԱՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ..... 350

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Հ.Ռ., ՂՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ., ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ռ. Հ.

ՀՈՍԱՆՔԻ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԻ ԻՆՔՆՔԱԼԻՑՔԱԹՓՄԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՉԱՓՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ..... 355

ՕՍԻՊՅԱՆ Մ.Մ.

LabVIEW ՄԻԶԱՎԱՅՐՈՒՄ ՉԱՓԻՉ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐԶ 360

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս.Հ.

ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ԸՆԴՀԱՆՐԱՅՎԱԾ ՀԱԿԱԴԱՐՉ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՈՐՈՇ ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՄԱՏՐԻՑԱՎԵԿՏՈՐԱՅԻՆ ՆԵՐԿԱՅԱՑՈՒՄՆԵՐԸ..... 367

ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ա.Գ., ԱՎԻՆՅԱՆ Վ.Ռ., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Դ.Ա.

ՄԻԼՎԵՍՏՐԻ ՏԻՊԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ..... 376

ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս.

ԵՌԱՉԱՓ ԵԶՐԱՅԻՆ ԽԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՔԱՌԱՆԻՍՏԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԱՍԻՆ 384

СОДЕРЖАНИЕ

АГБАЛЯН С.Г., ВАСИЛЯН Г.А., САРГСЯН А.Р. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ	295
МАРТИРОСЯН В.А., САРКИСЯН К.В., САСУНЦЯН М.Э., АЙВАЗЯН А.А., ТАЛАКО Т.Л. ПОВЕДЕНИЕ ДРМБОНСКОГО МЕДНОГО СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА И ВХОДЯЩИХ В ЕГО СОСТАВ МИНЕРАЛОВ ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ.....	304
ОГАНЕСЯН Л.С., АРУТЮНЯН Н.Р. ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	315
КАРАХАНИЯН Л.О., ГНУНИ Б.Т. ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВУХЦЕПНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 400 кВ АРМЕНИЯ – ИРАН	324
СУКОЯН Л.А. ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕМБРАНЫ СВЕТОАДРЕСОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАРА ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА.....	332
ВАРДАНИЯН В.Т. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА И ЗРИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА МОЗГА.....	339
ШАРОЯН Х.Г., ГАЛСТЯН А.Г., ПЕТРОСЯН Р.П. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ САМООБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАМОТНОСТИ - "УСУМ_2"	346
ШАГИНЯН Т.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКОВ СКРИПТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ	350
СИМОНЯН А.Р., ГУЛЯН А.Г., СИМОНЯН Р.А. СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА САМОРАЗРЯДА ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА	355
ОСИПЯН М.М. К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СРЕДЕ LABVIEW	360
СИМОНЯН С.О. МАТРИЧНО-ВЕКТОРНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕННЫХ ОБРАТНЫХ МАТРИЦ	367
АВЕТИСЯН А.Г., АВИНЯН В.Р., КАЗАРЯН Д.А. МЕТОД РЕШЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА СИЛЬВЕСТРА	376
СУКИАСЯН Г.С. ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ТЕТРАЭДРИЧЕСКОЙ СЕТКИ ПРИ РЕШЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ	384

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., VASILYAN G.A., SARGSYAN A.R.	
DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR OBTAINING HIGH-STRENGTH COPPER-BASED DURABLE COMPOSITE MATERIALS	295
MARTIROSYAN V.H., SARKISYAN Q.V., SASUNTSYAN M.E., AJVAZYAN A.A., TALAKO T.L.	
BEHAVIOUR OF THE DRMBON COPPER SULPHIDE CONCENTRATE AND THE MINERALS CONTAINED IN IT AT MECHANOCHEMICAL ACTIVATION	304
HOVHANNISYAN L.S., HARUTYUNYAN N.R.	
ESTIMATING THE POWER EFFICIENCY OF THE THERMAL POWER PLANT MODERNIZATION BY USING COMBINED-CYCLE TECHNOLOGIES.....	315
KARAKHANYAN L.H., GNUNI B.T.	
INVESTIGATING THE EMERGENCY OPERATIONS OF A DOUBLE CIRCUIT 400 kV POWER LINE ARMENIA – IRAN	324
SUKOYAN L.H.	
MEASURING THE RESISTIVE PARAMETERS OF THE MEMBRANE OF LIGHT-ADDRESSED SENSORS UNDER THE INFLUENCE OF HYDROGEN PEROXIDE VAPOR.....	332
VARDANYAN V.T.	
MICROPROCESSOR APPARATUS FOR DIAGNOSING THE FUNCTIONAL STATE OF THE EYE RETINA AND THE VISUAL CENTER OF THE BRAIN	339
SHAROYAN KH.G., GALSTYAN A.G., PETROSYAN R.P.	
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SELF-STUDY AND TESTING SYSTEM "USUM_2" FOR COMPUTER LITERACY	346
SHAHINYAN T.H.	
APPLYING SCRIPTING LANGUAGES AT DEVELOPING SYSTEMS OF AUTOMATED DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS	350
SIMONYAN H.R., GHULYAN A.G., SIMONYAN R.H.	
A METHOD FOR MEASURING THE SELF - DISCHARGE CURRENT OF CHEMICAL CURRENT SOURCES	355
OSIPYAN M.M.	
ON THE ISSUE OF MODELING THE MEASURING TECHNOLOGIES IN THE MEDIUM LabVIEW.....	360
SIMONYAN S.H.	
MATRIX VECTOR REPRESENTATIONS OF SOME CALCULATING METHODS FOR DEFINING PARAMETRIC GENERALIZED INVERSE MATRICES	367
AVETISYAN A.G., AVINYAN V.R., GHAZARYAN D.A.	
A METHOD FOR SOLVING SILVESTER TYPE PARAMETRIC MATRIX EQUATION	376
SUKIASYAN H.S.	
ESTIMATING THE QUALITY OF TETRAHEDRAL MESH AT SOLVING THREE-DIMENSIONAL BOUNDARY PROBLEMS.....	384