

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

ԽՍՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱԴԲԱԼՅԱՆ,
Ռ.Վ. ԱԹՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

Գ.Ս. ԵՐԻՅԱՆ, Կ.Կ. ՍԱՅԱՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐՈԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՕԺԱՆԴԱԿ ԱՐԳԵԼԱԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱԿՈՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Մոդելավորման եղանակով գնահատվել են էլեկտրադինամիկական ՕԱՀ-ի աշխատանքի արդյունավետությունը բնութագրող ցուցանիշները:

Առանցքային բաժեր. դանդաղեցում, արգելակման ժամանակ, արգելակման ճանապարհ, դանդաղեցուցչի աստիճան, արգելակման սկզբնական արագություն:

Օժանդակ արգելակային համակարգերի (ՕԱՀ) աշխատանքի արդյունավետության գնահատման չափանիշներից են ՕԱՀ-ով արգելակման ռեժիմում առանց աշխատանքային արգելակային մեխանիզմների կիրառման ավտոմոբիլի ընթացքի դանդաղեցումը, արգելակման ճանապարհին ու ժամանակը: ԳՕՍՏ 25478-91 պետական ստանդարտի [1] համաձայն՝ ՕԱՀ-ն, առանց աշխատանքային արգելակային համակարգի օգտագործման 6 կմ/ժ երկարությամբ ու 7% թեքությամբ վայրէջքում պետք է ապահովի շարժակազմի 30 ± 5 կմ/ժ հաստատուն արագություն: ՕԱՀ-ով արգելակման ռեժիմում արգելակման ճանապարհին այն հատվածն է, որն անցնելու դեպքում շարժակազմի արգելակման սկզբնական արագությունը նվազում ու հասնում է տրված վերջնական արագությանը: Այս պարամետրերը, ինչպես նաև դանդաղեցումը կարելի է որոշել Matlab/Simulink միջավայրում իրականացված մոդելավորմամբ:

Քանի որ, ավտոմոբիլի արգելակման արդյունավետության վրա ազդող բազմաթիվ գործոնների ազդեցությունն անհնար է լիարժեքորեն հաշվի առնել, մաթեմատիկական մոդելավորման ժամանակ կատարվել են մի շարք ընդունելություններ: Դիտարկվել է ավտոտրանսպորտային միջոցի (ԱՏՄ) շարժումը վայրէջքով, որտեղ արգելակումը կատարվում է միայն ՕԱՀ-ով և այդ ռեժիմում քարշիչ ուժը բացակայում է: Ավտոմոբիլը շարժվել է ուղիղ փոխանցումով:

Մոդելը կազմված է հետևյալ հավասարումներով.

$$m \delta_{\text{առ}} \frac{dV}{dt} = -(P_{\eta} + P_{\text{առ}}),$$

$$P_{\eta} = P_f + P_{\text{վ}} + P_{\text{w}} + P_{\text{առ}},$$

$$P_{\text{առ}} = A \sqrt{V} :$$

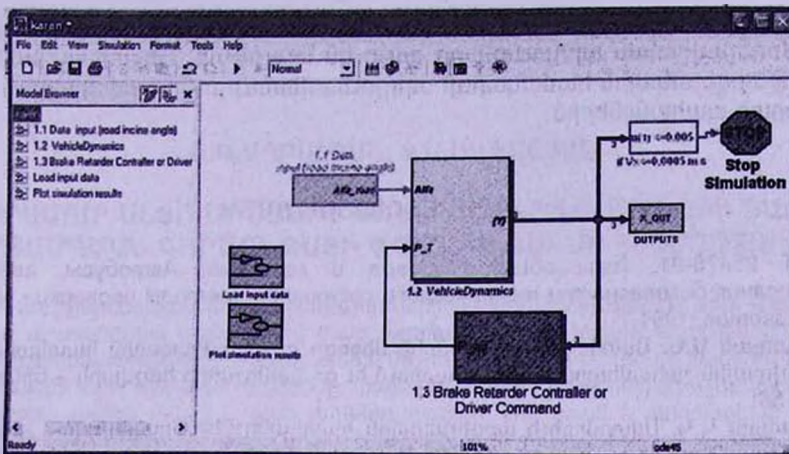
Նշված հավասարումներում P_f -ը գլորման դիմադրության ուժն է, որը որոշվում է $P_f = G \cos \alpha (f_0 + K_f V^2)$ արտահայտությամբ, $P_{\text{վ}}$ -ը վերելքի հաղթահարման ուժն է (վայրէջքի ժամանակ ունի բացասական արժեք) և որոշվում է $P_{\text{վ}} = G \sin \alpha$ արտահայտությամբ, P_{w} -ն օդային միջավայրի դիմադրության ուժն է, որը որոշվում

$P_w = K_z F V^2$ բանաձևով, $P_{տ}$ -ն՝ տանող անիվներին առերված շփման գումարային ուժը՝ որոշվում է $P_{տ} = P_{տ0} + K_{տ} V$ բանաձևով, $P_{տ0}$ -ն՝ տանող անիվներին առերված տրանսմիսիայի շփման ուժերի համագործը, որը համեմատական է շարժման արագությանը, և որի արժեքները հայտնի են [2], $K_{տ}$ -ն գործակից է, որը հաշվի է առնում այդ շփման ուժերի կախվածությունը շարժման արագությունից, չափվում է *Նվրկ/մ*-ով: f_0 -ն գլորման դիմադրության գործակիցի մեծությունն է շարժման փոքր արագությունների դեպքում և կախված է տվյալ անվի տիպից, K_f -ը գործակից է, որը հաշվի է առնում գլորման դիմադրության գործակիցի կախվածությունը շարժման արագությունից, չափողականությունն է՝ *վրկ²/մ²*: G -ն USU-ի կշիռն է, α -ն վայրէջքի թեքության անկյունն է, K_z -ն շրջիսի գործակիցն է և որոշվում է $K_z = 0.625 C_X$ արտահայտությամբ: C_X -ը աերոդինամիկական դիմադրության գործակիցն է, F -ը USU-ի ճակատային դիմադրության գործակիցն է և որոշվում է հետևյալ բանաձևով. $F = C_F [(H_b - 0.9r)B_b + 0.9rB_{տmax}]$, C_F -ը USU-ի ճակատային մակերեսի գործակիցն է, H_b -ն և B_b -ն համապատասխանաբար, USU-ի բարձրությունը և լայնությունն են, δ , B -ն՝ անվաղողի լայնությունը, δ , r -ը՝ անվի շառավիղը, δ , $n_{տmax}$ -ը՝ մեկ սոնոլ վրա անվաղողների առավելագույն քանակը, $\delta_{տո}$ -ն USU-ի համընթաց շարժման ժամանակ նրա պտտվող զանգվածների իներցիան հաշվի առնող գործակիցը, որը որոշվում է $\delta_{տո} = 1 + \frac{n_w l_w}{m r^2}$ արտահայտությամբ, l_w -ն՝ անվի իներցիայի մոմենտը իր պտտման առանցքի նկատմամբ, A -ն՝ տվյալ USU-ի համար տվյալ արգելակ դանդաղեցուցիչի համեմատականության գործակիցը: Կոնկրետ մեր խնդրում $A = 560$, n_w -ն USU-ի անիվների քանակն է ($n=4$): Մնացած բոլոր արժեքները ($P_{տ0}$, $K_{տ}$, f_0 , K_f , K_z , F , C_F) բերված են [2]-ում: Մեր օրինակի համար $G=35$ *կգ* (ՊԱՁ 2705 ավտոմոբիլ):

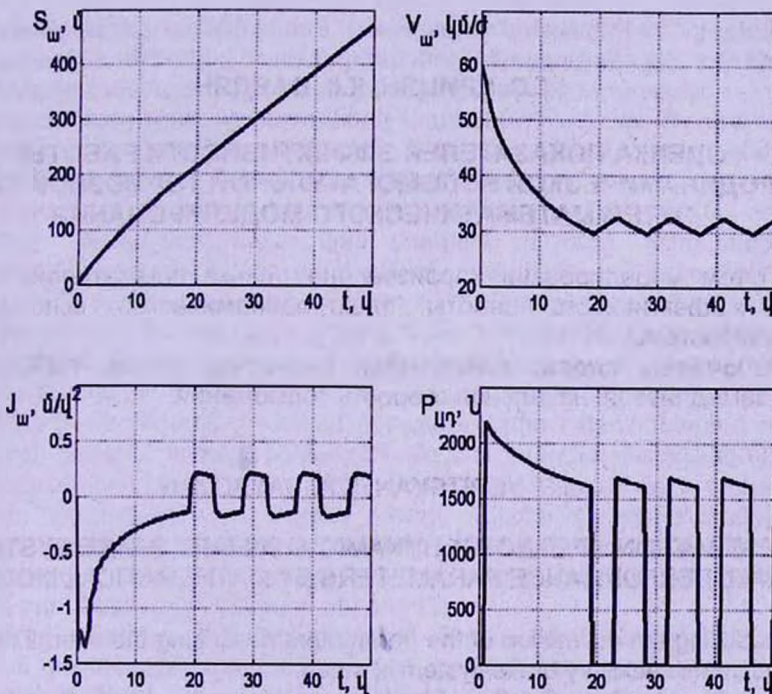
Կազմված մոդելը հնարավորություն է տալիս դիտարկել ավտոմոբիլի շարժումը վայրէջքում ՕԱՅ-ով և առանց դրա կիրառման ու հաշվի է առնում ինչպես վայրէջքի սկզբնապահին USU-ի տարբեր արագությունները, այնպես էլ ճանապարհային տարբեր պայմաններ (վայրէջք, հորիզոնական տեղամաս, վերելք):

Մաթեմատիկական մոդելի ընդհանուր բլոկ-դիագրամային տեսքը Simulink միջավայրում բերված է նկ. 1-ում [3]:

Մոդելավորման արդյունքում ստացված պարամետրերը բերված են գրաֆիկների ձևով (նկ. 2): Հաշվարկների ելակետային պայմանը 7% թեքությամբ վայրէջքով սկզբնական 60 *կմ/ժ* արագությամբ շարժվող ավտոմոբիլի արգելակումն է միայն ՕԱՅ-ով: Ընդ որում՝ արգելակումից հետո արագությունը նվազել է մինչև 30 *կմ/ժ*, այնուհետև անջատվել է և միացվել է այն դեպքում, երբ արագությունը գերազանցում է տրված վերին սահմանային արժեքը (30+5=35 *կմ/ժ*):



Նկ. 1. ՕՍՀ-ով ԱՏՄ-ի շարժման մոդելի ծրագրային իրականացումը Matlab/Simulink միջավայրում



Նկ. 2. Մոդելավորման արդյունքները գրաֆիկորեն

Գրաֆիկների վերլուծության հիման վրա կարելի է նշել, որ 7% թեքությամբ վայրէջքում ԱՏՄ-ի սկզբնական 60 կմ/ժ արագությունը մինչև 30 կմ/ժ նվազեցնելու և այն 30 ± 5 կմ/ժ սահմաններում պահելու համար անհրաժեշտ առավելագույն արգելակային ուժը պետք է լինի 2190 Ն, որի դեպքում արգելակման ժամանակը

կազմել է 19 Վ, առավելագույն դանդաղեցումը՝ 1.3 մ/վ², իսկ ճանապարհը՝ 200 մ:

Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս որ, էլեկտրադինամիկական օժանդակ արգելակային համակարգի արդյունավետությունը բավարարում է նշված ստանդարտի պահանջներին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. ГОСТ 25478-91. Автомобили грузовые и легковые. Автобусы, автопоезда. Требования безопасности технического состояния. Методы проверки.- М.: Изд-во стандартов, 1991.
2. Բուդաղյան Ա.Ս. Ավտոտրանսպորտային միջոցի քարշաարագային հատկանիշների ել վառելիքային շահավետության գնահատում եւ ցուցանիշների հաշվարկ. - Երևան, 2007.- էջ 44-56:
3. Սայադյան Կ.Կ. Ավտոմոբիլի արգելակային հատկանիշների բարելավում՝ էլեկտրադինամիկական արգելակ-դանդաղեցուցիչի կիրառմամբ: Տեխ. գիտ. թեկն. գիտ. աստ. հայցման սեղմագիր. - Երևան, 2008. - 19 էջ:

ՀՊՃՀ(Պ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 13.06.2009:

Դ.Տ. ԵՐԻՇՅԱՆ, Կ.Կ. ՏԱԿԴՅԱՆ

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ПУТЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Путем моделирования произведена оценка показателей, характеризующих эффективность работы электродинамической вспомогательной тормозной системы.

Ключевые слова: замедление, тормозное время, тормозной путь, степень замедлителя, начальная скорость торможения.

G.S. YERITSYAN, K.K. SAYADYAN

ESTIMATION OF ELECTRODYNAMIC AUXILIARY BRAKE SYSTEM OF OVERALL PERFORMANCE PARAMETERS BY MATHEMATICAL MODELLING

By modelling the estimation of the parameters describing the overall performance of electrodynamic auxiliary brake system is made.

Keywords: retarding, duration of braking, braking path, level of retarder, initial speed of braking.

Ս.Գ.ԱՐԲԱԼՅԱՆ, Տ.Ն.ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ԴՐԱՄՈՐ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՓՈՇԵՅԱՍԱԶՈՒԿԱԾՔՆԵՐԻ ՏԱԶ
ԱՐՏԱՄԱՐՍԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՓՈՐՁԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Գիտափորձնական հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա ապացուցվել է, որ նույն արտամղման գործակցով տաք արտամղման ժամանակ այլումինային հիմքով հրամուր փոշեհամաձուլվածքի արտամղման ճնշումը 21...30%-ով ավելի բարձր է, քան նույն բաղադրությամբ հոծ համաձուլվածքինը, իսկ եռակալված փոշեհամաձուլվածքի ճնշումը՝ ընդհակառակն, ավելի փոքր է, քան չեռակալվածինը: Տեսական և փորձնական հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա դուրս են բերվել բանաձևեր արտամղման ճնշման և արտամղման կրիտիկական գործակցի որոշման համար, որոնք ապահովում են արտամղման գործընթացը և անծակուտկեն կառուցվածքի ստացումը:

Առանցքային բաժեր. այլումին, փոշեհամաձուլվածք, ծակոտկենություն, եռակալում, արտամղում, արտամղման գործակից, ճնշում, դեֆորմացիա, լարում, խտություն:

Ժամանակակից տեխնիկայում, հատկապես կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման բնագավառում, մեծ տեղ է հատկացվում փոշեմետալուրգիային, որի հիմնական ուղղություններից է անծակուտկեն կառուցվածքով նյութերի ստացումը:

Ծակոտիները, լինելով լարումների կուտակման տեղեր, կտրուկ փոքրացնում են նյութերի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները, արագացնում կոռոզիայի գործընթացը՝ փոքրացնելով երկարակենցությունը:

Տեսական և փորձնական հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ինչքան էլ մեծացնենք մետաղափոշիների վրա մամլման ճնշումը, ջերմաստիճանը և տևողությունը, մետաղափոշիների ամփոփական մամլմամբ՝ անծակուտկեն կառուցվածքի ստացումը գործնականորեն անհնար է [1]: Մետաղափոշիների կոմպակտավորումն անհրաժեշտ է կատարել փուլերով. 1) մետաղափոշիների նախնական ձևավորում ծակոտկեն նախապատրաստվածքի ստացմամբ և հետագա եռակալում (կամ առանց եռակալման), 2) ծակոտկեն նախապատրաստվածքի տաք ճնշմամբ մշակում մինչև $\theta \rightarrow 0$: Ճնշման մշակման այսպիսի մեթոդ է հանդիսանում տաք արտամղումը, որի դեպքում բարձր ջերմաստիճանը և ճնշումը նպաստում են անծակուտկեն նախապատրաստվածքի ստացմանը: Գործընթացն արդյունք է պլաստիկ դեֆորմացիայի, որն ուղեկցվում է ինչպես սահքի, այնպես էլ սողքի մեխանիզմով: Ի տարբերություն ձուլված համաձուլվածքների՝ փոշեմետալների տաք արտամղումը հնարավորություն է տալիս սինթեզել տրված հատկություններով կոմպոզիցիոն նյութեր՝ այդ թվում նաև այլումինային հիմքով [2]:

Ելնելով վերոհիշյալից՝ աշխատանքի նպատակն է հետազոտել հրամուր այլումինային փոշեհամաձուլվածքների տաք արտամղման գործընթացը և ընտրել լավարկված ռեժիմներ:

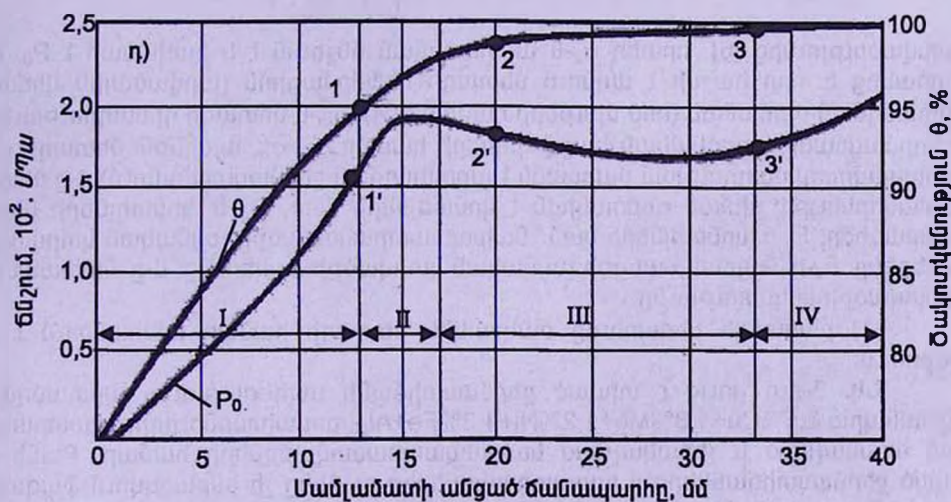
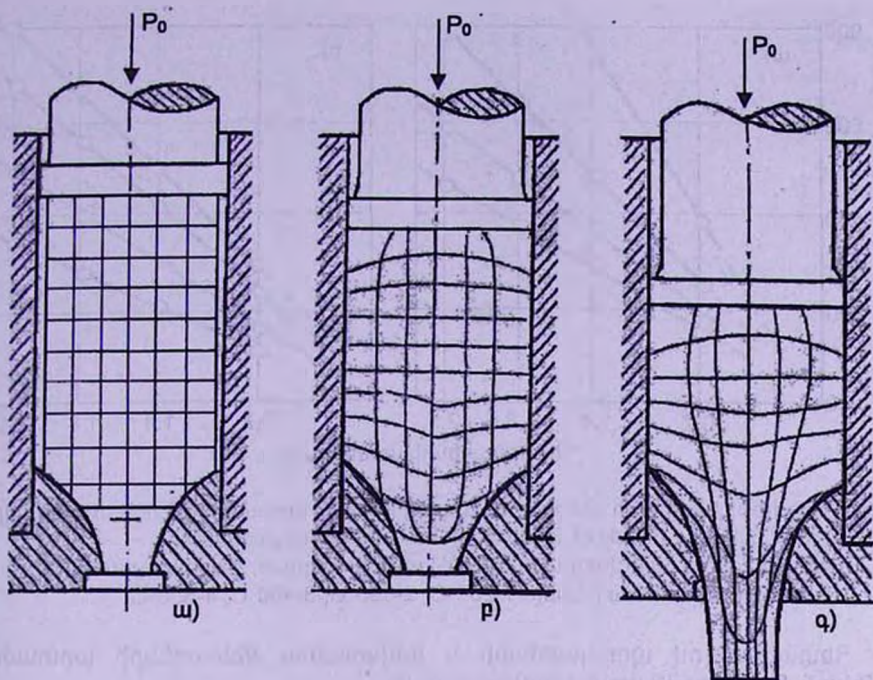
Հետազոտությունները կատարվել են $\varnothing 25$ մմ տրամագիծ և $h=45$ մմ բարձրություն ունեցող գլանաձև նախապատրաստվածքներով, որոնց ծակոտկենությունը փոփոխվել է 10...40% սահմաններում: Փորձանմուշները պատրաստվել են 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₆₆ պարունակող բովախառնուրդից՝ սենյակային ջերմաստիճանում երկկողմանի մամլմամբ: Որպես քսուք օգտագործվել է մոլիբ-

դենի դիսուլֆիդ և գրաֆիտ-յուղ էմուլսիա: Արտամղման արագությունը տատանվել է 0,003...0,004 մ/վրկ միջակայքում: Փորձերի կատարման ժամանակ չափվել է P_0 ընդհանուր ճնշումը և մամլամայրի անցած ճանապարհը մայրակում (L):

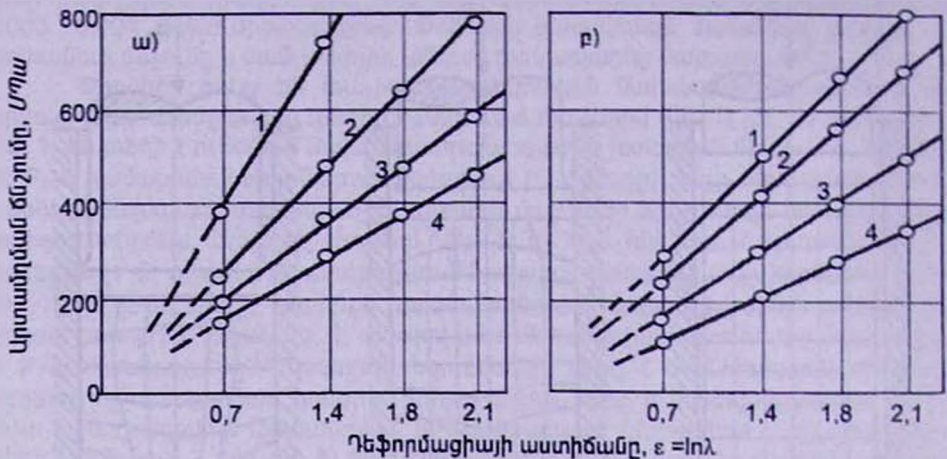
Փորձերը ցույց են տալիս, որ ծակոտկեն նախապատրաստվածքի տաք արտամղման գործընթացը տեղի է ունենում 4 փուլերով (նկ. 1) [3]: Առաջին փուլում (նկ. 1, ա) տեղի է ունենում նախապատրաստվածքի խտացում մինչև 95...96% (կետ 1): P_0 -ն համապատասխանաբար մեծանում է (1' կետը), ինչի հետևանքով տեղի է ունենում նախապատրաստվածքի մետաղի մասնակի հոսք դեպի մայրակի ծագարափոսի տիրույթ: Երկրորդ փուլում (նկ. 1, բ) P_0 -ն հասնում է իր առավելագույն արժեքին (1'-2' տիրույթը), արդյունքում նախապատրաստվածքը խտանում է մինչև 99...100% (2-րդ կետը), այսինքն գործնականորեն խտանում է մինչև անծակոտկեն վիճակ: Երրորդ փուլում (նկ. 1, գ) սկսվում է մետաղի լամինար հոսքը մայրակից (2-3, 2'-3' միջակայքերը): Չորրորդը եզրափակիչ փուլ է և համապատասխանում է մետաղի ոչ ստացիոնար հոսքին: Ցավոք սրտի, որոշ աշխատանքներում [4, 5] ոչ ճիշտ է բնութագրվում արտամղման փուլայնությունը: Ընդունվում է, որ արտամղումը տեղի է ունենում 2 փուլով. 1) նախապատրաստվածքի խտացում մինչև անծակոտկեն վիճակ, 2) խտացված մետաղի հոսք: Մինչդեռ մնացորդային ծակոտկենությունը կախված է դեֆորմացման աստիճանից, հետևապես և արտամղման λ գործակցից: Յուրաքանչյուր փոշեմետաղի և փոշեհամաձուլվածքի համար գոյություն ունի արտամղման գործակցի կրիտիկական արժեք՝ $\lambda_{կր}$, որի դեպքում ապահովվում է ծակոտկեն նախապատրաստվածքի 100%-ոց խտացում: Եթե $\lambda < \lambda_{կր}$, ապա ստացվում է ծակոտկեն կառուցվածք, իսկ $\lambda \geq \lambda_{կր}$ -ի դեպքում՝ անծակոտկեն:

Իրական գլխավոր դեֆորմացիայի ($\epsilon = \ln \lambda$) ազդեցությունը P_0 -ի վրա ցույց է տրված նկ. 2-ում: $P_0 \sim \ln \lambda$ կապը գործում է նաև ծուլմամբ ստացված համաձուլվածքների արտամղման դեպքում [6]: Դա ապացուցվում է փորձնական ճանապարհով և հանգեցնում է այն եզրակացության, որ $\lambda_{կր}$ -ի դեպքում ծակոտկեն նախապատրաստվածքը, նախքան մայրակից հոսելու պահը, խտանում է մինչև անծակոտկեն վիճակ:

Համեմատելով նկ. 2, ա) և բ) կախվածությունները՝ կարելի է եզրակացնել, որ արտամղման միևնույն պարամետրերի դեպքում չեռակալված նախապատրաստվածքների P_0 ճնշումը (15...18)%-ով ավելի բարձր է, քան եռակալվածներինը: Դա բացատրվում է ներքին շփման առկայությամբ, որի համաձայն մետաղական բաղադրիչներով չեռակալված նյութերի մածուցիկ-պլաստիկ հոսքը կատարվում է ավելի մեծ ճնշումների տակ, քան եռակալված նյութերինը, որտեղ առկա մետաղական կոնտակտները նպաստում են ավելի մեծ արագություններով սողքի գործընթացի իրականացմանը:



Նկ. 1. Արտանդման ժամանակ 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₀ բովախառնուրդից պատրաստված ծակոտկեն փորձանմուշների խտացման և դեֆորմացման դինամիկան



Նկ. 2. $\varepsilon = \ln \lambda$. դեֆորմացիայի աստիճանի ազդեցությունը արտամղման (P_0) ճնշման վրա. ա), բ)-2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₅, բովախառնուրդից պատրաստված մամլվածքներ, $\theta=25\%$; ա-չեռակալված, բ-եռակալված: Արտամղման ջերմաստիճանը. 1-250°C, 2-350°C, 3-450°C, 4-500°C

Հետազոտելով պողպատների և դժվարահալ մետաղների արտամղման դինամիկան Պրոզորովն առաջարկել է օգտվել

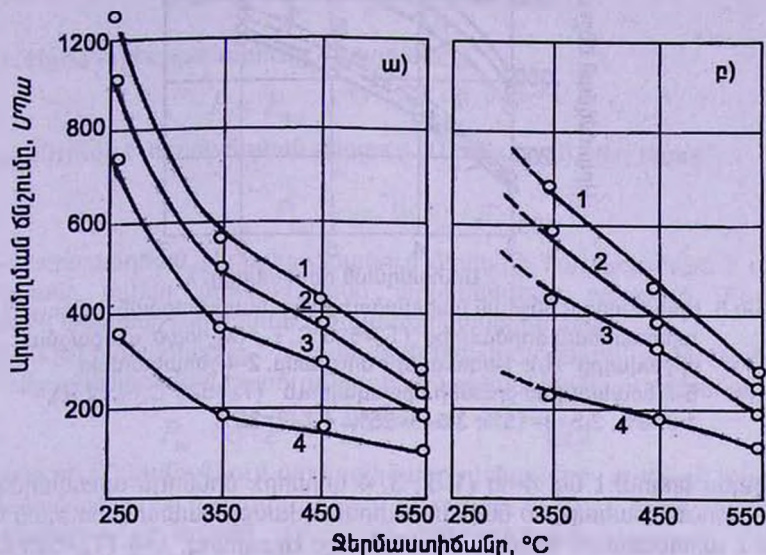
$$\sigma_z = c\sigma_w \left(1 + f \frac{L}{D_l} \right) \ln \frac{F_l}{F_d}, \quad (1)$$

կախվածությունից [6], որտեղ σ_z -ն արտամղման ճնշումն է և հավասար է P_0 , c -ն գործակիցն է, որը հաշվի է առնում մետաղի դեֆորմացիոն լարվածային վիճակը արտամղման ժամանակ (հոծ նյութերի համար $c=4$), σ_w -ն մետաղի դիմադրությունն է դեֆորմացմանը (գործնական հաշվարկների համար $\sigma_w \sim \sigma_b$, այսինքն՝ մետաղի ժամանակավոր դիմադրության սահմանն է արտամղման ջերմաստիճանում), f -ը մետաղի մակերևույթի շփման գործակիցն է կոնտեյների հետ, D_l -ն՝ կոնտեյների ներսի տրամագիծը, F_l -ն՝ կոնտեյների կամ նախապատրաստվածքի լայնական կտրվածքի մակերեսը, F_d -ը՝ մայրակի անցքի լայնական կտրվածքի մակերեսը, L -ը՝ նախապատրաստվածքի երկարությունը:

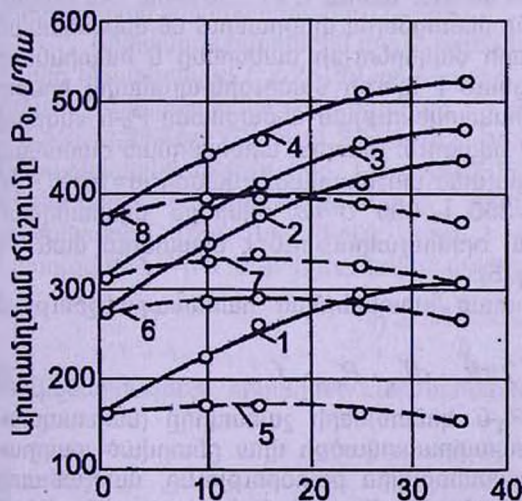
(1) բանաձևի կիրառումը ծակոտկեն մետաղի համար պահանջում է σ_w ճշգրտում:

Նկ. 3-ում ցույց է տրված ջերմաստիճանի ազդեցությունը արտամղման ճնշման վրա 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₉₅ բովախառնուրդից պատրաստված եռակալված և չեռակալված նախապատրաստվածքների համար: Քանի որ նշված ջերմաստիճաններում բաղադրամասերից ոչ մեկը չի ենթարկվում ֆազային փոխակերպության, հետևապես $P_0=f(T)$ կորերը չունեն կորացումներ: Արտամղման ճնշման կախվածությունը նախապատրաստվածքի ծակոտկենությունից և արտամղման գործակցից հետազոտվել է եռակալված և չեռակալված նախապատրաստվածքների վրա (Նկ. 4 և 5): Բոլոր նախապատրաստվածքների զանգվածը եղել է նույնը (50 գ), ընդ որում յուրաքանչյուր փորձ կրկնվել է 5...7 անգամ: Քանի որ

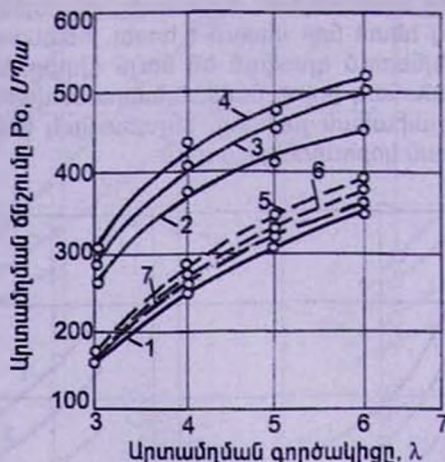
նախապատրաստվածքը արտամղման ժամանակ կոնտեյներում խտանում է մինչև կոմպակտ վիճակ, որից հետո մոր սկսում է հոսել, հետևապես բոլոր նախապատրաստվածքները կոնտեյներում գրավում են նույն դիրքը: Այդ է պատճառը, որ P_0 ճնշման գրանցման ժամանակ բոլոր նախապատրաստվածքները նույնացվում են՝ ունեն միևնույն երկրաչափական չափերը, ինչպես նաև կոնտեյների հետ շփմամբ պայմանավորված ճնշման կորուստները և այլն:



Նկ. 3. Ջերմաստիճանի ազդեցությունը 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₆₅ բովախառնուրդից պատրաստված եռակալված (ա) և չեռակալված (բ) նախապատրաստվածքի արտամղման ճնշման (P_0) վրա. λ արտամղման գործակիցը հավասար է՝ 1-8, 2-6, 3-4, 4-2



Նկ. 4. Արտամղման ճնշման կախվածությունը (կայունացման տիրույթում) նախապատրաստվածքի նախնական ծակոտկենությունից ($T_w=525^\circ\text{C}$, $\tau_w=30$ րոպե, միջավայրը՝ H_2): 1-4-չեռակալված, 5-8-եռակալված քրածնի միջավայրում ($T_w=525^\circ\text{C}$, $\tau_w=2$ օ), 1,5- $\lambda=3$, 2,6- $\lambda=4$, 3,7- $\lambda=5$, 4,8- $\lambda=6$



Նկ.5. Արտամղման ճնշման կախվածությունը (կայունացման տիրույթում) արտամղման գործակցից ($T_w=525^\circ\text{C}$, $\tau_w=30$ *րոպե*, տաքացման միջավայրը՝ H_2): 1-ստացվել է ծուլմամբ, 2-4-չեռակալված, 5-7-եռակալված ջրածնի միջավայրում ($T_w=525^\circ\text{C}$, $\tau_w=2$ *ժ*), 1- $\theta=0\%$; 2,5- $\theta=15\%$; 3,6- $\theta=25\%$; 4,7- $\theta=35\%$

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից (1, 2, 3, 4 կորերը), միևնույն արտամղման գործակցիցների դեպքում չեռակալված նախապատրաստվածքի ծակոտկենության մեծացումը նպաստում է արտամղման ճնշման մեծացմանը: Այսպիսով, $\lambda=4$ ($T_w=525^\circ\text{C}$) ծուլված ($\theta=0$) և փոշեհամաձուլվածքի ($\theta=25\%$) P_0 -ն համապատասխանաբար հավասար է 270 և 410 *ՄՊա*: Արտամղման ճնշումն աճում է 29,8%, իսկ $\lambda=6$ -ի դեպքում 24,5%: Ծակոտկենության բոլոր արժեքների դեպքում ($\theta=25\ldots 35\%$) $\lambda=5\ldots 6$ արտամղման գործակցով արտամղելիս չեռակալված նախապատրաստվածքի P_0 -ն մնում է գրեթե հաստատուն և, ծուլված համաձուլվածքի հետ համեմատած, աճում է 21...30%-ով: Դա բացատրվում է նրանով, որ ծակոտկենությունը մեծացնելով փոքրանում են մետաղական կոնտակտների թիվը, այդ կոնտակտների մակերևույթի մակերեսը և հատիկների միջև արգելք հանդիսանալով, վատացնում է նյութի մածուցիկ-պլաստիկ հոսքը: Եռակալված նախապատրաստվածքի ծակոտկենության մեծացմամբ P_0 -ն սկզբում աճում է (մինչև $\theta=15\ldots 20\%$), իսկ հետո՝ նվազում: Այսպես, արտամղման ժամանակ ($T_w=525^\circ\text{C}$, $\lambda=6$) ծուլված ($\theta=0$) և եռակալված փոշեհամաձուլվածքի ($\theta=15\%$) P_0 -ն համապատասխանաբար հավասար է 350 և 380 *ՄՊա*, այսինքն՝ արտամղման ճնշումն աճում է 8,5%-ով: Նմանատիպ օրինաչափություն է նկատվում նաև λ գործակցի փոփոխության ժամանակ (նկ. 5):

Այս և գումարվոր մետաղների տաք արտամղման հավասարակշռության պայմանից ելնելով՝ կարող ենք գրել

$$dP \cdot \pi \cdot R_y^2 = 2\pi R_y \cdot dL_y \cdot P_{կոդ} \cdot f, \quad (2)$$

որտեղ P -ն արտամղման ճնշումն է, R_y -ն կոնտեյների շառավիղը (նախապատրաստվածքի շառավիղը), dL_y -ն՝ նախապատրաստվածքի վրա ընտրված տարրական երկարությունը (կոնտեյների աշխատանքային բարձրությունը, մամլամատի անցած ճանապարհը), $P_{կոդ}$ -ն կողային ճնշումը, f -ը՝ մետաղի մակերևութային չփման գործակիցը: Որոշակի բացառություններով [7] ընդունենք՝

$$P_k = \mu \cdot P, \quad \mu = \nu(1-\nu), \quad (3)$$

որտեղ μ -ն կողային ճնշման գործակիցն է, իսկ ν -ն՝ Պուասոնի գործակիցը:
Հաշվի առնելով (3)-ը՝ (2) հավասարումը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով.

$$\frac{dP}{P} = 4f \cdot \frac{dL_k}{D_k} \cdot \nu(1-\nu): \quad (4)$$

Լուծելով (4) հավասարումը՝ կստանանք.

$$P = P_{\text{ալ}} \cdot e^{4f \cdot L_k / D_k \cdot \nu(1-\nu)}, \quad (5)$$

որտեղ $P_{\text{ալ}}$ ճնշումն է արտամղման վերջում [1] (երբ $L_k=0$), ընդ որում՝

$$P_{\text{ալ}} = \sigma \cdot \ln F_k / F_d. \quad (6)$$

որտեղ σ -ն արտամղման ջերմաստիճանում մետաղի հատկությունն է դիմադրելու դեֆորմացմանը տվյալ արագությամբ արտամղվելու դեպքում, F_k -ն և F_d -ն՝ կոնտեյների և մայրակի լայնական կտրվածքի մակերեսները:

(5) և (6) բանաձևերից, ինչպես նաև հաշվի առնելով, որ $P=P_{\text{ալ}}$ և $\lambda = F_k / F_d$, ստանում ենք անծակոտկեն կառուցվածքի ստացման հետևյալ պայմանը.

$$P_{\text{ալ}} = \sigma \cdot e^{4f \cdot L_k / D_k \cdot \nu(1-\nu)} \cdot \ln \lambda: \quad (7)$$

Քանի որ (7) բանաձևում արտամղմանը դիմադրելու մետաղի հատկությունը (σ) պայմանական հասկացություն է, որն ընդունելի է միայն դեֆորմացման տվյալ տեսակի համար և չի կարող ընդունելի լինել դեֆորմացման այլ ձևի համար, (օրինակ՝ ձգման (σ_b)), հետևապես, նշանակելով $K=\sigma/\sigma_{\text{ա}}$ և ընդունելով $\sigma_{\text{ա}} \sim \sigma_{\text{ա}}$, (7) բանաձևը կարելի է գրել վերջնական տեսքով՝

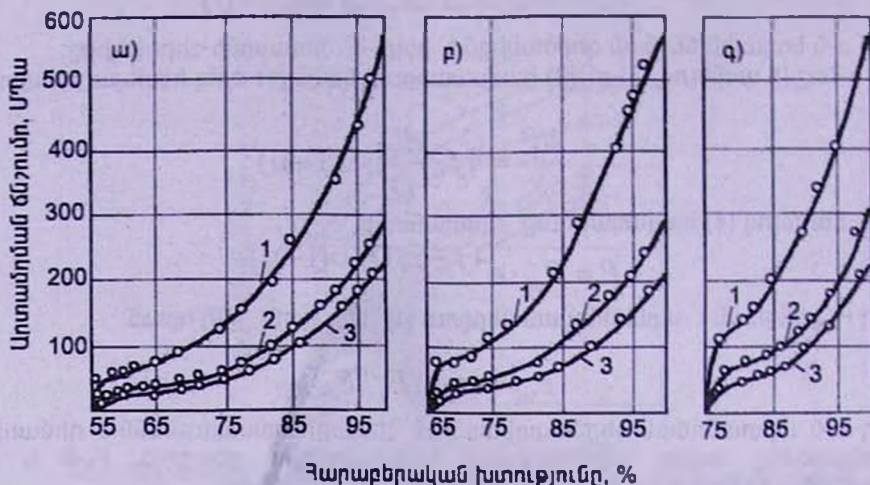
$$P_{\text{ալ}} = K \cdot \sigma_{\text{ա}} \cdot e^{4f \cdot L_k / D_k \cdot \nu(1-\nu)} \cdot \ln \lambda, \quad (8)$$

որտեղ k -ն գործակից է ($k=2,5...3,5$), $\sigma_{\text{ա}}$ -ն՝ ձգման ամրության սահմանը արտամղման ջերմաստիճանում ($U^{\text{Պա}}$):

Արտամղման առաջին փուլի օրինաչափությունը տաք մամլման գործընթաց է, որը հետազոտվել է $\phi 25$ մմ տրամագիծ ունեցող և փակ մայրակով արտամղիչի վրա: Նախապատրաստվածքները (չեռակաված) պատրաստվել են 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₀₅ բովախառնուրդից $\eta_0=55\%$, 65% և 75% հարաբերական խտությամբ, և $h_0=45 \pm 0,05$ մմ, $D=24,9 \pm 0,02$ մմ չափսերով: H700 օսցիլոգրաֆի օգնությամբ գրանցվել է մամլման ճնշումը՝ (P) և մամլամատի անցած ճանապարհը՝ (Δh): Նկ. 6-ում ցույց է տրված $P=f(\eta)$ կախվածությունը, որը կառուցված է P -ի և Δh -ի փորձնական արժեքներով՝ օգտագործելով

$$\eta = \frac{h_0 \cdot \eta_0}{h} = \frac{h_0 \cdot \eta_0}{h_0 - \Delta h}, \quad (9)$$

հավասարությունը, որտեղ h -ը նախապատրաստվածքի ընթացիկ բարձրությունն է:



Նկ. 6. η_0 հարաբերական խտության ազդեցությունը արտամիջին ջնշման վրա.
 ա) - $\eta_0=55\%$, բ) - $\eta_0=65\%$, գ) - $\eta_0=75\%$: Արտամիջին ջերմաստիճանը.
 1-300°C, 2-400°C, 3-500°C

$P=f(\eta)$ կախվածության ինտեգրմամբ կգտնենք $W=f(\eta)$ -ն, որտեղ W -ն խտացման վրա ծախսված տեսակարար աշխատանքն է, այսինքն 1 գր նյութի η_0 -ից մինչև η խտացման վրա ծախսված աշխատանքը: $W=f(\eta)$ ֆունկցիայի մաթեմատիկական մոդելը թույլ է տվել վերախմբավորել ֆունկցիայի գրաֆիկական կախվածությունը՝

$$\eta - \eta_0 = (100 - \eta_0) \cdot \left(\frac{W}{W_{\max}} \right)^{k_1}, \quad (10)$$

$$\lg W = \lg W_{\max} + k_0 \lg (\eta - \eta_0) - k_0 \cdot \lg (100 - \eta_0), \quad (11)$$

որտեղ $W_{\max}$ -ը մետաղի մինչև 100% խտացման աշխատանքն է, իսկ k_1 -ը նյութից կախված գործակից ($k_0=1/k_1$):

Նկ. 6-ից հետևում է, որ $P_{\max}$ -ը գրեթե կախված չէ η_0 -ից, այսինքն սկզբնական խտությունից: Աղյուսակում բերված են $P_{\max}/\sigma_b$ հարաբերության փորձնական արժեքները: 300...500°C ջերմաստիճաններում և $\eta_0=55...75\%$ հարաբերական խտության դեպքում $P_{\max}/\sigma_b$ -ն տատանվում է փոքր սահմաններում (4,07...5,16), դրա համար էլ առաջին մոտեցմամբ կարելի է ընդունել՝

$$\frac{P_{\max}}{\sigma_b} = \text{const} = m: \quad (12)$$

Աղյուսակից երևում է, որ $m=5$: Հետևաբար 2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al_{0.5} բովախառնուրդից պատրաստված նախապատրաստվածքի համար

$$p_{\max} = m\sigma_b = 5\sigma_b: \quad (13)$$

Օգտագործելով (1) և (8) հավասարումները՝ ինչպես նաև (13)-ը, կարելի է որոշել արտամիջին գործակից այն ամենափոքր արժեքը, որից բարձրի դեպքում ստացվում է անծակոտեն կառուցվածք: Լուծելով վերը նշված (1), (8) և (13) հավասարումները կստանանք.

$$\lambda_{\text{կր}} \geq \exp \left[\frac{m}{k} \cdot e^{-4f \cdot L_{\text{կ}}/D_{\text{կ}} \cdot \nu(1-\nu)} \right] \quad (14)$$

Սիյուսակ

2,5%Cu+1,8%Mg+1,2%Ni+1,2%Fe+Al₆₀. բովախառնուրդից պատրաստված մամլվածքների տարբեր ռեժիմներով տաք մամլման ժամանակ P_{max}/σ_b կախվածության արժեքները

Մամլման ջերմաստիճանը, °C	σ _b , ՄՊա	η ₀ =55% (γ ₀ =1,54 գր/սմ ³)		η ₀ =65% (γ ₀ =1,82 գր/սմ ³)		η ₀ =75% (γ ₀ =2,10 գր/սմ ³)	
		P_{max} , ՄՊա	P_{max}/σ_b	P_{max} , ՄՊա	P_{max}/σ_b	P_{max} , ՄՊա	P_{max}/σ_b
300	112	578	5,16	574	5,12	570	5,08
400	64	322	5,03	315	4,92	290	4,53
500	54	260	4,81	236	4,37	220	4,07

Այլումինի հիմքով նախապատրաստվածքների համար $m=5$, $f=0,04$, $k=3,0$, $L/D=1,5$ -ի դեպքում համաձայն (14) բանաձևի ստացվում է $\lambda_{\text{կր}} \geq 3,67$:

Գործնականորեն $\lambda_{\text{կր}} \geq 4$ -ի դեպքում ստացվում է 100%-ոց խտություն: Գործարանային պայմաններում նպատակահարմար է արտանդման գործակիցը սահմանափակել $4 < \lambda_{\text{կր}} \leq 6$ տիրույթում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.-232 с.
2. Ковальченко М.С. Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давлением.-Киев: Наукова Думка, 1980.-240 с.
3. Агбалян С.Г. Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. докт. техн. наук.- Ереван, 1992.-33 с.
4. Ковальченко М.С., Гавриленко А.П. Уплотнение пористого тела при горячей экструзии // Порошковая металлургия.-1976.-N 5.-С. 82-90.
5. Павлов В.А., Кипарисов С.С., Щербина В.В. Обработка давлением порошков цветных металлов.-М.: Металлургия, 1977.-176 с.
6. Прозоров Л.В. Прессование стали.- М.: Машгиз, 1956.-264 с.
7. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др.: Учебник для вузов.-М.: Металлургия.-1987.- 792 с.

ՀՊԾՀ (Պ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 02.09.2009.

С.Г. АГБАЛЯН, Т.Н. САФАРЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИИ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ

Проведено исследование процесса горячей экструзии жаропрочных алюминиевых порошковых сплавов. Выявлено, что при горячей экструзии с тем же коэффициентом вытяжки давление экструзии жаропрочного порошкового сплава на основе алюминия на 21...30% выше, чем у литого сплава того же состава, в то время как давление спеченного порошкового сплава, наоборот, более низкое, чем неспеченного. Показана зависимость давления от критического коэффициента вытяжки экструзии, которые обеспечивают процесс экструзии и получение беспористой структуры.

Ключевые слова: алюминий, порошковый сплав, пористость, спекание, экструзия, коэффициент вытяжки, давление, деформация, напряжение, плотность.

S.G. AGHBALYAN, T.N. SAFARYAN

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HOT EXTRUSION OF HEAT RESISTING ALUMINIUM POWDER ALLOYS

An investigation of hot extrusion process of heat resisting aluminium powder alloys is carried out. It is revealed that at hot extrusion with the same elongation ratio the pressure extrusion of heat resisting powder alloy on aluminium basis is for 21...30% higher than a continuous alloy with the same structure while the pressure of the sintered powder alloy, on the contrary, is lower than for not sintered. The dependence of pressure on critical ratio extrusion elongation providing the extrusion process and obtaining the pore-free structures is shown.

Keywords: aluminium, powder alloy, porosity alloy, porosity, sintering, extrusion, ratio, pressure, deformation, stress, density.

ՀՏԴ 66.081:547.625.547.97

ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Գ.Յ. ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ, Մ.Ա. ՍԻՐԱԿԱՆՅԱՆ, Է.Է. ԱՆՏՈՆՅԱՆ,
Ս.ՅՈՒ. ԿՈՏԻԿՅԱՆ, Ա.Թ. ԹՈՐՈՍՅԱՆՄՈԴԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՍՈՐԲԵՆՏՆԵՐԻ
ՆԵՐԿԱԿԱԼԱՆՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՍՈՐԲԱՅԻՆ
ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

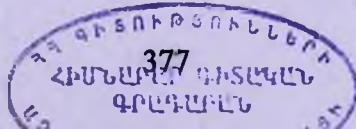
Իրականացվել է ՀՀ Արագածի տեղանքի պեռլիտի ջերմամշակումից ստացված փքեցված պեռլիտի տարբեր ֆրակցիաների մոդիֆիկացումը իջևանի Սարիգյուղի բենտոնիտով: Ուսումնասիրվել է սինթեզված սորբենտների որոշ ներկանյութերի նկատմամբ կլանունակությունը՝ կախված տարբեր գործոններից: Հաստատվել է, որ սորբման գործընթացին մասնակցում են ոչ միայն մոդիֆիկատորի մակերևույթին, այլ նաև բենտոնիտի շերտերի միջկաթնային տարածքներում տեղակայված խմբերը:

Առաջադրված բաներ. սորբցիա, մոդիֆիկացում, մոդիֆիկատոր, բենտոնիտ, փքեցված պեռլիտ:

Թեթև արդյունաբերության մանածագործական ֆաբրիկաների ներկման համգույցների հոսքաջրերը առանձնանում են բարձր աստիճանի աղտոտվածությամբ, որոնց մաքրման գործընթացում կիրառվող բազմաթիվ ֆիզիկաքիմիական մեթոդներից առավել արդյունավետ կարելի է համարել սորբային եղանակը [1]: Ավանդական սորբային նյութերից՝ ակտիվացրած ածուխներից բացի լայն կիրառություն են գտել մեծ ադիեզիոն և աղսորբային հատկություններով օժտված բազմադիսպերս ալյումասիլիկատները: Ունենալով զարգացած մեծ մակերես՝ վերջինները սորբում են լուծված օրգանական մոլեկուլային միացություններ, ինչպես նաև նպաստում են կոլոիդ և կախույթ խառնուրդների անջատմանը:

Հոսքաջրերի դիսպերս խառնուրդներից մաքրման գործընթացում միներալ կոագուլյանտների և բարձրամոլեկուլային ֆլոկուլյանտների հետ համակցված շերտաժապավենային բենտոնիտային կավերի կիրառության փորձարկումները թույլ են տալիս հավաստել, որ ներկման համգույցների հոսքաջրերի ներկանյութերից մաքրումը նատրիումական բենտոնիտով արդյունավետ է [2], սակայն պահանջում է բենտոնիտի մեծ քանակ (մինչև 10 գ/լ)՝ որպես կոագուլյանտ կիրառելով $Al_2(SO_4)_3$ (200 մգ/լ): Առաջացած նստվածքների մեծ ծավալների կուտակման պատճառով այս գործընթացը տնտեսական տեսակետից նպատակահարմար չէ [3]:

Ուստի բնապահպանական, տեխնոլոգիական և շահավետության տեսակետից անհրաժեշտություն է լողացող մոդիֆիկացված բնական սորբենտների ստացումը, սորբցիայի օրինաչափությունների ուսումնասիրությունը և այդ սորբենտների՝ արդյունաբերական գոյիչներում կիրառման հնարավորության պարզաբանումը: Այս դեպքում հաշվի է առնվում այն փաստը, որ կավային նյութերի բաղադրությունը և հատկությունները անհատական են յուրաքանչյուր տեղանքի համար, և տեղային բենտոնիտներով մոդիֆիկացված սորբենտների սորբցիոն հատկությունների ուսումնասիրությունը կարող է հիմք հանդիսանալ նոր, էժան և հանրակողմանի հատկություններով օժտված սորբենտների ստացմանը և կիրառմանը՝ վերը նշված խնդրի լուծման հարցում:



Աշխատանքի նպատակն է՝ ուսումնասիրել նախնական փորձարկումների արդյունքում հաստատված օպտիմալ պայմաններում ՀՀ-ի Արագածի տեղանքի պեռլիտի փքեցումից ստացված փքեցված պեռլիտի (ՓՊ)՝ Իջևանի Սարիգյուղի բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտների ներկայականման հատկությունները և սորբման մեխանիզմը:

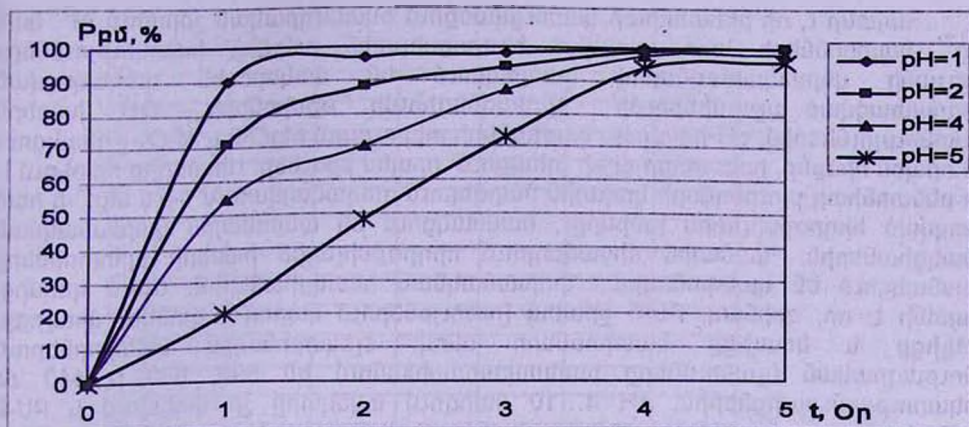
Փորձնական մաս: Մոդիֆիկացված մմուշների ներկայականման հատկության գնահատման նպատակով ընտրվել են թթվային (կատիոնային) ներկանյութերից բյուրեղային մանուշակազույնը (ԲՄ), իսկ հիմնային (անիոնային) ներկանյութերից՝ կոնգո կարմիրը (ԿԿ): Ներկանյութերի ընտրությունը պայմանավորված է ոչ միայն ներկման արտադրության մեջ նրանց կիրառմամբ, այլ նաև այն հանգամանքով, որ գրականության մեջ հայտնի են դիսպերս նյութերի կողմից այս ներկանյութերի սորբային հատկությունների ուսումնասիրության փորձնական արդյունքները, որոնք կարող են հիմք հանդիսանալ մեր ստացած օրինաչափությունների պարզաբանման և համեմատության համար:

ՓՊ-ի՝ բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտների ներկայականման օրինաչափությունների ուսումնասիրման համար պատրաստվել են ԲՄ-ի և ԿԿ-ի մոդելային ջրային լուծույթներ: Ուսումնասիրությունն իրականացվել է ստատիկ պայմաններում: Գունազրկման աստիճանը որոշվել է սպեկտրալուսաչափական եղանակով: Միաժամանակ, կշռային եղանակով որոշվել է մմուշների կլանունակությունը մինչև սորբցիան և սորբցիայից հետո՝ սորբենտների զանգվածների փոփոխությամբ:

Կատարվել է ՀՀ-ի Իջևանի տարածաշրջանի Սարիգյուղի հանքավայրի բենտոնիտի սեղիմենտացիոն ֆրակցիոն վերլուծություն FRITCH ֆիրմայի ֆոտոսեղիմենտոգրաֆի միջոցով: Որոշվել է, որ այն կազմված է տարբեր տոկոսային պարունակությամբ ֆրակցիաներից (մինչև 200 մկմ): Հաստատվել է, որ ՓՊ-ի տարբեր ֆրակցիաների 40...80 մկմ մանրահատիկությամբ բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտները նշված ներկանյութերի նկատմամբ ցուցաբերում են բավականին մեծ սորբային հատկություն, ինչն ամենայն հավանականությամբ պայմանավորված է մանրահատիկ բենտոնիտի մեծ տեսակարար մակերեսով: Ուստի, հետագա փորձարկումների համար մոդիֆիկացումն իրականացվել է բենտոնիտի նշված ֆրակցիայի տարբեր (0,1...0,5 գ) քանակներ՝ պարունակող խլուսերով: 0,5 գ-ից ավելի պարունակությամբ խլուսերով մոդիֆիկացնելիս ստացվել են մեխանիկորեն ոչ ամուր սորբենտներ:

Ուսումնասիրվել է սինթեզված սորբենտների ներկայականունակության կախվածությունը ներկանյութերի ջրային լուծույթների միջավայրից:

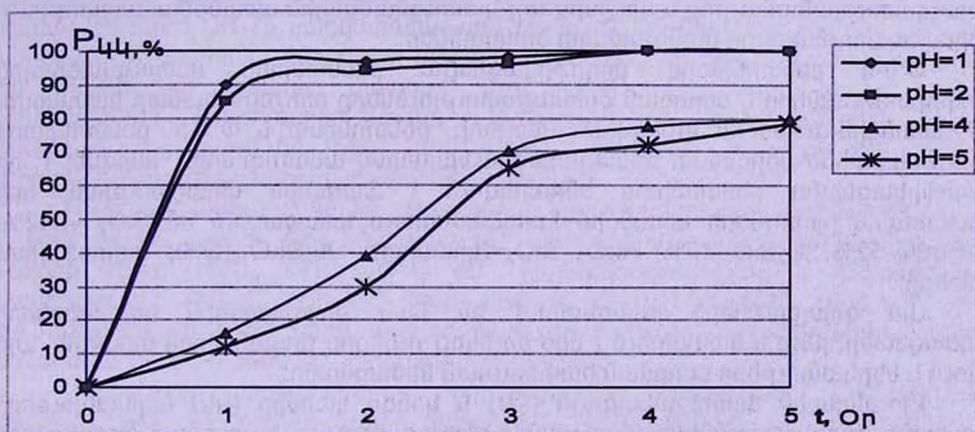
Արդյունքների վերլուծությունից հետևում է, որ լուծույթների pH=1...5 միջակայքում ԲՄ-ի սորբումն ընթանում է բավական արագ՝ [նկ.1]: Այսպես, pH=1 միջավայրից մեկ օր հետո կորզման աստիճանը հասնում է ~90%, որից հետո ժամանակի ընթացքում (~3 օրից) այն մեծանում և հասնում է ~99%-ի: pH=4...5 միջավայրից սորբումն ընթանում է ավելի դանդաղ և, օրինակ, 2 օրից կորզման աստիճանը կազմում է 60%:



Նկ.1. Բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտներով ԲՄ-ի կորզման աստիճանի կախվածությունը սորբցիայի տևողությունից և ներկանյութերի ջրային լուծույթների միջավայրից ($pH=1...5$)

$pH=9...10$ միջակայքում ԲՄ-ի սորբունը դանդաղ է ընթանում, իսկ ավելի բարձր՝ $pH=12...13$ միջակայքում նկատվում է բենտոնիտի անջատում ՓՊ-ի մակերևույթից, թեպետ բենտոնիտի փոշու կողմից շարունակվում է ներկանյութի կլանումը:

Նույնը դիտվում է ԿԿ-ի դեպքում [Նկ.2]: Սորբցիան ավելի արագ է կատարվում լուծույթների $pH=1...2$ միջակայքում: Այսպես, եթե $pH=1$ դեպքում մեկ օր հետո կորզման աստիճանը նույնպես հասնում է 90%-ի, ապա $pH=4...5$ միջակայքում 2 օր հետո այն ~35% է: Այս փաստը պայմանավորված է մի կողմից սորբենտի սորբցիոն և, մյուս կողմից, ներկանյութերի քիմիական հատկություններով:



Նկ.2. Բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտներով ԿԿ-ի կորզման աստիճանի կախվածությունը ներկանյութերի ջրային լուծույթների միջավայրից ($pH=1...5$) և սորբցիայի տևողությունից

Հայտնի է, որ բենտոնիտի կառուցվածքում օկտաեդրական շերտում Al^{3+} կամ Mg^{2+} կատիոնների հետ կապված հիդրօքսիլային խմբերի հատկությունները որոշակի վերապահումներով համընկնում են մակերեսին տեղակայված հիդրատացված ալյումինիումի և մագնեզիումի օքսիդների – OH խմբերի հատկություններին: pH-ի բարձր արժեքների տիրույթում MgO -ն և Al_2O_3 -ը ռեակցում են որպես հիմքեր, իսկ փոքր pH-ի դեպքում՝ որպես թթուներ: Այստեղից հետևում է, որ բենտոնիտի բյուրեղների կողային մարզերում տեղակայված Al^{3+} -ի և Mg^{2+} -ի հետ կապված հիդրօքսիլային խմբերը մասնակցում են անիոնային փոխանակման ռեակցիաներին: Հիմնային միջավայրում հիդրօքսիլային խմբերի պրոտոնները մասնակցում են կատիոնային փոխանակման ռեակցիաներին: Սյուս կողմից, հայտնի է, որ, օրինակ, ԲՄ-ն ջրային լուծույթներում կարող է գտնվել միալիցք, երկլիցք և եռալիցք կատիոնների ձևով: Էլեկտրոնային սպեկտրներում բնութագրական կլանումները համապատասխանում են 590, 630 և 440 *նմ* երկարության ալիքներին: pH 4...10 մարզում սպեկտրը չի փոխվում և ԲՄ-ն հիմնականում գտնվում է միալիցք կատիոնների ձևով: pH=1-ի դեպքում առաջանում են նաև երկլիցք (առավելագույնը՝ 630 *նմ*-ի դեպքում), եռալիցք (առավելագույնը 425 *նմ*-ի դեպքում) կատիոնները:

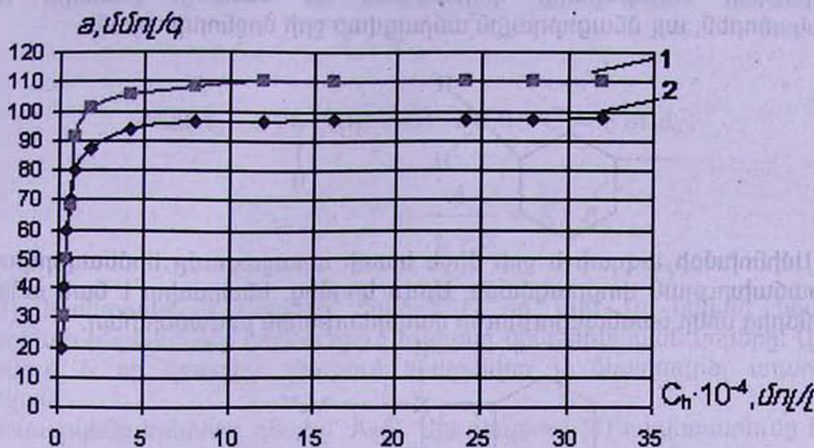
Բերված փաստերի և ստացված փորձնական արդյունքների համեմատությունից կարելի է եզրակացնել, որ ինչպես բենտոնիտի, այնպես էլ մոդիֆիկացնելիս մոդիֆիկատորի ներկայական մասն օրինաչափությունները, միջավայրից կախված, չեն փոխվում: Ստացված արդյունքները հաստատում են նաև, որ մոդիֆիկացված սորբենտները թվային և հիմնային ներկանյութերի համար արդյունավետ կլանիչներ են և սորբումը կարելի է իրականացնել ներկանյութ պարունակող թվային լուծույթներից:

Մոդիֆիկացված սորբենտի ներկայական մեխանիզմը: Բենտոնիտը, ինչպես և կավային բոլոր հանքանյութերը, ունեն նման տարրային կառուցվածքներ, մինչդեռ բենտոնիտը տարբերվում է խոռոչների համադրմամբ, վերջինների միջև կապի բնույթով և էներգիայով, տետրաեդրական և օկտաեդրական ցանցերի զբաղվածության բնույթով և մի շարք այլ կառուցվածքային առանձնահատկություններով՝ պարունակելով նանոչափերի ծակոտիներ:

ՓՊ-ն բենտոնիտով մոդիֆիկացնելիս բենտոնիտի կառուցվածքային փոփոխությունները և սորբման օրինաչափությունները որոշելու համար կատարվել են առանձին-առանձին փքեցված պեռլիտի, բենտոնիտի և ՓՊ-ի՝ բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտի ռենտգենագրաֆիկական անալիզները: Պարզվել է, որ մոդիֆիկացնելիս բենտոնիտը ենթարկվում է ֆազային փոփոխության, որի հետևանքով խոռոչների առանձին հատվածներում առաջանում են SiO_2 -4,42%, $Al_2Si_4O_{10}$ -52%, Al_2SiO_5 -40%, Al_2O_3 - SiO_2 (կիանիտ), $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ (պիրոֆիլիտ) խմբերը:

Այս գոյացումները հանգեցնում են նաև միջօրարային տարածքների լայնացմանը, ինչը և նպաստում է մեծ մոլեկուլ ունեցող օրգանական նյութերի, այդ թվում և ներկանյութերի սորբման հատկության մեծացմանը:

Բյուրեղային մանուշակագույն (ԲՄ) և կոնգո կարմիր (ԿԿ) ներկանյութերի սորբային հատկությունները և սորբման բնույթը որոշվել է սորբման իզոթերմների միջոցով, որոնք բերված են նկ.3-ում:



Նկ.3. Մոդիֆիկացված սորբենտով ԲՄ-ի (1) և ԿԿ-ի (2) սորբցիայի իզոթերմերը: Սորբենտ՝ ՓՊ-ի 5-7 մմ ֆրակցիա, մշակված 0,5 գ բենտոնիտ պարունակող խյուսով

Ներկանյութերի սորբցիայի իզոթերմի սկզբնական մարզերում ոչ մեծ կոնցենտրացիաների դեպքում ներկանյութերը գործնականում կլանվում են ամբողջությամբ: Իզոթերմի տեսքը վկայում է այն մասին, որ մոդիֆիկատորը օժտված է միկրո- և մակրոծակոտկենությամբ, իսկ, որ ամենակարևորն է, սորբմանը մասնակցում են ոչ միայն սորբենտի մակերեսին տեղակայված խմբերը, այլ նաև ինքնաթեթային տարածքներում շերտերի մակերեսներին տեղակայվածները, ինչը և հաստատել են վիզուալ դիտարկումները:

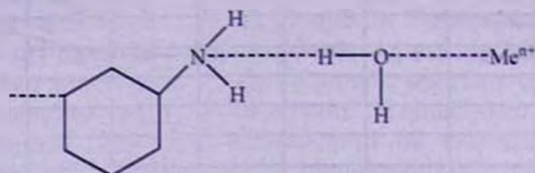
Թեպետ այս ներկերի կառուցվածքները հայտնի են, սակայն ըստ ֆունկցիոնալ խմբերի բնութագրական կլանումների սորբման բնույթը որոշելու համար Specord UR-75 սպեկտրասկոպով ստացվել են ներկերի, ինչպես նաև ԿԿ-սորբենտ, ԲՄ-սորբենտ մոլեկուլների սպեկտրները: ԲՄ-ի մոլեկուլում բնութագրական են զուգորդված կրկնակի կապերը՝ $C=C$, $C=N^+$ - և օրթո-, դի- և պարա-տեղակալված բենզոլային խումբը: Ստացված ԻԿ սպեկտրներում նրանց համապատասխանում են 1560, 1550, 1500, 1460 ν սմ^{-1} , և օրթո-, դի-, պարա-տեղակալված դեֆորմացիոն տատանումները՝ 710, 740, 820 δ սմ^{-1} :

ԿԿ-ի սպեկտրում առկա են զուգորդված կրկնակի կապերը, արոմատիկ օղակը և $N=N$ կապը, օրտո-, դի- տեղակալված արոմատիկ օղակի համապատասխանաբար 1580, 1560, 1510 $\nu C=C$ սմ^{-1} հաճախություններով և դեֆորմացիոն տատանումով՝ 740 սմ^{-1} , իսկ $-SO_3$ խմբի համար՝ 1220, 1160-1140, 1090 սմ^{-1} : 3550 սմ^{-1} -ում ստացվել է OH խմբի վալենտական տատանումը: $-NH_2$ -ի կլանման մարզը ստացվում է 3500 և 3400 սմ^{-1} հաճախություններով:

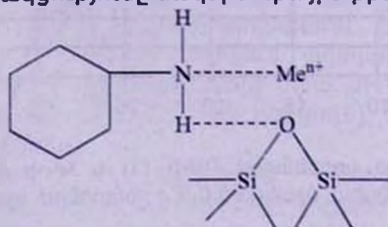
Պեռլիտը, բենտոնիտը, մոդիֆիկացված սորբենտը հիմնականում բնութագրվում են մետաղ-օքսիդ կապերով՝ 1220...950 δ սմ^{-1} դեֆորմացիոն կլանումով և OH խմբի կլանման մարզով՝ 3600...3300 սմ^{-1} :

ԿԿ-սորբենտ և ԲՄ-սորբենտ մոլեկուլների սպեկտրներում կան որոշակի տեղաշարժեր: Դա ապացուցում է, որ այս դեպքում սորբենտի և ներկանյութի միջև ընթանում է որոշակի փոխազդեցություն: Ամենայն հավանականությամբ

Ներկանյութերի մոլեկուլները փոխազդում են մետաղի իոնների հետ ոչ անմիջականորեն, այլ մնացորդային ամրացված ջրի միջնորդությամբ.

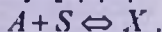


Ամինոխմբի ազոտի և ջրի միջև կապի առաջացումը հիմնավորվում է N-H կապի հաճախության փոքրացմամբ: Մյուս կողմից, հնարավոր է նաև ամինոխմբի ջրածիններից մեկի մասնակցությունը մակերևութային թթվածնի հետ.



Իսկ միջփաթեթային տարածքում $C=C$ և N - խմբի հետ առաջանում են կոպլեքս միացություններ: Բերված հնարավոր եզրակացությունը կարելի է հիմնավորել հետևյալ բացատրությամբ. ներկանյութերի մոլեկուլում ազոտի ատոմի չկոմպենսացված էլեկտրոնների զույգը զուգորդված է արոմատիկ օղակի π -էլեկտրոնների հետ, և որոշակի ուղղվածություն ունի անցնելու p -մակարդակ: Ազոտի էլեկտրոնային զույգը սորբենտի կատիոնների հետ փոխազդելիս առաջացնում է դոնոր-ակցեպտորային կապ:

ԲՄ-ի և բենտոնիտի միջև կինետիկական փոխազդեցությունը կարելի է ներկայացնել ընդհանուր ձևով՝ հետևյալ կերպ.



որտեղ A -ն ներկանյութն է, S -ը՝ սորբենտի միկրո- և մակրոխոռոչների մակերեսը, X -ը՝ ադսորբված նյութի քանակը: Հետագայում A և X սիմվոլները կարտահայտեն համապատասխան նյութերի կոնցենտրացիաները:

Դեպք՝ համարենք մակերեսի ակտիվ կենտրոնները (S) մեծ են ներկանյութի քանակից (A), այսինքն՝ $S \gg A$: Այս դեպքում կունենանք մոնոմոլեկուլային ռեակցիա և կարելի է գրել.

$$\frac{dx}{dt} = KAS: \quad (1)$$

Նշանակենք $KS = K_1$, որտեղից կստանանք

$$\frac{dx}{dt} = K_1 A,$$

որի սկզբնական պայմաններն են $t=0, x=0, A=A_0$

$$\frac{dx}{dt} = K_1 (A_0 - x),$$

որտեղ A_0 -ն ներկանյութի սկզբնական կոնցենտրացիան է:

$$-\frac{d(A_0 - x)}{A_0 - x} = K_1 \cdot dt;$$

$$-\ln(A_0 - x) = K_1 \cdot t + C; \quad t = 0; \quad C = -\ln A_0,$$

ապա

$$\ln \frac{A_0}{A_0 - x} = K_1 \cdot t : \quad (2)$$

(2) հավասարման տեսքից երևում է, որ այն չի կարող նկարագրել ադսորբցիայի ինքնագնաց արագացում ունեցող կինետիկական կորերը: Այստեղից ենթադրվում է, որ առաջին դեպքում հնարավոր չէ նկարագրել ադսորբցիայի կինետիկան:

Դիտարկենք երկրորդ դեպքը՝ $A \approx S$: Այս դեպքում (1) հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$dx/dt = K \cdot (A_0 - x) \cdot (S_0 - x):$$

Լուծելով հավասարումը՝ կստանանք հետևյալ տեսքը.

$$\ln \frac{S_0 - x}{A_0 - x} = K_1 \cdot t + \ln \frac{A_0}{S_0}:$$

Հաշվումները ցույց են տալիս, որ այս դեպքում նույնպես ադսորբցիայի կինետիկան հնարավոր չէ նկարագրել:

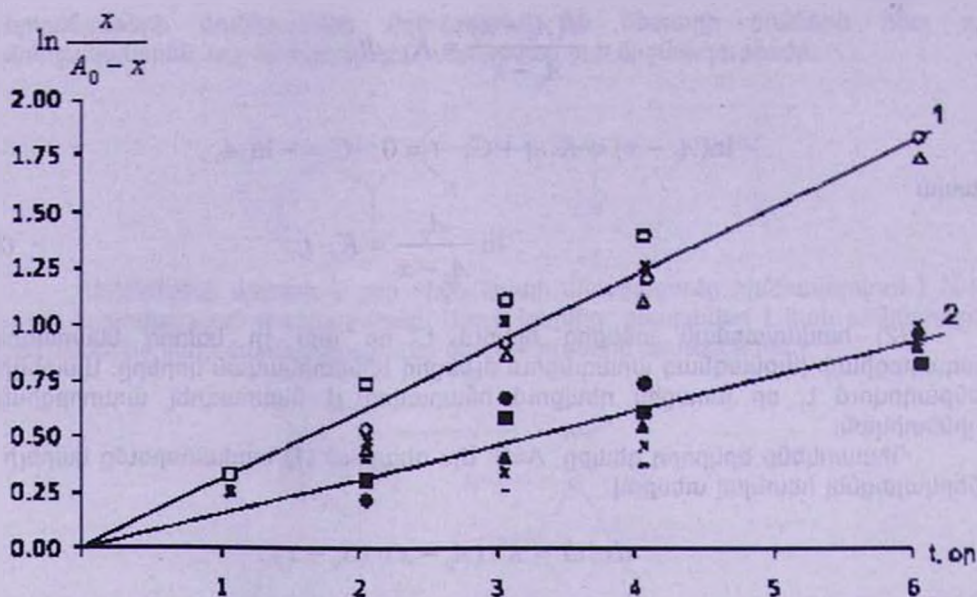
Հիմնվելով ԻԿ սպեկտրների կլանման տիրույթներում դիտված հաճախությունների որոշակի շեղումների, ինչպես նաև կինետիկական կորերի առանձնահատկությունների վրա, ենթադրվում է, որ ադսորբված ներկանյութը ինչ-որ կերպ նպաստում է ներկանյութի մյուս մոլեկուլների հետագա սորբցիային: Հետևաբար, կինետիկական հավասարման մեջ անհրաժեշտ է հաշվի առնել ինքնագնաց արագացման երևույթը, այսինքն՝ կինետիկական հավասարումը ներկայացնել հետևյալ տեսքով:

$$dx/dt = K(A_0 - x)x:$$

Լուծելով հավասարումը՝ կստանանք.

$$\ln \frac{x}{A - x_0} = K_1 \cdot t, \quad (3)$$

որտեղ $K_1 = K/\ln A_0$:



Նկ. 4. $\ln \frac{x}{A_0 - x}$ կախվածությունը ժամանակից:

1. ԲՄ ներկանյութ $x=0,1$ մոլ/լ, $-0,2$ մոլ/լ, $-0,3$ մոլ/լ, $-0,4$ մոլ/լ
 2. ԿԿ ներկանյութ $x=0,1$ մոլ/լ, $-0,2$ մոլ/լ, $-0,3$ մոլ/լ, $-0,4$ մոլ/լ

Ներկայացված հավասարումով կինետիկական կորերը ԲՄ-ի դեպքում բավականին լավ նկարագրվում են (3) հավասարումով, որտեղից հետևում է, որ $K=0,026$ լ/մոլ վրկ):

Նույն հավասարումը նկարագրում է ԿԿ-ի ադսորբցիայի կինետիկան, որտեղ կետերի ցրումը մեծ է: ԿԿ-ի համար գնահատված է ադսորբցիայի հաստատունը՝ $K=0,015$ լ/մոլ վրկ): Որոշվել են սորբման արագությունների հաստատուններն ըստ կինետիկական կորերի: ԲՄ ներկանյութի դեպքում $K_1=0,47$, իսկ ԿԿ-ի դեպքում՝ $K_2=0,27$: ԲՄ և ԿԿ ներկանյութերի համար սորբման ռեակցիաների կինետիկական հաստատունների համեմատությունը ցույց է տալիս որ ԿԿ-ի դեպքում սորբցիայի արագությունը 1,7 անգամ փոքր է, ինչը լիովին համապատասխանում է փորձարարական տվյալներին:

Ամփոփելով մեր կողմից ստացված փորձնական արդյունքները՝ կարելի է հավաստել, որ ԴԴ-ի Արագածի տեղանքի փքեցված պեռլիտի Սարիգյուղի բնական բենտոնիտով մոդիֆիկացված սորբենտները ներկանյութերի նկատմամբ ցուցաբերում են բավականին լավ արտահայտված սորբային հատկություններ: Ստացված փորձագիտական և կինետիկական վերլուծության արդյունքները հետագայում կարող են օգտագործվել ներկանյութեր պարունակող հոսքաջրերի մաքրման տեխնոլոգիայում:

1. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. - Киев: Наукова думка, 1981.-207с.
2. Машников И.В. Методы очистки сточных вод от красителей // Ж.Рос.хим.об-ва им. Д.И.Менделеева.-2002.-Т.XLVI, N2.-С.65.
3. Тарасевич Ю.И., Дорошенко В.Е., Рак В.С., Свительский В.П., Самборский Н.В. Очистка сточных вод бумажных фабрик от прямых красителей с помощью бентонита // Химия и технология воды. -1985.-Т.7, N5.-С.87.

Հղմ (7): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.07.2009:

**Գ.Շ. ՎԱՐԴԵՐԵՏՅԱՆ, Մ.Ա. ՏԻՐԱԿԱՆՅԱՆ, Է.Է. ԱՆՏՈՆՅԱՆ,
Տ.ՅՈՒ. ԿՈՏԻԿՅԱՆ, Ա.Տ. ԹՈՐՕՅԱՆ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И МЕХАНИЗМА СОРБЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ СОРБЕНТАМИ

Осуществлена модификация различных фракций вспученного перлита, полученного после термообработки перлита Арагацкого месторождения бентонитом Сарипоха Иджевана РА. Изучено влияние различных факторов на поглощаемость красителей синтезированных сорбентов. Установлено, что в сорбционном процессе участвуют не только поверхность модификатора, но и группы, расположенные во внутриапакетном пространстве.

Ключевые слова: сорбция, модификация, бентонит, вспученный перлит.

**G.G. VARDERESYAN, M.A. SIRAKANYAN, E.E. ANTONYAN,
S.YU. KOTIKYAN, A.T. TOROSYAN**

INVESTIGATION OF SORPTION PIGMENT RULES AND MECHANISMS OF COMPOSITE MODIFIED SORBENTS

The modification of different fractions of Aragats expanded perlite modified by Sarigyugh bentonite (Ijevan, RA) is realised. The influence of different factors on pigment absorptive ability of synthesized absorbents is studied. It is established that during absorption not only the surface, but also the groups located on the interpackage space of the modifcator take part.

Keywords: sorption, modification, bentonite, expanded perlite.

С.С. ОРДАНЬЯН, С.В. ВИХМАН, А.В. БАЙЧУК, А.О. ОВСЕПЯН

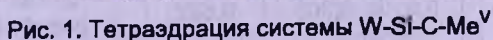
О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДИСИЛИЦИДА ВОЛЬФРАМА С
ТУГОПЛАВКИМИ КАРБИДАМИ $Me^{IV}C$

Пробной тетраэдрацией системы $W-Si-C-Me^{IV}$ установлено сосуществование WSi_2 с карбидами $Me^{IV}C$. Показано, что разрезы $WSi_2-Me^{IV}C$ описываются диаграммами состояния эвтектического типа с характерным изменением состава эвтектик. Данные о строении систем $WSi_2-Me^{IV}C$ могут быть использованы для создания керамик с повышенной жаростойкостью.

Ключевые слова: дисилицид вольфрама, дисилицид молибдена, карбид титана, карбид циркония, карбид гафния, эвтектика.

Наиболее тугоплавкие силициды WSi_2 , $MoSi_2$ обладают важным для практики сочетанием свойств – металлической электропроводностью и высоким сопротивлением окислению, что и предопределяет разработку высокотемпературных нагревательных элементов на их основе, конструкционных деталей с повышенной окалиностойкостью при $T \geq 1700^\circ C$. В целом ряде применения таких материалов необходимо предотвратить такое негативное явление, как “пластифицирование” силицидов, связанное с разрушением ковалентной составляющей межатомных связей (“металлизацией” химических связей), последующей интенсивной ползучестью материала. Упрочнение материала возможно введением в его состав высококомодульных компонентов, т.е. созданием композиционных материалов.

Ранее было показано, что такие задачи могут решаться при введении SiC , TiB_2 и др. [1, 2]. Присутствие $WSi_2(MoSi_2)$ преимущественно в карбидных материалах способствует заметному росту их сопротивления окислению [3]. В настоящей работе изучено взаимодействие WSi_2 с наиболее прочными карбидами $Me^{IV}C$ – TiC , ZrC , HfC . В [4] показано, что взаимодействие NbC с менее тугоплавким $NbSi_2$ описывается эвтектической диаграммой состояния в высокой степени вырождения эвтектики, а системы $MoSi_2-SiC$ [5], WSi_2-SiC [6] – также эвтектические. Пробная тетраэдрация системы $Me^{IV} - C - Si - W$ (рис. 1) позволяет считать, что проходящий в объеме четверной системы разрез $Me^{IV}C - WSi_2(MoSi_2)$ может быть квазибинарным, хотя определенные сложности тетраэдрации конкретной системы $Ti - C - Si - W$ возникают из-за существования на разрезе $TiC-TiSi_2$ тройного соединения Ti_3SiC_2 , отсутствующего в системах с Zr и Hf . Учитывая, что и $Me^{IV}C$, и $WSi_2(MoSi_2)$ являются металлоподобными соединениями с различной структурой, существенно отличающимися атомными размерами углеродом и кремнием, наиболее вероятным типом диаграммы состояния $WSi_2-Me^{IV}C$, описывающей взаимодействие по этим разрезам в объеме соответствующих четверных систем, должен быть эвтектический. Проверке этого положения и посвящена настоящая работа.



387

Таблица 1

Температуры плавления и свойства плавленных образцов системы TiC-WSi₂

Температура плавления, T, °C	Мольные доли ω ^v , %		Массовые доли ω ^m , %		Количество фаз, параметры решетки, нм	Микротвердость, ГПа	
	WSi ₂	TiC	WSi ₂	TiC		WSi ₂	TiC
2080	0,9	0,1	0,973	0,027	2; WSi ₂ : a=0,321 c=0,787	13,2 (14,0)*	
2160	0,8	0,2	0,941	0,059	2		
2190	0,7	0,3	0,904	0,096	2	13,1	
2250	0,6	0,4	0,858	0,142	2		
2580	0,1	0,9	0,308	0,692	2; TiC a= b=c=0, 433		28,4

*- аддитивная величина

Таблица 2

Температуры плавления и свойства плавленных образцов системы ZrC-WSi₂

Температура плавления, T, °C	Мольные доли ω ^v , %		Массовые доли ω ^m , %		Количество фаз, параметры решетки, нм	Микротвердость, ГПа	
	WSi ₂	ZrC	WSi ₂	ZrC		WSi ₂	ZrC
2130	0,9	0,1	0,954	0,046	2; WSi ₂ : a=0,321 c=0,787	13,2 (13,95)*	
2190	0,8	0,2	0,903	0,097	2		
2290	0,7	0,3	0,844	0,156	2	13,1	
2810	0,5	0,5	0,699	0,301	2		
2950	0,1	0,9	0,205	0,795	2; ZrC a= b=c=0, 470		26,8

*- аддитивная величина

Для всех систем характерной является концентрационная зависимость $T_{пл}$ – фиксируется минимум в узкой области концентраций Me^{IV}C вблизи основы - WSi₂ (рис. 2-4). Естественным является анализ структуры "сплавов", характеризующихся минимальной $T_{пл}$ (между $T_{плWSi_2}$ и $T_{плMe^{IV}C}$), который продемонстрировал важный факт принадлежности всех изученных систем к эвтектическим (рис. 5). В системе WSi₂-TiC эвтектический состав содержит "максимальное" количество карбида при минимальной температуре эвтектики $T_{эвт} = 2080^\circ\text{C}$. При переходе к системам WSi₂-ZrC и WSi₂-HfC, отличающимся

существенным повышением температуры плавления карбидов (от 3100°C для TiC до 3880°C для HfC), состав эвтектики закономерно изменяется — содержание карбидной компоненты в эвтектике по мере роста $T_{пл}$ карбида уменьшается от 8...10% мол. MeC для системы WSi₂-TiC до 3...4% мол. Для системы WSi₂-HfC при сравнительно незначительном росте $T_{эвт}$ — от 2060...2080°C для системы WSi₂-TiC до 2140°C для системы WSi₂-HfC. Иными словами, при таком превышении $T_{пл}$ Me^{IV}C над $T_{пл}$ WSi₂ ($\Delta T=1000...1700$ °C) вырождение эвтектической системы становится закономерным.

Таблица 3

Температуры плавления и свойства плавленных образцов системы HfC -WSi₂

Темпе- ратура плавле- ния, $T, ^\circ\text{C}$	Мольные доли $\omega^v, \%$		Массовые доли $\omega^m, \%$		Количество фаз, параметры решетки, нм	Микротвердость, ГПа	
	WSi ₂	HfC	WSi ₂	HfC		WSi ₂	HfC
2140	0,95	0,05	0,960	0,040	2; WSi ₂ : $a=0,321$ $c=0,787$	13,4 (13,7)*	
2180	0,9	0,1	0,919	0,081	2		
2230	0,8	0,2	0,834	0,166	2		13,1
2370	0,5	0,5	0,557	0,443	2		
более 2800	0,1	0,9	0,123	0,877	2; HfC $a=b=c=0,464$		25,8

*- аддитивная величина

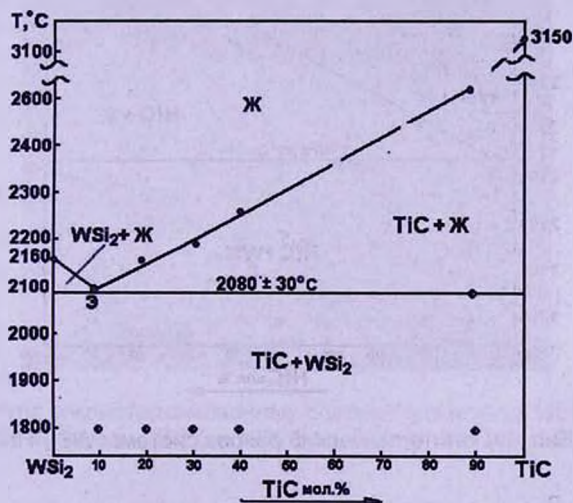


Рис. 2. Политермический разрез системы WSi₂-TiC

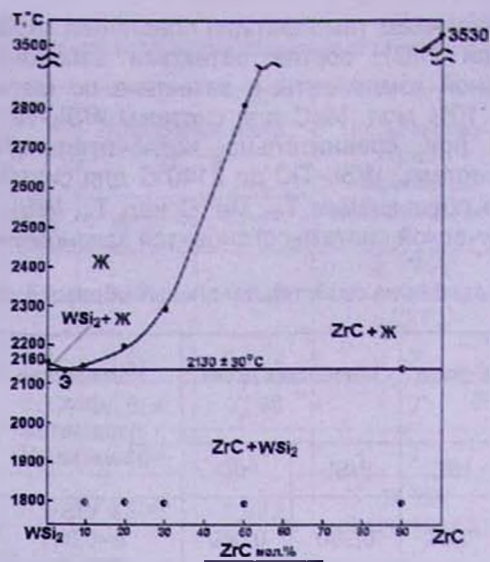


Рис. 3. Политермический разрез системы $\text{WSi}_2\text{-ZrC}$

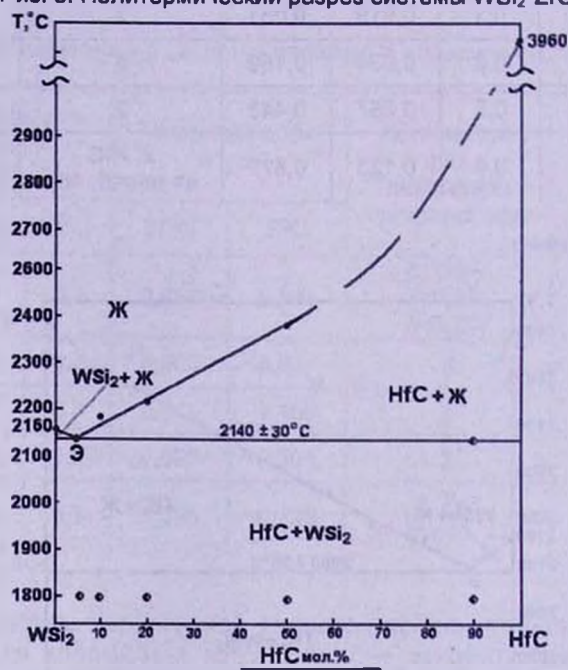


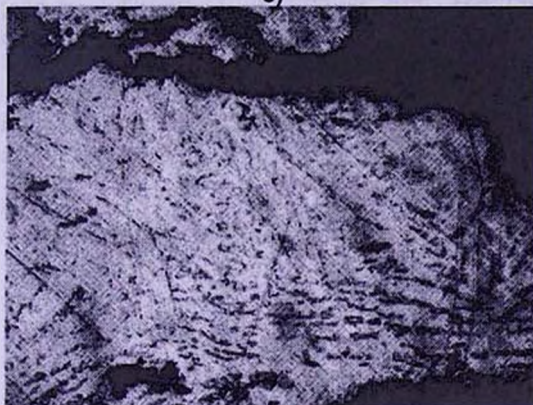
Рис. 4. Политермический разрез системы $\text{WSi}_2\text{-HfC}$



а)



б)



в)

Рис. 5. Структура закристаллизованных сплавов в системах $WSi_2-Me^{IV}C400$:
а – 10% мол. TiC ; б – 10% мол. ZrC ; в – 5% мол. HfC

Определение микротвердости WSi_2 и $Me^{IV}C$ в заэвтектических сплавах позволяет подтвердить факт отсутствия взаимной растворимости – все компоненты систем характеризуются микротвердостью (микротвердомер ПМТ-3, нагрузка 100 г), близкой к справочной. “Упрочнения” от присутствия $Me^{IV}C$ в эвтектиках установить не удалось – твердость и WSi_2 , и эвтектики колеблется в пределах 12...14 ГПа.

Таким образом, все изученные системы эвтектические (рис. 2–4). Из приведенной схемы тетраэдрации и данных [8] о взаимодействии SiC с Me^dC можно сделать вывод о сосуществовании WSi_2 с Me^dC и эвтектическом характере соответствующих разрезов в системах $W-Si-C-Me^V$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнесин Б.А. Перспективы применения нового семейства композиционных материалов РЕФСИК для изготовления высокотемпературных электронагревателей / Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка // Труды конференции.- Черноголовка, 2001.- С. 65-66.
2. Liu Bo-wei, Pan Jin, Fan Yi, Zhang Jin-sheng Композиционные материалы с матрицей из $MoSi_2$, упрочненной частицами SiC .- Китай, 2002.- N 1.- С. 59-63.
3. А.с. N 1663919 (СССР). Шихта для изготовления изделий на основе карбида кремния / В.Н. Зернов, М.В. Сенникова, Г.А. Тераканчиков, С.С. Орданьян и др.-Опубл. 15.03.1991, приоритет от 6 июля 1989.
4. Орданьян С.С., Степаненко Е.К., Догадаева И.М. Взаимодействие в системах $NbC-NbSi_2$, NbB_2-NbSi_2 // Порошковая металлургия. –1982.- N 7.- С. 63-66.
5. Орданьян С.С., Вихман С.В., Ларенцева С.А., Смирнов В.В. Строение разреза $SiC-MoSi_2$ в системе $Mo-Si-C$ // Огнеупоры и техническая керамика.–2006.- N11.- С. 2-4.
6. Орданьян С.С., Вихман С.В., Булина Е.Н., Смирнов В.В. Взаимодействие в системе $SiC-WSi_2$ // Огнеупоры и техническая керамика.–2007.- N2.- С. 3-5.
7. Орданьян С.С., Августиник А.И., Вигдергауз В.С. Диаграмма состояния $ZrC-Mo$ // Исследования в области химии силикатов и окислов: Сб. -М.-Л.: Наука, 1965.- С. 220-228.
8. Орданьян С.С., Вихман С.В., Унрод В.И. О взаимодействии в системе $SiC-Me^{IV-V}C$ // Журнал прикладной химии. - 2000.- Т.73, N 12.- С. 1921-1924.

СПб гос. технол. ин-т (Техн. ун-т), Ин-т общей и неорган. химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА. Материал поступил в редакцию 19.07.2009.

Ս.Ս. ՕՐԴԱՆՅԱՆ, Ս.Վ. ՎԻԽՄԱՆ, Ա.Վ. ԲԱՅՉՈՒԿ, Ա.Հ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ՎՈԼՖՐԱՄԻ ԴԻՍԻԼԻՑԻԴԻ ՀԵՏ ԴԺՎԱՐԱՀԱՆ ԿԱՐԲԻԴՆԵՐԻ $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$
ՓՈԽԱԶՆԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ

Փորձնական $\text{W-Si-C-Me}^{\text{IV}}$ համակարգի քառանիստացումը հաստատում է WSi_2 -ի հետ $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$ կարբիդների համագոյակցությունը: Ցույց է տրված, որ WSi_2 - $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$ կտրվածքները նկարագրվում են էվտեկտիկ վիճակի դիագրամներով, էվտեկտիկայի բաղադրության բնորոշ փոփոխությամբ: WSi_2 - $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$ համակարգի կառուցվածքային տվյալները կարող են օգտագործվել բարձր կրակակայունությամբ կերամիկայի ստեղծման համար:

Առանցքային բառեր. վոլֆրամի դիսիլիցիդ, մոլիբդենի դիսիլիցիդ, տիտանի կարբիդ, ջիրկոնիումի կարբիդ, հաֆնիումի կարբիդ, էվտեկտիկա:

S.S. ORDANYAN, S.V. VIKHMAN, A.V. BAYCHUK, A.H. HOVSEPYAN

ON INTERACTION OF TUNGSTEN DISILICIDE WITH HIGH-MELTING
CARBIDES $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$

By the sample tetrahedral of the system $\text{W-Si-C-Me}^{\text{IV}}$ the existence of WSi_2 with carbides Me^{IV} is established. It is shown that sections WSi_2 - $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$ are described by eutectic-type diagrams of the state with characteristic changes of the eutectic state. The data on the construction of the system WSi_2 - $\text{Me}^{\text{IV}}\text{C}$ can be used for ceramic making with increased heat resistance.

Keywords: tungsten, disilicide, molybdenum disilicide, titanium carbide, zirconium carbide, hafnium, carbide, eutectic.

L.YE. SARGSYAN, MOATASEM M.KH., D.L. TOVMASYAN

STUDY OF THE PROCESS TO RECOVER BASE METALS FROM GOLD-BEARING Cu/Zn/Pb-SULPHIDE CONCENTRATE

The roasting process of a gold-bearing Cu/Zn/Pb-sulphide polymetallic concentrate and leaching of its sulphatized roast-calcine to recover copper, zinc and lead are investigated. It is shown that copper and zinc can be completely recovered from this roast-calcine by acid leaching, cementation (copper) and electrowinning (zinc), but lead can be recovered from acid leaching residuum by its treatment in sodium chloride saturated solution and future cementation by iron scrap.

Keywords: polymetallic concentrate, roasting, sulphatized roast calcine, acid leaching, extraction, cementation, electrowinning.

The tested gold-bearing polymetallic concentrate (14.5 % Cu, 8.25 % Zn, 9.32 % Pb, 23.41 % Fe, 0.21 % Cd, 32.36 % S; 17.5 g/t Au; 241.8 g/t Ag) of – 0.071 mm particle size, has the following main mineral composition (%): 12.31 ZnS, 22.92 FeS₂; 42.64 CuFeS₂; 10.96 PbS; 0.26 CdS; 4.84 SiO₂; 2.56 Al₂O₃ (CaO + MgO), the rest.

Taking into account the complexity of this concentrate a perfectible treatment technology is proposed and tested to recover initially base metals from it (Fig. 1).

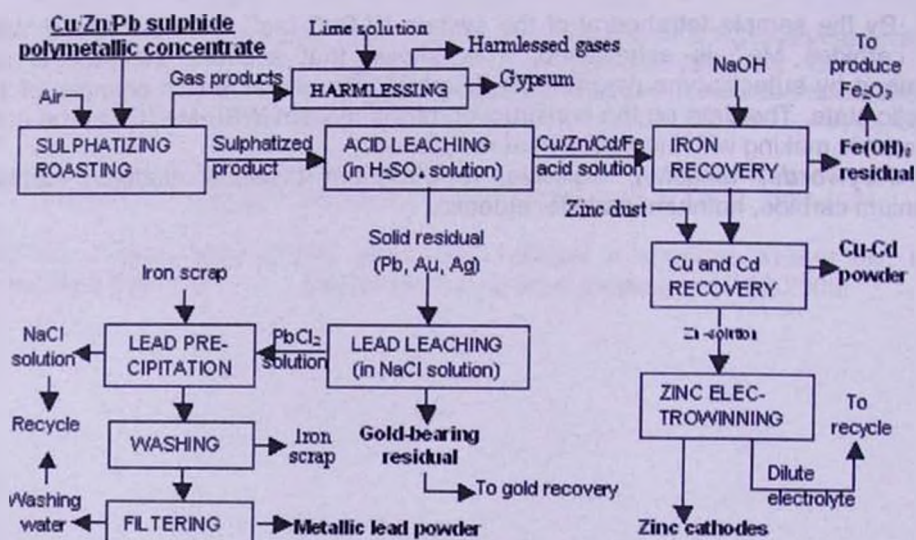


Fig. 1. Technological flow sheet of sulphide polymetallic concentrate complex treatment for base metal recovery to obtain a gold-bearing residuum suitable to cyanide leaching

For this aim, sulphide concentrate is initially treated by sulphatizing roasting [1,2], after that recovered copper, zinc and partly iron from roast calcine (by the methods of acid leaching and precipitation), then passed lead from acid leaching residuum using sodium chloride saturated solution. On balance, new gold-bearing residual usefulness for cyanide leaching to recover gold and silver is obtained.

Concentrate roasting in a non-isothermal heating regime was investigated by the method of thermo-gravimetric (TG) and differential-thermal analysis (DTA) to turn out the oxidation mechanism of contained sulphide minerals including chalcopyrite (CuFeS_2), sphalerite (ZnS), galena (PbS) and pyrite (FeS_2), aimed at establishing the optimum temperature and process duration to produce a sulphatized product convenient for leaching and complex recovery of metals. Samples for TG and DTA are dried at 110...125 °C for moisture to be completely removed.

Mineral oxidation is studied by means of DERIVATOGRAPH Q-1500D (F. PAULIK-J. PAULIK-L. ERDEY model, Hungary). Samples of 1.50 gram are placed in an open platinum cylindrical bowl and heated in derivatograph furnace under the temperature constantly increasing at 10 °C/min from 22 to 1000 °C. As a comparative sample Al_2O_3 calcined at 1200 °C is used. Qualitative gas analysis is realized by a standard method. The X-ray diffraction analysis used to identify the main mineralogical composition of the raw concentrate and roasted samples is performed on a DRON-2,0 diffractometer (Russia) with $\text{Cu-K}\alpha$ radiation at the "Rentgenometric" laboratory of SEUA (head - Ms E. Ohanyan). The diffractogram interpretation is made with the assistance of ASTM Card File [3]. The magnetic analysis used to evaluate the magnetite (Fe_3O_4) and ferrite compound (i.e. CuFe_2O_4 and ZnFe_2O_4) formations in the roasted products, is performed by the method of magnetization measurement (MM) [4] on a magnetometer that allows to discover the quantity of magnetic phases in the sample body with the exactness of ± 0.2 mass %. The thermodynamic calculations are carried out using the data of [5-7].

The thermograms scanned during the non-isothermal roasting of a concentrate sample are shown in Fig. 2.

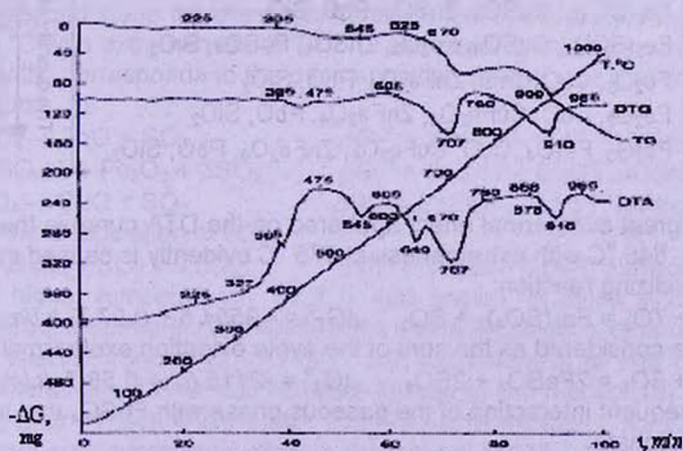


Fig.2. Thermograms scanned during the non-isothermal roasting of a concentrate sample: T—temperature; TG - mass changes; DTG - mass changes differential; DTA - Differential-thermal analysis

These thermograms in comparison with the X-ray data and magnetic analysis of parallelly roasted in isothermal regime at various temperatures during 1 hour samples (Table 1) show that under constantly increasing temperature, in oxygen present, a number of phase conversions take place in this concentrate which are evidently caused by the oxidation of sulphide minerals and by interaction between solid and gaseous phases. To this fact a number of exothermal and endothermic effects on the curve of DTA and the complicated character of sample mass changes (curves TG and DTG) bear witness.

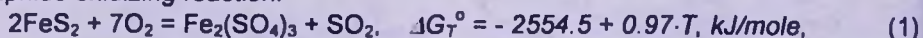
The analytical results allow to establish that concentrate roasting process in a non-isothermal heating regime proceeds in two main stages. The 1st stage (below 675 °C) includes the group of sulphide oxidation reactions with characteristic exothermal effects, and the 2nd stage (above 675 °C) is the reaction complex, leading to the decomposition of earlier formed sulphates and to the formation of ferrite compounds, with corresponding endothermic effects. In the temperature interval of 22...395 °C the sample mass and the main sulphide composition of concentrate remain practically without any changes. An insignificant decrease of sample weight (~0.4 %) in the interval up to 225 °C is a result of adsorbed moisture (remaining in concentrate after its drying) steaming.

Table 1

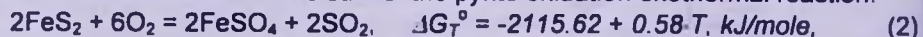
Mineralogical compositions of concentrate samples roasted in isothermal regime at various temperatures during 1 hour (results of X-ray and magnetic analysis)

Temperature, °C	Predominant phase composition of the roasted products	Sulphates behavior
160...170	FeS ₂ , CuFeS ₂ , ZnS, PbS, SiO ₂	The quantity of Fe₂(SO₄)₃ decreases The quantity of CuSO₄ increases
260...270	FeS ₂ , CuFeS ₂ , ZnS, PbS, SiO ₂	
360...370	FeS ₂ , CuFeS ₂ , ZnS, PbS, SiO ₂	
460...470	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , CuFeS ₂ , ZnSO ₄ , PbS, SiO ₂	
560...570	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , CuSO ₄ , ZnSO ₄ , PbS, SiO ₂	
660...670	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , CuSO ₄ , Fe ₂ O ₃ , ZnSO ₄ , PbSO ₄ , SiO ₂	
760...770	Fe ₂ O ₃ , CuO, ZnO, ZnFe ₂ O ₄ , PbO, SiO ₂	
860...870	Fe ₂ O ₃ , CuO, CuFe ₂ O ₄ , ZnFe ₂ O ₄ , PbO, SiO ₂	
960...970	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , CuO, CuFe ₂ O ₄ , ZnFe ₂ O ₄ , PbO, SiO ₂	

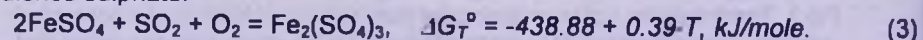
The first great exothermal effect appeared on the DTA curve in the temperature interval of 395...545 °C with extremeness at 475 °C evidently is caused mainly by the iron sulphide oxidizing reaction:



which should be considered as the sum of the pyrite oxidation exothermal reaction:

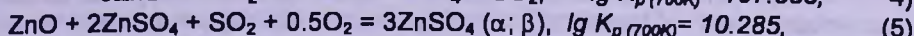
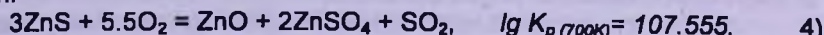


and of the subsequent interaction of the gaseous phase with FeSO₄ that turns into three-valence sulphate:



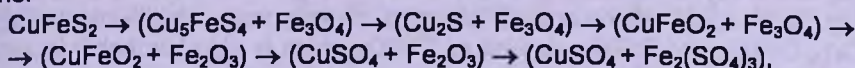
The zinc sulphate appearance in a sample roasted at 460...470 °C in 30 minutes (see Table 1), according to [8], is rightly presumed to have taken place

resulting from the gradual oxidation of ZnS exceptionally through the oxysulphate phase formation:

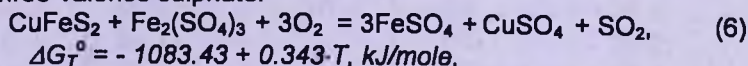


since the velocity of sphalerite direct oxidation reaction ($\text{ZnS} + 2\text{O}_2 = \text{ZnSO}_4 (\alpha, \beta)$, $\Delta G_T^\circ = -775.73 + 0.357 \cdot T, \text{kJ/mole}$) is very small ($\lg K_p(700\text{K}) = 39.28$) as compared with the reaction (4). By the data of gas analysis in the roasting gaseous products in the temperature interval of 396...545 °C mainly SO_2 molecules have been found.

Following the above discussed processes a new exothermal effect appears on DTA curve in the temperature interval of 545...640 °C with extremeness at 605 °C which could be attributed to the chalcopyrite chemical conversion according to the scheme:

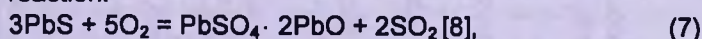


in correspondence with partial pressure diagram for the Cu-Fe-S-O system [8]. However, the fact that the quantity of $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ after its appearance gradually decreases from 470 to 670 °C (see Table 1), and, on the contrary, the quantity of CuSO_4 increases, allowing to affirm that there is an intensive interaction between chalcopyrite and iron three-valence sulphate:



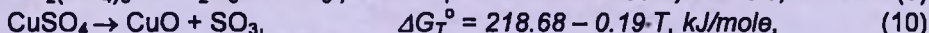
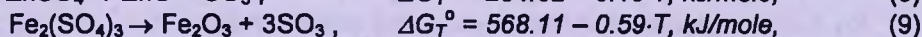
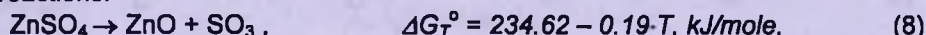
This activates the sulphate generating process.

The first stage is closed by the exothermal effect in the temperature interval from 640 to 687 °C with extremeness at 670 °C which, most likely, is caused by the lead sulphating reaction. But, since the reaction $\text{PbS} + 2\text{O}_2 = \text{PbSO}_4$ above 632 °C becomes thermodynamically impossible [8], then, evidently, in this interval lead sulphide is oxidized by the reaction:

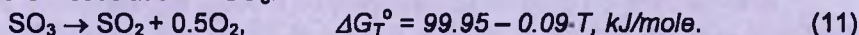


which also causes the corresponding mass losses.

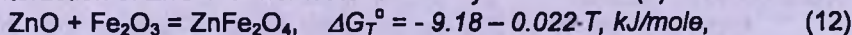
In the second stage the deep exothermal effect in the temperature interval from ~665 to 745 °C with extremeness at 707 °C and accompanied by considerable mass losses, evidently, corresponds to the decomposition of zinc, iron and copper sulphates by the reactions:



as well as to the dissociation of SO_3 :



Under higher temperatures, as it is well known, in these systems the ferrite forming reactions take place. Therefore the following large exothermal effect in the temperature interval from ~745 to 878°C with extremeness at 868°C is referred to solid-phase interaction of ZnO with hematite formed by the reaction (9):

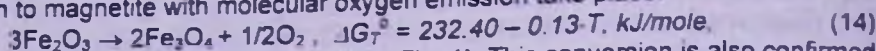


and the subsequent endothermic effect in the interval of 878 – 964 °C is referred to the reaction of copper ferrite formation:



Solid-phase reactions (12) and (13) are not accompanied by mass changes, so in these cases there are no gas emissions.

Also, in this temperature interval (878...964 °C), most likely, the dissociation of the remaining part of hematite (prematurely, since the oxygen partial pressure in the gaseous phase is significantly lower than it is under normal conditions), and its conversion to magnetite with molecular oxygen emission take place:



causing the corresponding mass losses (see Fig. 1). This conversion is also confirmed by X-ray and magnetic analysis.

Total mass losses (152 mg) at 965 °C approximately correspond to the sum of steamed moisture and calculated quantities of emitted gaseous products.

By the X-ray analysis data of the control sample roasted at 570 °C during 60 min. (Fig. 3) the roast calcine actually contains predominantly water-soluble sulphates $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, CuSO_4 and ZnSO_4 , as well as PbSO_4 which is also leachable in saturated solutions of sodium chloride (NaCl).

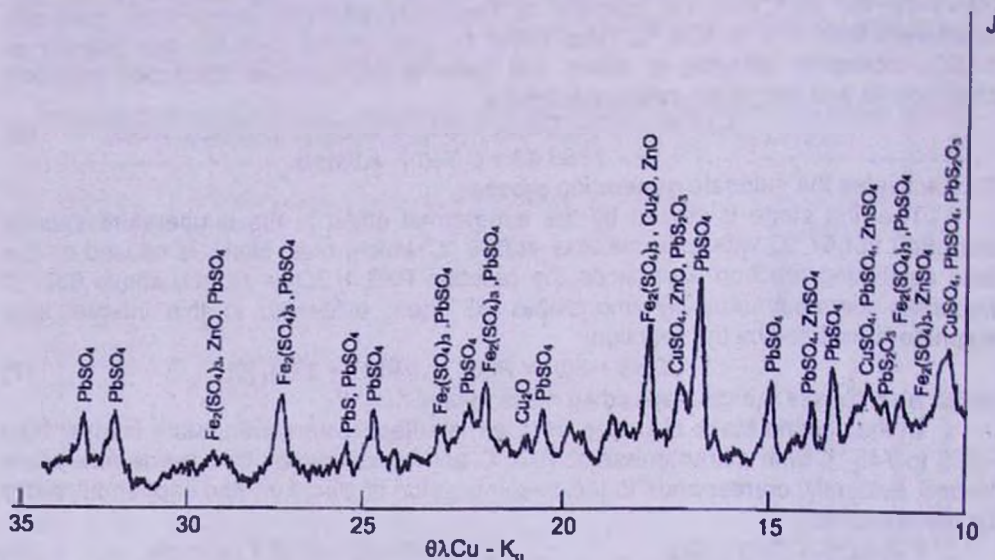
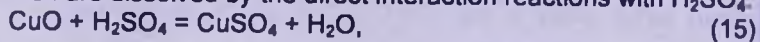
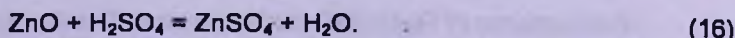


Fig. 3. Diffractogram of an isothermal roasted product (570 °C, 1 hour)

Acid leaching process for this sulphatized product is investigated by using dilute sulphuric acid solution (4, 6, 8, 10% H_2SO_4) at 85 °C with constantly missing slurry (S:L=1:8). The experimental data in relation with summary copper and zinc leaching are indicated in Table 2. The analytical results of liquid and solid products obtained from acid leaching of roasted product in comparison with primary concentrate is represented in Table 3.

From the results of this experimental series it is seen that the sulphatized polymetallic product is quite leachable in dilute sulphuric acid solutions. This applies of course to water-soluble CuSO_4 , ZnSO_4 , CdSO_4 , FeSO_4 , Ag_2SO_4 and $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ as well as to CuO and ZnO which are dissolved by the direct interaction reactions with H_2SO_4 :





It should be noticed that the sulphuric acid consumption and the leaching time are spending mainly to dissolve these oxides. Consequently the acid concentration depends on its quantities in the roasted product. On the other hand, spare acid quantities are not quite disturbed since the leach liquor can be recycled after copper, zinc, cadmium, silver and iron are recovered from it. Practically 80-100 g/l of H_2SO_4 is enough to leach sulphatized product for about 4 hours.

Table 2

Kinetic particularities of acid leaching of roasted Cu/Zn/Pb/Fe sulphatized product

H_2SO_4 concentration, %	Leaching time, minutes	Dissolving grade (Cu + Zn), %	H_2SO_4 concentration, %	Leaching time, minutes	Dissolving grade (Cu + Zn), %
4	60	50.4	8	60	74.1
	120	63.3		120	84.2
	180	70.3		180	93.2
	240	75.5		240	99.8
6	60	55.2	10	60	75.1
	120	65.3		120	86.2
	180	73.1		180	94.1
	240	80.6		240	99.9

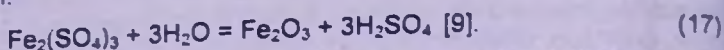
Table 3

Atomic absorption spectrometric analysis of the liquid product (solution) and mineralogical analysis of solid residual obtained from acid leaching of roasted polymetallic concentrate in comparison with its primary composition

Primary Cu/Zn/Pb concentrate	Main mineralogical composition, %: CuFeS ₂ - 42.64, ZnS - 12.31, PbS - 10.96, FeS ₂ - 22.92, CdS - 0.26, SiO ₂ - 4.84, Al ₂ O ₃ - 2.56, (CaO + MgO) - the rest, Au - 17.5 g/t, Ag - 241.8 g/t
Liquid product (acid leaching solution)	Main ionic concentration (in 0,5 liter filtered acid leaching solution): 28.9 g/l Cu ²⁺ , 16.17 g/l Zn ²⁺ , 5.4 g/l Fe ³⁺ , 19.26 g/l Fe ²⁺ , 0.39 g/l Cd ²⁺ , 1.8 mg/l Ag ²⁺
Solid residual	Main mineralogical composition (after sulphur removed), %: CuFeS ₂ - not, ZnS - not, PbSO ₄ - 36.6, Fe(OH) ₃ - 3.5, Fe ₂ O ₃ - 30.3, SiO ₂ - 13.1, Al ₂ O ₃ - 6.9, (CaO+MgO) - 9.5, Au - 47.0 g/t, Ag - 655.0 g/t

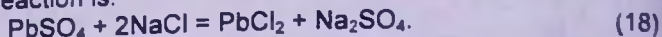
The full absence of lead in leach liquor means that its sulphate (PbSO₄) is absolutely non-soluble in H_2SO_4 solution and it completely remained in solid phase.

The presence of Fe_2O_3 with very large quantities in solid residual (residuum-1) can be explained that iron three valence sulphate at H_2SO_4 concentrations below 30... 50 g/l (i.e. when it is decreased because spends on the oxide dissolution) forms hematite by the reaction:

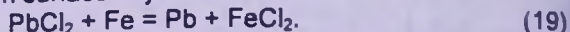


Hematite is the preferred product in this residuum, since it is relatively easy to handle in subsequent processes. On the other hand, it is well known that hematite forms a porous precipitate which does not significantly interfere with gold extraction and is amenable to solid-liquid separation processes.

In connection with lead sulphate, it is known that lead can form a water-soluble chloride in sodium chloride saturated solutions. Therefore the solid residual (residuum-1) with 36.6 % PbSO_4 is treated by 30 % NaCl solution at 85 °C during 3 hours. The lead chlorinating reaction is:



Lead is recovered from this filtrate by the cementation method using iron scrap. Lead crystals precipitate on iron surfaces by the reaction:



Metallic lead then is separated from iron scrap with water, dried and smelted in anode form for future refining.

By the data of silicate and emission-spectral analysis the last residual (residuum-2) contains only oxides and iron hydroxide (Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, CaO , MgO), metallic gold and silver.

It may be affirmed that using the sulphatizing roasting technology to Cu/Zn/Pb -sulphide concentrate may predominately reach sulphate composition in it. Copper and zinc can be completely recovered from this roast calcine by acid leaching, following cementation (copper) and electrowinning (zinc). Lead can be recovered from acid leaching residuum by its treatment in sodium chloride saturated solution and for future cementation using iron scrap. As a result, a gold-bearing oxide residuum best amenable to cyanide leaching for noble metals recovery is obtained.

REFERENCES

1. Sargsyan L.Ye., Hovhannisyan A.M. The phase changes in a sulphide-copper concentrate with high pyrite content during polythermal heating // *Tsvetnie Metalli*. - 2006.-N 7.- P. 16-18.
2. Sargsyan L.Ye., Hovhannisyan A.M., Martirosyan M.V., Antashyan G.G. Evaluation and testing of the rational technology of valuable metal recovery from copper-pyrite concentrate // *Reports of the National Academy of Sciences and State Engineering University of Armenia. Series of TS*. - 2007.- T. LX, N 3.- P.73-79.
3. ASTM Card File.- ASTM, Philadelphia, 1969.
4. Apaev B.A. Phase magnetic analysis of alloys.- M.: Metallurgy, 1976.- 280 p.
5. Kubashevski O., Olkock S. Metallurgical thermochemistry.- M.: Metallurgy, 1982.- 390 p.
6. Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya. Short chemical handbook. - L.: Chemistry, 1991. - 432 p.
7. Tretyakov U.D. Solid-phase reactions.- M.: Metallurgy, 1978.-360 p.
8. Pashinkin A.S., Spivak M.M., Malkova A.S. Application of the partial pressure diagrams in metallurgy.- M.: Metallurgy, 1984.-160 p.

9. Marsden J., House I. The Chemistry of Gold Extraction.- Chichester, England.- Ellis Horwood Limited, 1992.-597 p.

SEUA. The material is received on 14.09.2009.

Լ.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ՄՈՒՏԱՍԵՄ Մ.Խ., Դ.Լ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ

**ՈՍԿԵՏԱՐ $Cu/Zn/Pb$ ՍՈՒՖԻԴԱԹԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻՑ ԲԱԶԱԹԻՆ
ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱԹԻ ՈՒՍՈՒՄԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Հետազոտված են ոսկետար $Cu/Zn/Pb$ -սուլֆիդային խտանյութի բովման և վերջինիս սուլֆատացված բովվածքի թթվային տարրալուծման գործընթացները՝ պղնձի, ցինկի և կապարի կորզման նպատակով: Ցույց է տրված, որ պղինձն ու ցինկը կարող են ամբողջությամբ կորզվել այդ բովվածքից թթվային տարրալուծմամբ, ցեմենտացմամբ (պղինձը) և էլեկտրանստեցմամբ (ցինկը), իսկ կապարը՝ նատրիումի քլորիդի հազեցած ջրային լուծույթում՝ թթվային տարրալուծման սորախցուկի վերամշակմամբ և երկաթի տաշեղների օգնությամբ հետագա ցեմենտացմամբ:

Առանցքային բառեր. բազմամետաղային խտանյութ, բովում, սուլֆատացված բովվածք, թթվային տարրալուծում, կորզում, ցեմենտացում, էլեկտրանստեցում:

Լ.Е. САРГСЯН, МОТАСЕМ М.Х., Д.Л. ТОВМАСЯН

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БАЗОВЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО $Cu/Zn/Pb$ СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА**

Исследованы процессы обжига золотосодержащего $Cu/Zn/Pb$ -сульфидного концентрата и выщелачивания сульфатизированного огарка для извлечения меди, цинка и свинца. Показано, что медь и цинк могут быть полностью извлечены из этого огарка методом кислотного выщелачивания, последующей цементации (медь) и электроосаждения (цинк), а свинец - переработкой кока кислотного выщелачивания в насыщенном растворе хлорида натрия с последующей цементацией с помощью железного скрапа.

Ключевые слова: полиметаллический концентрат, обжиг, сульфатизированный огарок, кислотное выщелачивание, извлечение, цементация, электроосаждение.

В.Г. ПЕТРОСЯН, Т.Л. САФАРЯН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА В ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛУТОНИЯ И ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО УРАНА

Рассматриваются различные варианты вовлечения тория в ядерную энергетику на основе реакторов водо-водяного типа и использования оружейных делящихся материалов. Расчетные исследования ориентируются на применение открытого топливного цикла с максимальным использованием энергетического потенциала, нарабатываемого ^{233}U при глубоком выгорании топлива. Анализируются топливные загрузки и схемы перестановок топлива в активной зоне неизменной конструкции, обеспечивающие повышение эффективности и внутренней самозащитенности.

Ключевые слова: ядерный реактор, топливо, цикл, обогащение, выгорание, флюенс, топливная кассета.

Введение. Принципиальные мотивы, преимущества и аргументы в пользу постепенного вовлечения в ядерную энергетику уран-ториевого топливного цикла подробно рассмотрены в [1], в котором изложены результаты экспериментов в этом направлении за рубежом. В последние годы появились новые аспекты проблемы вовлечения тория в ядерную энергетику, в частности, поиск путей использования плутония оружейной кондиции и высокообогащенного урана в ядерно-энергетических установках, использующих топливо на основе тория. Такая возможность может быть реализована в реакторах типа ВВЭР с ториевой загрузкой (ВВЭР-Т). Концепция такого реактора изложена в [2] и предполагает изменение базовых конструктивных решений реактора типа ВВЭР-1000. В этой работе рассматривается замкнутый топливный цикл, требующий внедрения технологии переработки ториевого топлива.

Несомненный интерес представляет вариант, не требующий изменений конструкции серийных реакторов последнего поколения при переходе на торийсодержащее топливо и обеспечивающий возможность организации открытого ядерного топливного цикла при реализации длинных и сверхдлинных кампаний [3, 4]. В этих работах определены ключевые критерии возможности организации открытого цикла на базе реакторов типа ВВЭР-1000 с использованием имеющихся природных запасов тория. Современный этап развития мировой ядерной энергетики потребует больших затрат природного урана, доступные запасы которого существенно меньше, чем ториевые. В России имеется необходимый начальный запас ядерно-чистого тория, и, кроме того, торий попутно добывается при разработке ряда месторождений уранового сырья. Именно поэтому на первом этапе вполне оправданно рассматривать вариант открытого топливного цикла. Кроме того, основным типом реакторов, интенсивно строящихся в настоящее время, являются реакторы типа ВВЭР и PWR, которые будут работать не менее 60-ти лет. Нарботка плутония в

настоящее время происходит в основном в этих реакторах. Накопленные запасы плутония стимулируют исследования по его повторному использованию в реакторах этого типа. Это еще один аргумент в пользу рассмотрения возможности применения ториевого топлива в реакторах существующего типа.

Обоснование. Как было сказано, на начальном этапе внедрения ториевого топлива вполне можно ограничиться рассмотрением открытого топливного цикла с максимальным использованием энергетического потенциала ^{233}U для увеличения выгорания топлива. Известно, что равновесная концентрация ^{233}U в ториевом цикле достигается в течение более длительного промежутка времени и при более высоком выгорании топлива ($\sim 8 \text{ лет}$, $\text{RT} > 80 \text{ MBm-cym/kg т.м.}$), чем равновесная концентрация плутония в урановом топливном цикле. Это связано с более высоким сечением поглощения тепловых нейтронов торием по отношению к урану и существенно меньшим сечением поглощения тепловых нейтронов ^{233}U в сравнении с ^{238}Pu . Однако при этом равновесная концентрация ^{233}U в тории будет выше, чем равновесная концентрация ^{238}Pu в урановом топливе. Поэтому ториевый цикл требует более высокого начального обогащения топлива по делящимся нуклидам для достижения существенной доли удельной энергосыработки за счет вторичного горючего. Поскольку, как ожидается, внедрение ториевых загрузок - дело отдаленного будущего, то можно предположить, что к тому времени будут разработаны тепловыделяющие элементы, выдерживающие глубокое выгорание топлива.

Расчетный инструмент и геометрия модели. В данной работе рассматривается торий-плутониевый цикл с высоким выгоранием топлива. Расчеты анализа эффективности торий-плутониевого топливного цикла проводились с использованием программы VSOP, в которой реальная гексагональная структура активной зоны и перестановки тепловыделяющих сборок (ТВС) в процессе перегрузок моделируются цилиндрической геометрией активной зоны с зонными перестановками топлива (рис. 1 и 2).



Подготовка гомогенизированных констант для различных зон реактора осуществляется в мультигрупповом приближении для гомогенной среды, в качестве которой выступает одна тепловыделяющая сборка. Для получения групповых констант в резонансной области энергий используется теорема эквивалентности. Далее производится свертка мультигрупповой системы констант в малогрупповую (в частности шестигрупповую), с помощью которой производится расчет пространственно-энергетического

распределения нейтронов и изменения нуклидного состава топлива в процессе выгорания и при перестановках топлива. Вопросы обоснования применения программы VSOP для анализа выгорания топлива в реакторах типа ВВЭР представлены в [3].

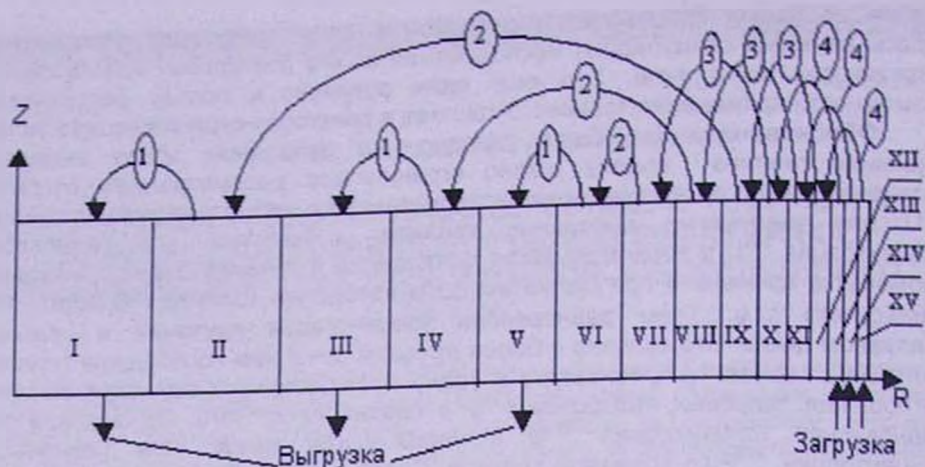


Рис. 2. Схема перемещений с учетом перемешивания (Z — аксиальное направление)

Поскольку в реальном случае геометрические характеристики ТВС неизменны, то в ходе расчетных процедур необходимо учитывать, что в одном и том же радиальном секторе находятся ТВС с различным нуклидным составом. "Гомогенизированная" концентрация нуклида " n " в радиальном секторе " i " определяется соотношением

$$C_i^n = \sum_{k=1}^3 P_{ki} c_k^n,$$

где P_{ki} — содержание ТВС типа k в i -ом радиальном секторе; c_k^n — "гомогенизированная" концентрация нуклида n в ТВС типа k . Предварительная процедура "гомогенизации" предполагает учет всех конструктивных элементов ТВС и активной зоны, а также наличие H_3BO_3 в теплоносителе первого контура. Это позволяет достаточно близко к реальным условиям определить материальный состав во всех элементах расчетной области.

Расчетные модели

Торий-плутониевая загрузка. Для уменьшения степени неравномерности энерговыделения при глубоком выгорании топлива был выбран режим движения топлива "от периферии к центру активной зоны при частичном перемешивании в азимутальном направлении". Такой режим движения топлива оставляет неизменной работоспособность СУЗ реактора ВВЭР-1000. Глубокое выгорание топлива достигается применением топлива подпитки с 10% обогащением по плутонию оружейного качества и использованием схем частичных перегрузок с 4 и 5 циклами перестановок ТВС в активной зоне. Для моделирования переходного процесса стартовая загрузка содержала топливо с обогащением в 6, 8 и 10%. Для достижения установившегося режима перегрузок требуется пять

циклов перегрузки, при этом достигаются следующие показатели эффективности топливного цикла:

среднее выгорание топлива – 94,4 МВт-сут/кг тяжелого металла (т.м);

длина кампании ~ 8,3 года;

доля энерговыработки, реализуемая за счет сжигания, - ^{233}U ~ 25 %;

наработка ^{233}U – 329,45 кГВт(электрических(эл.)) (2,1%);

относительная глубина выгорания Pu (все нуклиды) – 0,743;

значение флюенса повреждающих нейтронов - $9,18 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$.

Интегральные характеристики показывают, что в течение 8 лет может быть утилизировано около 5500 кг плутония оружейной кондиции. На рис. 3 приведены массы основных актиноидов для ТВС топлива подпитки в течение кампании.

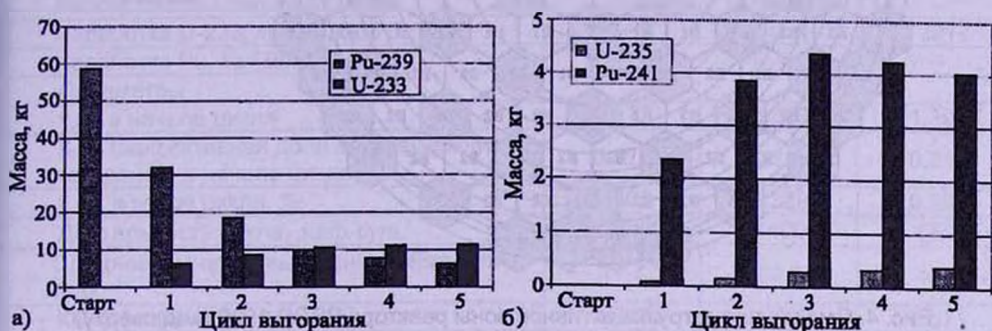


Рис. 3. Массы основных актиноидов в расчете на одну ТВС (Pu^{241} в основном выжигается)

Торий-уран-плутониевая загрузка (смешанная). При замещении стандартного оксидного топлива торий-плутониевым возникает проблема, обусловленная дефицитом запаздывающих нейтронов. В стационарном режиме они не играют существенной роли. Однако при рассмотрении переходных процессов это обстоятельство имеет важное значение. Полная загрузка активной зоны торий-плутониевым оксидным топливом влечет за собой уменьшение эффективной доли запаздывающих нейтронов практически в три раза по сравнению с урановой загрузкой. Для повышения доли запаздывающих нейтронов в активной зоне предлагается смешанная загрузка, состоящая из топлива двух сортов. Во-первых, это топливо с торий-плутониевой загрузкой, а во-вторых - торий с высокообогащенным ураном. Глубокое выгорание топлива достигается применением топлива подпитки с обогащением по плутонию оружейного качества в 12,9% и использованием схем частичных перегрузок с 4 циклами перестановок ТВС в активной зоне. Для моделирования переходного процесса смешанная стартовая загрузка содержала топливо с обогащением по плутонию 6,9%(Z), 8,9%(Z1), 10,9%(Z2) и 12,9%(Z3), а по ^{235}U – 3,8%(B), 4,8%(B1) и 6,8%(B2) (рис.4).

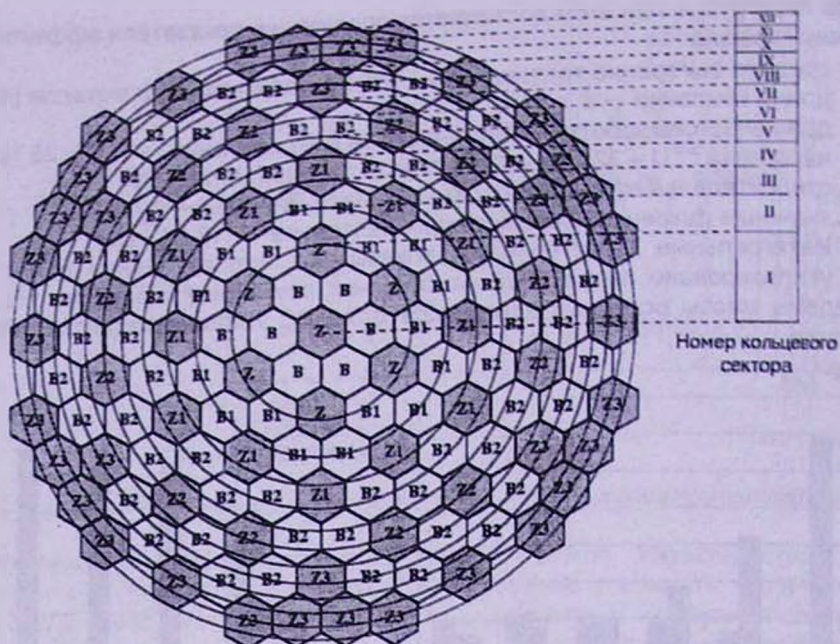


Рис. 4. Смешанная загрузка активной зоны реактора ВВЭР-1000 (вид сверху)

Бланкетные ТВС, содержащие топливную композицию $\text{ThO}_2\text{-}^{235}\text{UO}_2$, загружаются в активную зону только в начале кампании. Для достижения установившегося режима перегрузок требуется четыре цикла перегрузки, при этом достигаются следующие показатели эффективности топливного цикла:

среднее выгорание топлива – $125,9 \text{ МВт}\cdot\text{сут}/\text{кг т.м}$;

длина кампании ~ 9 лет;

доля энерговыработки, реализуемая за счет сжигания, - $^{233}\text{U} \sim 23 \%$;

наработка $^{233}\text{U} - 446,1 \text{ кгГВт(эл.) (2,3\%)}$;

относительная глубина выгорания Pu (все нуклиды) – 0,81;

значение флюенса повреждающих нейтронов - $9,45 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$.

Смешанная ториевая загрузка позволяет при маневрировании мощностью реактора в начальных циклах избежать сложностей, обусловленных дефицитом запаздывающих нейтронов. Смешанная (^{232}Th , ^{235}U , ^{239}Pu) O_2 топливная загрузка обеспечивает преимущество перед стандартной схемой на базе UO_2 топлива и схемой на базе (Th, Pu) O_2 топлива. Оно особенно проявляется при сравнении балансов масс нуклидов с таковыми для стандартной урановой и торий-плутониевой загрузок для первых циклов (см. табл.). Кроме преимуществ, обусловленных уникальным сочетанием параметров, которые определяют экономические показатели использования топлива и степень ядерной и экологической безопасности, смешанная загрузка обеспечивает наиболее жесткий спектр нейтронов в активной зоне. Смещение максимума спектра в эпитепловую область обеспечивает уменьшение чувствительности ядерной

энергетической установки к процессам, вызывающим отравление продуктами деления неравновесной и равновесной концентраций.

Таблица

Основные параметры первых циклов выгорания

Балансы масс основных нуклидов во всех периферийных ТВС	Схема загрузки		
	стандартная	смешанная	торий-плутониевая
Загрузка Th-232, <i>кг/ТВт (эл.)</i>	—	14765,1	17326,2
Загрузка U-238, <i>кг/ТВт (эл.)</i>	23897,4	16,2	—
Загрузка Pu, <i>кг/ТВт (эл.)</i>	—	1821	1931,1
Расход Pu / Загрузка Pu	—	0,954	0,739
Загрузка U-235, <i>кг/ТВт (эл.)</i>	1064,0	222	—
Расход U-235 / Загрузка U-235	0,632	0,0405	—
Наработка U-233, <i>кг/ТВт(эл.)</i>	—	231,9	291
Наработка Pu, <i>кг/ТВт(эл.)</i>	186,0	—	—
Параметры			
$k_{эфф}$ в начале цикла	1,173	1,356	1,392
$\beta_{эфф}$ (эффективная доля запаздывающих нейтронов) в начале цикла, %	0,672	0,346	0,210
$\beta_{эфф}$ в конце цикла, %	0,462	0,329	0,226
Длительность цикла, <i>эфф сут.</i>	298,5	1400	1250
Среднее значение выгорания, <i>МВт-сут/кг т.м.</i>	11,7	52,2	45,5
Коэффициент воспроизводства	0,697	0,525	0,571
ТКР (температурный коэффициент реактивности, Допплер-эффект), $(^{\circ}\text{C})^{-1}$	$-2,15 \cdot 10^{-5}$	$-3,2 \cdot 10^{-5}$	$-3,2 \cdot 10^{-5}$
Стационарное отравление Xe^{135}	$-3,26 \cdot 10^{-2}$	$-1,6 \cdot 10^{-2}$	$-1,8 \cdot 10^{-2}$
Доля энерговыработки по нуклидам, %	U 233	—	21,7
	U 235	73,6	28
	Pu 239	23,7	41,6
	Pu 241	2,7	8,7
			11,1

Заключение. Результаты расчетного анализа показывают, что применение ториевого топлива с плутонием оружейного качества при ориентации на глубокое выгорание топлива (≈ 90 *МВт-сут/кг т.м.*) позволяет накопить в отработанном топливе заметное количество ^{233}U ($\approx 2,1\%$), внести существенный вклад в удельную энерговыработку топлива за счет сжигания ^{233}U и добиться глубокого выжигания оружейного плутония ($\approx 70\%$). Однако требуют внимательного рассмотрения вопросы компенсации избыточной реактивности и оценка плотностного коэффициента реактивности в реакторе с торий-плутониевой загрузкой. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что при модификации регламентов управления реактором в существующих реакторах ВВЭР-1000 имеется принципиальная возможность использования торий-уран-плутониевой и безурановой торий-плутониевой загрузок в полномасштабном варианте. Но для его практического применения требуются дополнительные расчетные исследования по состоянию тепловыделяющих элементов при глубоких выгораниях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муроков В.М., Троянов М.Ф., Шмелев А.М. Использование тория в ядерных реакторах. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 96 с.
2. Galperin A., Reichert P., Radkowsky A. Thorium fuel cycle for light water reactors — reducing proliferation potential of nuclear power fuel cycle // Science & Global Security. — 1997. — V. 6. — P. 267-292
3. The use of (Th,U,Pu)O₂ Fuel in a water-water energy reactor (WWER-1000): Physics and fuel cycle simulation by means of the V.S.O.P. (97) computer code / I.V. Shamanin, A.A. Ukhov, H.J. Rutten and etc. // Forschungszentrum Jülich. - FZJ — ISR — IB — 1/1999. — 40 p.
4. Результаты моделирования параметров топливного цикла для водо-водяного энергетического реактора / И.В. Шаманин, А.А. Ухов, Г.И. Рюттен и др. // Известия вузов. Сер. Ядерная энергетика. — 2000. — № 4. — С. 53–64.

ЗАО "Научно-исследовательский институт энергетики". Материал поступил в редакцию 29.06.2009.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Տ.Լ. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ԹՈՐԻՈՒՄ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ՎԱՌԵԼԻՔԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԶՐԱ-ԶՐԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐՈՒՄ՝ ՊԼՈՒՏՈՆԻՈՒՄԻ ԵՎ ՀԱՐՍՏԱԳՎԱԾ ՈՒՐԱՆԻ ԿԻՐԱՆՄԱՍԸ

Դիտարկվում են միջուկային էներգետիկայում՝ ջրա-ջրային տեսակի ռեակտորներում թորիումի օգտագործման տարբեր եղանակները՝ ռազմական տրոհվող նյութերի կիրառմամբ: Հաշվարկային ուսումնասիրություններն ուղղված են բաց վառելիքային ցիկլի կիրառմանը՝ վառելիքի խորը այրման ընթացքում առաջացող ²³³U-ի էներգետիկ պոտենցիալի առավելագույն օգտագործմամբ: Վերլուծվում են վառելիքի բեռնավորման և անփոփոխ կոնստրուկցիայով ակտիվ զոտում վառելիքի տեղափոխման սխեմաները, որոնք ապահովում են շահագործման արդյունավետության բարձրացումը և ներքին ինքնապաշտպանվածությունը: *Ստանդային բառեր.* միջուկային ռեակտոր, վառելիք, ցիկլ, հարստացում, այրվածություն, ֆյուենս, ջերմանջատիչ էլեմենտների համակարգ:

V.G. PETROSYAN, T.L. SAFARYAN

THORIUM OXIDE FUEL USE IN WWER TYPE NUCLEAR REACTORS WITH UTILIZATION OF ENRICHED URANIUM AND PLUTONIUM

Different variants of thorium inclusion in water-cooled and water-moderated nuclear reactors (WWER) through utilization of weapon grade fissile materials are examined. The research is oriented for utilization of open fuel cycle with maximal use of energy potential, gained by ²³³U through high fuel burn-up. Fuel load and fuel transposition schemes at the active core with constant constructions providing enhancement of efficiency and internal self-protection are analyzed.

Keywords: nuclear reactor, fuel, cycle, enrichment, burn-up, fluency, fuel assembly.

Ж.Д. ДАВИДЯН, О.Г. ГЕВОРГЯН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Представлена математическая модель нового способа импульсного управления скоростью синхронных электродвигателей, реализуемого посредством питания статорной обмотки импульсами тока непосредственно от сети через тиристорный коммутатор. Импульсы тока синхронизированы с положением ротора и регулируются по фазе и величине. Показано, что способ импульсного управления обеспечивает существенно лучшие экономические и качественные характеристики, чем при известном частотном управлении.

Ключевые слова: скорость синхронного двигателя, математическая модель, импульсное управление, импульсы тока статора, датчик положения ротора, регулирование скорости.

Мощные синхронные двигатели находят широкое применение в различных областях промышленности. При этом достаточно остро стоит проблема их плавного пуска и управления скоростью вращения.

Изменение и регулирование скорости вращения синхронных двигателей в настоящее время выполняются путем их частотного управления с использованием специальных регулируемых тиристорных преобразователей частоты (ТПЧ) и напряжения, рассчитанных на мощность двигателя. Данные устройства по своим массогабаритным, материалозатратным и стоимостным характеристикам соизмеримы с двигателем, а иногда и превосходят таковые. Это практически исключает саму возможность регулирования скорости синхронных двигателей посредством ТПЧ, особенно для мощных синхронных двигателей (мощностью порядка 1...20 МВт), в то время как именно для последних задача регулирования скорости, в том числе их надежного пуска, наиболее актуальна.

Разработан принципиально новый способ импульсного управления скоростью синхронных двигателей, который обеспечивает их плавный управляемый пуск и изменение скорости при питании непосредственно от сети переменного тока практически без перегрузки машины и сети [1-4]. Массогабариты и стоимость оборудования импульсного пуска в несколько раз меньше, чем для известных устройств частотного пуска.

Импульсное управление скоростью синхронной машины выполняется по схеме рис. 1. Сигналами датчика положения ротора включаются тиристоры соответствующей группы тиристорного коммутатора – анодной или катодной, так, чтобы протекающий импульс тока данного направления создавал положительный вращающий момент (см. диаграмму на рис.3). Отпирающие импульсы подаются в тиристоры в определенные моменты времени с определенной фазой – углом управления α . По завершении импульса тока, когда ток достигает нулевого значения, тиристор естественным образом

запирается. Отрезки переменного напряжения сети, приложенные к обмотке якоря, трансформируются в обмотку ротора, выпрямляются короткозамыкающим диодом, обеспечивая автоматическое самовозбуждение индуктора [1.5]. Алгоритмически исключается прохождение тех импульсов тока, которые, попадая на стык разрешенного интервала, создают отрицательные средние импульсные моменты. Error!

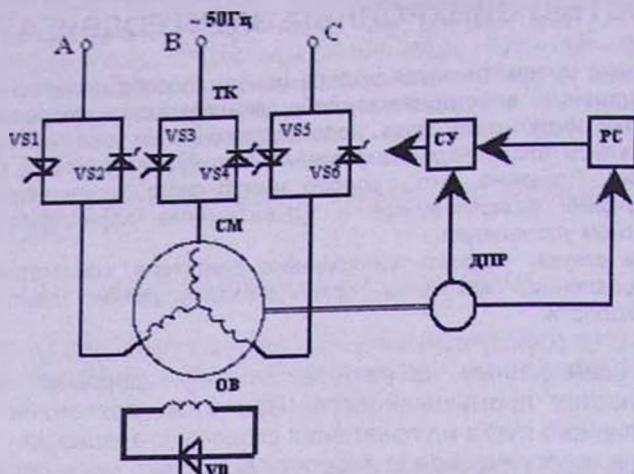


Рис. 1. Схема импульсного пуска и управления скоростью синхронного двигателя:
 CM - синхронная машина, ТК - тиристорный коммутатор, VD - диод,
 СУ - система управления, ДПР - датчик положения ротора, РС - регулятор скорости

Импульсы тока, протекающие в обмотке статора, взаимодействуя с током возбуждения, создают импульсы вращающего момента. Если среднее значение импульсов моментов вращения превосходит момент сопротивления нагрузки, то скорость вращения ротора импульсно-ступенчато увеличивается. Если эти моменты уравновешены, то скорость вращения будет неизменна.

Изменением угла управления можно регулировать длительность, амплитуду, площадь импульсов тока в обмотке якоря и тока возбуждения в роторной обмотке, соответственно величину вращающего момента и скорость вращения. Автоматическая стабилизация и изменение скорости вращения выполняются по цепи внешней обратной связи по скорости с воздействием на угол управления.

Математическая модель указанного процесса образования импульсного движения приведена в [5] и для цельности изложения также приводится ниже:

$$\int_{t_H}^{t_k} (U_s - U_M) dt = 0 \quad \text{или} \quad \int_{t_H}^{t_u} (U_s - U_M) dt = \int_0^{t_k} (U_s - U_M) dt,$$

$$i_s(t) = \frac{1}{L_s} \int_{t_H}^{t_k} [U_s \sin \omega i + U_M \sin(\omega_p t + \gamma_0)] dt,$$

$$U_b(t) = K(U_S - U_M) \cos \gamma(t) \Big|_{\alpha}^{t_k}; \quad i_b(t) = \frac{1}{L_b} \int_{\alpha}^{t_k} U_b(t) dt.$$

$$M(t) = C i_S(t) i_b(t) \sin \gamma(t), \quad \omega_p(t) = \frac{1}{J} \int_{\alpha}^{t_k} [M(t) - M_C(t)] dt.$$

Разрешение для прохождения импульсов тока соответствующего направления формулируется следующим образом:

$$-\delta_1 \leq [\omega_p t_i - \varphi_{p_j} - N2\pi] \leq \pi - \delta_2, \quad \pi - \delta_1 \leq [\omega_p t_i - \varphi_{p_j} - N2\pi] \leq 2\pi - \delta_2.$$

Аналитическое исследование указанного процесса импульсного движения представляет значительные трудности.

На основе математической модели и пакета прикладных компьютерных программ разработана визуально-математическая модель системы импульсного управления скоростью синхронного двигателя (рис. 2).

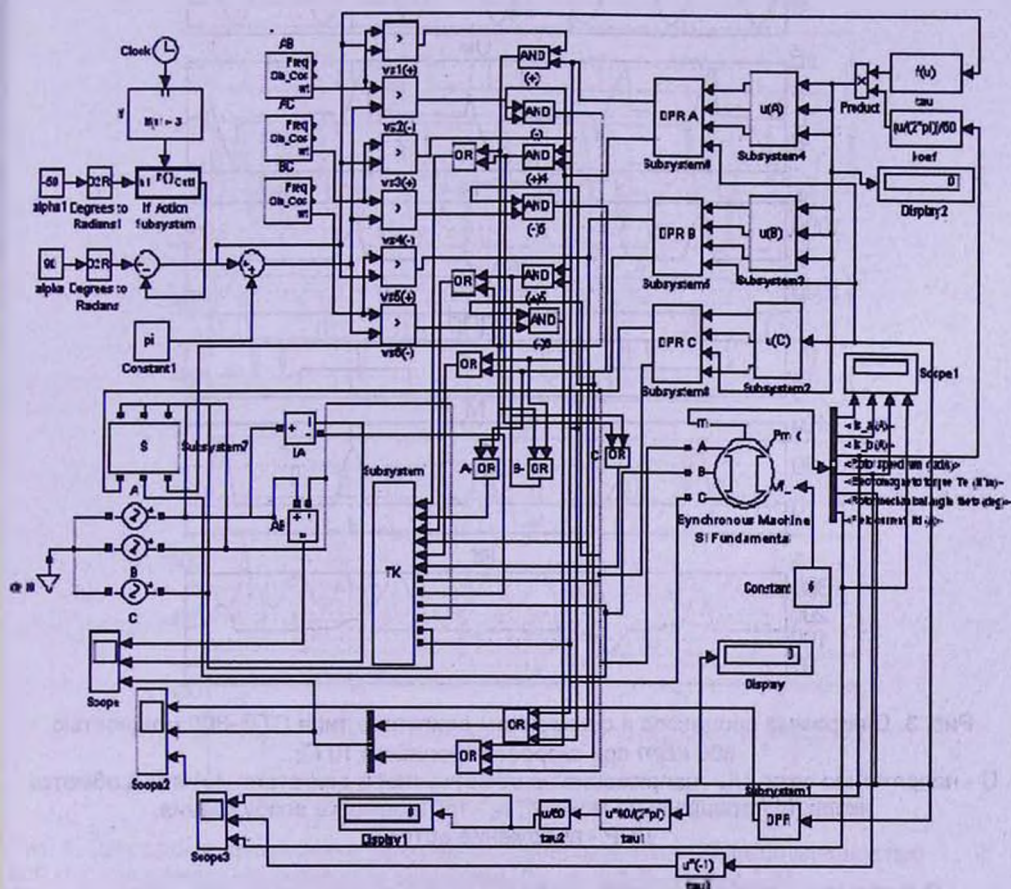


Рис. 2. Математическая модель системы импульсного управления скоростью синхронного двигателя

Модель предназначена для имитации реальных или проектируемых систем импульсного управления синхронных двигателей и детального исследования протекающих в них процессов с высокой степенью адекватности. Ниже приводятся полученные на модели результаты исследования.

На рис. 3 приведена осциллокопическая диаграмма процессов в синхронном двигателе типа СТД-800 мощностью 800 кВт со скоростью вращения, эквивалентной 10 Гц, при вышеизложенном алгоритме управления. Для наглядности процесса расчёт выполнен при однофазной схеме включения двигателя (к сети через тиристорный коммутатор подключена одна фаза двигателя, две другие не подключены).

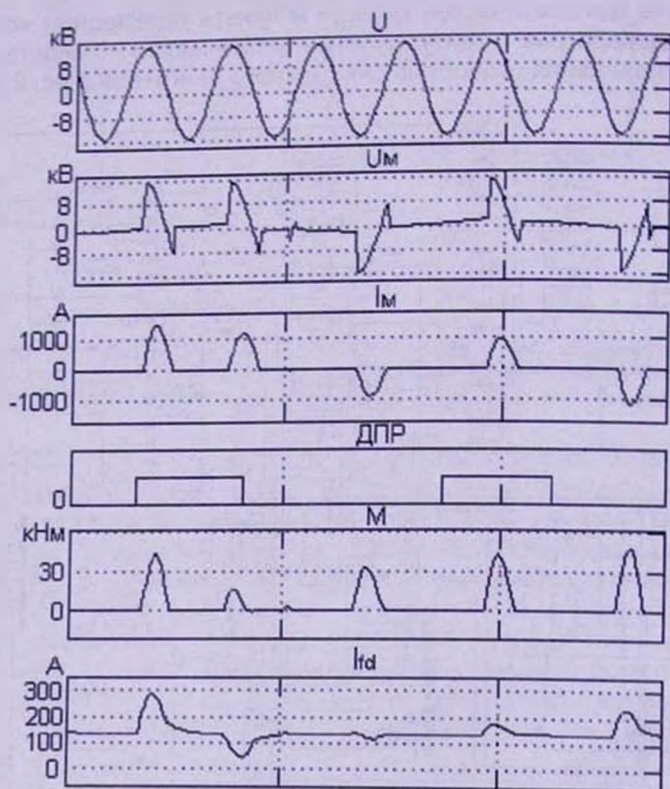


Рис. 3. Диаграмма процессов в синхронном двигателе типа СТД-800 мощностью 800 кВт при скорости вращения 10 Гц:

U - напряжение сети, U_M - напряжение на обмотке якоря двигателя, I_M - ток в обмотке якоря, M - вращающий момент, I_{fd} - ток в обмотке возбуждения, ДПР - положение ротора

Диаграмма подтверждает изложенный выше принцип образования импульсов тока и вращающего момента и устойчивого самовозбуждения двигателя.

На рис. 4 приведены рассчитанные на модели осциллокопические диаграммы при импульсном управлении синхронным двигателем типа СТД-800, мощностью 800 кВт при различных скоростях вращения: 4,2, 15, 35 Гц.

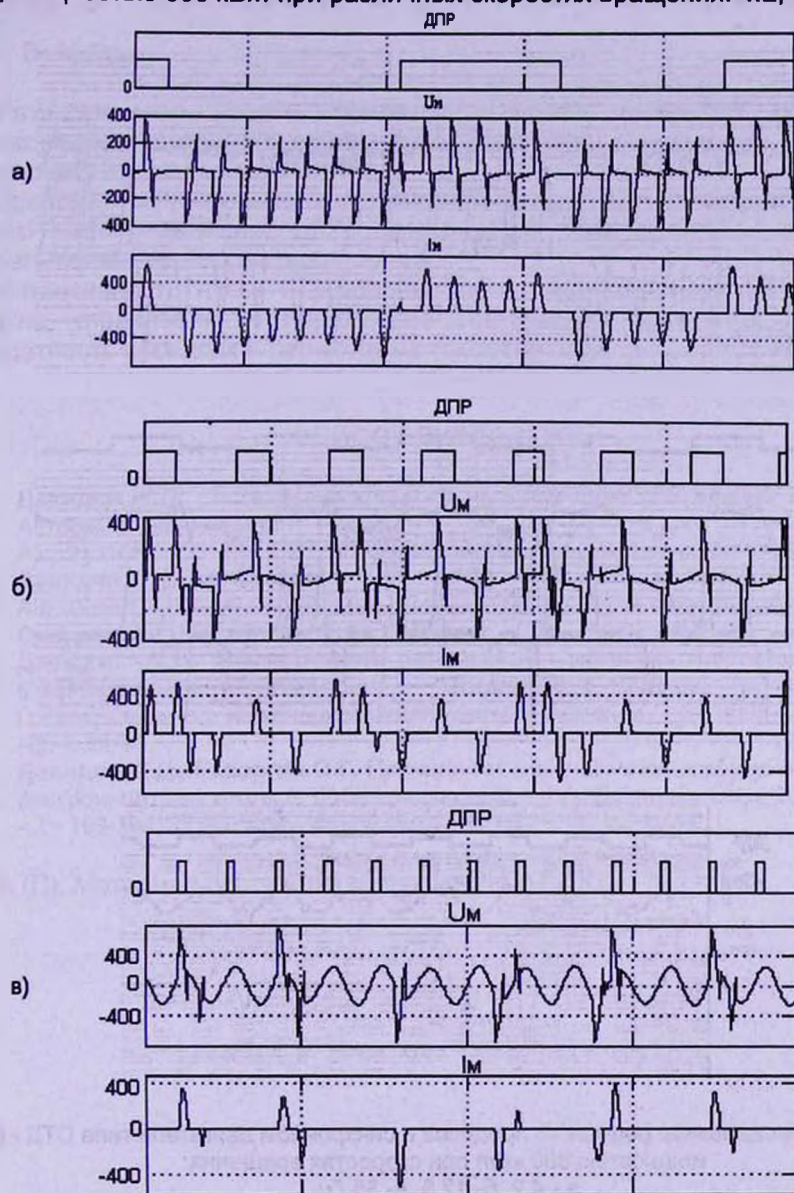


Рис. 4. Диаграмма процессов в синхронном двигателе типа СТД-800 мощностью 800 кВт при различных скоростях вращения, Гц: а- 4,2, б- 12,8, в – 35. Условные обозначения: ДПР – сигнал датчика положения ротора, U – напряжение на фазе обмотки статора, I – ток в обмотке статора

На рис. 5 в качестве сравнения приведены осциллограммы реального процесса импульсного управления синхронным двигателем типа СТД-800 при тех же скоростях вращения (4,2, 15, 35 Гц), выполненные в [1].

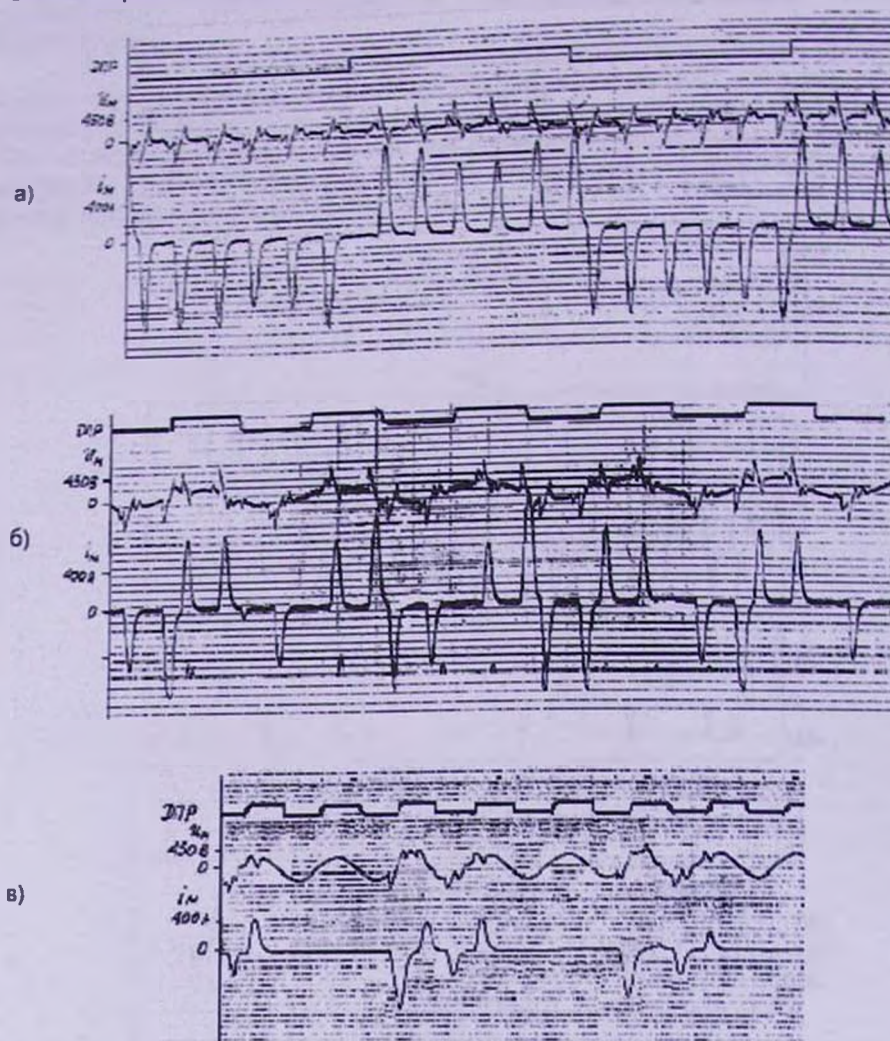


Рис. 5. Осциллограммы реального процесса в синхронном двигателе типа СТД - 800 мощностью 800 кВт при скоростях вращения:

а - 4,2, б - 12,8, в - 35 Гц.

Условные обозначения: ДПР – сигнал датчика положения ротора, U – напряжение на фазе обмотки статора, I – ток в обмотке статора

Визуальное сопоставление рассчитанных на модели и реальных осциллограмм подтверждает адекватность разработанной модели реальному процессу.

Выводы

1. Разработанная модель является удобным аппаратом исследования системы импульсного управления скоростью синхронного двигателя с высокой степенью адекватности.
2. Посредством импульсного управления синхронного двигателя при питании его непосредственно от промышленной сети возможно изменение и регулирование скорости вращения.
3. Интенсивность пуска и ускорение двигателя регулируются посредством угла управления и параметров импульсов. При этом регулируется кратность пусковых и переходных токов (на осциллограммах не показаны).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давидян Ж.Д. Системы импульсного пуска мощных синхронных машин. – Ер.: Авторское издание, 2007. – 292 с.
2. А.с. 1131002. СССР (H02P 1/50). Устройство для пуска синхронной машины / Ж.Д. Давидян, Г.Н. Тер-Газарян. - Б.И. – 1984. - N47.
3. А.с. 1264291. СССР (H02P 6/02). Устройство для пуска синхронной машины / И.Е. Овчинников, Ж.Д. Давидян, В.Н. Рябов. - Б.И. – 1986. - N38.
4. Давидян Ж.Д. Управляемый импульсный двигатель переменного тока // Моделирование, оптимизация, управление: Сборник научных трудов Государственного инженерного университета Армении. – Ереван, 2003.- Вып. 6. - N2.-С.91-98.
5. Давидян Ж.Д., Геворгян О.Г. Принцип импульсного самовозбуждения и момента синхронного двигателя // ՀԳԵՀ Լրագիր – 76. - Եր.: ԵՊՈՒՄԻՊՈՒՄ, 2009. - Հ. 1, N 1. - էջ 199-204:

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 14.07.2009.

Ժ.Դ. ՂԱՎԻԴՅԱՆ, Օ.Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՍԻՆԵՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԾԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ
ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ

Ներկայացված է սինքրոն էլեկտրաշարժիչների արագության կառավարման նոր եղանակ, որն իրականացվում է անմիջապես ցանցից տիրիստորային կոմուտատորի միջոցով հոսանքի իմպուլսներով ստատորային փաթույթի սնմամբ: Հոսանքի իմպուլսները սինխրոնիզացված են ռոտորի դիրքի հետ և կառավարվում են ըստ ֆազի և լայնության: Իմպուլսային կառավարման եղանակն ապահովում է զգալիորեն ավելի լավ տնտեսական և որակական բնութագրեր, քան հայտնի հաճախականային կառավարման դեպքում:

Առանցքային բառեր. սինքրոն շարժիչի արագություն, մաթեմատիկական մոդել, իմպուլսային կառավարում, ստատորի հոսանքի իմպուլսներ, ռոտորի դիրքի տվիչ, արագության կարգավորում:

J.D. DAVIDYAN, O.G. GEVORGYAN

MATHEMATICAL MODEL OF PULSE SPEED CONTROL FOR SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

A new way of pulse speed control of the synchronous electric motors, realized by means of feed stator winding pulses of a current directly from a network through thyristor switchboard is presented. Current pulses are synchronized with position of a rotor and adjustable on a phase and on width. The way of pulse management essentially provides best economic and qualitative characteristics than at known frequency management.

Keywords: synchronous electric motors, mathematical model, pulse control, stator current pulse, rotor position sensor, speed regulation.

В.С. САФАРЯН

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

Для асинхронной машины, работающей в стационарном режиме, рассматриваются зависимости активной и реактивной мощностей сети, а также мощности энергии магнитного поля машины от скольжения.

Ключевые слова: асинхронная машина, стационарный режим, скольжение, подробно-линейная функция, активная мощность, реактивная мощность.

Вопросам стационарного и переходного режимов работы асинхронной машины посвящена обширная литература, часть которых приведена в настоящей работе [1-5]. Однако в этих источниках недостаточно полно рассматриваются энергетические процессы асинхронной машины, особенно по обменной (реактивной) мощности.

В настоящей работе анализируются энергетические процессы стационарного режима асинхронной машины и рассматривается ряд смежных вопросов.

В стационарном режиме работы асинхронная машина имеет схемы замещения [1-6], представленные на рис. 1, где R , r - активные сопротивления обмоток статора и ротора; L_s , L_r - индуктивности обмоток статора и ротора; M - взаимная индуктивность; s - скольжение; U - напряжение статорной обмотки; i_s , i_r - токи в обмотках статора и ротора; ω - угловая скорость вращения поля статора; X_s , X_r , X - соответствующие индуктивные сопротивления ($X_s = \omega L_s$, $X_r = \omega L_r$, $X = \omega M$); $Z_s = R + j(X_s - X)$, $Z_r = r/s + j(X_r - X)$, $Z_m = jX$. Отметим также, что параметры роторной обмотки приведены к статорной обмотке.

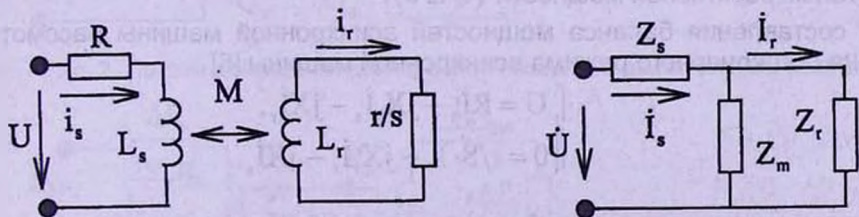


Рис. 1. Схемы замещения асинхронной машины в стационарном режиме

Составляющие мощности $P + jQ = \dot{U} \dot{I}_s$, потребляемой асинхронной машиной, считаются положительными, если они поступают от внешней сети, и отрицательными – в противном случае.

Покажем, что реактивная мощность асинхронной машины всегда положительна, независимо от значения скольжения, т.е. от режима работы (двигательный, генераторный, тормозной).

Комплексная мощность машины выражается в форме $\tilde{S} = Z I_s^2$, где $Z = R_s + jX_s$ - эквивалентное входное сопротивление машины [6]:

$$R_s = R + \frac{X_r^2 r/s}{(r/s)^2 + X_r^2}, \quad (1)$$

$$X_s = X_s - \frac{X_r X^2}{(r/s)^2 + X_r^2}. \quad (2)$$

Покажем, что $X_s > 0$, т.е.

$$\frac{X_r X^2}{(r/s)^2 + X_r^2} < X_s. \quad (3)$$

Поскольку $\frac{X^2}{X_r X_s} \leq 1$ [6], то, подставляя в (3) $X^2 = X_s X_r$ (поскольку

$X^2 \leq X_s X_r$, то, если при замене X^2 на $X_s X_r$ (3) имеет место, то оно справедливо), получим

$$\frac{X_r X_r X_s}{(r/s)^2 + X_r^2} < X_s,$$

т.е. получим очевидное неравенство

$$\frac{X_r^2}{(r/s)^2 + X_r^2} \leq 1. \quad (4)$$

Таким образом, асинхронная машина в стационарном режиме является потребителем реактивной мощности ($Q \geq 0$).

Для составления баланса мощностей асинхронной машины рассмотрим уравнения стационарного режима асинхронной машины [6]

$$\begin{cases} U = R \dot{I}_s + jX_s \dot{I}_s - jX \dot{I}_r, \\ 0 = r/s \cdot \dot{I}_r + jX_r \dot{I}_r - jX \dot{I}_s. \end{cases} \quad (5)$$

Умножая первое из уравнений на $\dot{I}_s$, а второе на $\dot{I}_r$, получим

$$\begin{cases} P + jQ = \Delta P_s + j\Delta Q_s - jX I_s I_r e^{j(\varphi_s - \varphi_r)}, \\ 0 = \Delta P_r + j\Delta Q_r - jX I_s I_r e^{j(\varphi_s - \varphi_r)}, \end{cases} \quad (6)$$

где ΔP_s , ΔP_r - потери активной мощности на активных сопротивлениях статора и ротора; ΔQ_s , ΔQ_r - амплитудные значения мощностей энергий магнитных полей обмоток статора и ротора; $\varphi = \varphi_s - \varphi_r$ - угол между векторами токов I_r , I_s .

Представим (6) в виде

$$\begin{cases} P + jQ = \Delta P_s + j\Delta Q_s - jQ_m - P_m, \\ 0 = \Delta P_r + j\Delta Q_r - jQ_m + P_m, \end{cases} \quad (7)$$

где $P_m = XI_s I_r \sin \varphi$; $Q_m = XI_s I_r \cos \varphi$ - мощности магнитного поля в воздушном зазоре машины.

Из последнего уравнения системы (7) следует, что

$$\begin{cases} \Delta Q_r = Q_m, \\ \Delta P_r = -P_m, \end{cases} \quad (8)$$

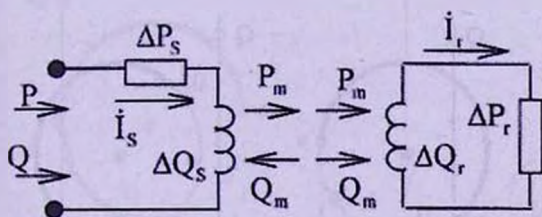
т.е. $Q_m \geq 0$, а $P_m > 0$ в генераторном режиме и $P_m \leq 0$ - в двигательном режиме. Из первого уравнения системы (7) имеем

$$\begin{cases} P = \Delta P_s - P_m, \\ Q = \Delta Q_s - Q_m, \end{cases} \quad (9)$$

или же

$$\begin{cases} P = \Delta P_s + P_r, \\ \Delta Q_s = \Delta Q_r + Q. \end{cases} \quad (10)$$

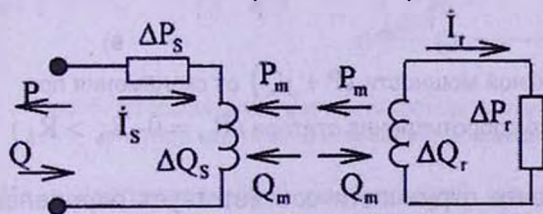
Схематически балансы активной и реактивной мощностей представлены на рис. 2, 3.



$$P = \Delta P_s + \Delta P_r, \quad \Delta P_r > 0.$$

$$Q = \Delta Q_s + \Delta Q_r - 2Q_m.$$

Рис. 2. Потоки мощностей асинхронной машины в двигательном режиме



$$P = \Delta P_s + \Delta P_r,$$

$$P < 0, \quad \Delta P_r < 0,$$

$$Q = \Delta Q_s + \Delta Q_r - 2Q_m.$$

Рис. 3. Потоки мощностей асинхронной машины в генераторном режиме

По схеме рис. 1 для тока $\dot{I}_s$ имеем

$$\dot{I}_s = \frac{\dot{U}}{Z_s + Z_m} \frac{Z_m + Z_r}{\frac{Z_s Z_m}{Z_s + Z_m} + Z_r} = \dot{U} A \frac{Bs + r}{Cs + r}, \quad (11)$$

где $A = \frac{1}{Z_s + Z_m}$, $B = Z_m + j(X_r - X) = jX_r$, $C = \frac{Z_s Z_m}{Z_s + Z_m} + j(X_r - X)$

комплексные постоянные.

Исходя из (11), выразим комплексную мощность цепи в виде дробно-линейной функции от действительного аргумента s :

$$\tilde{S} = \dot{A} U^2 \frac{Bs + r}{Cs + r} = \alpha \frac{s + \beta}{s + \gamma}, \quad (12)$$

где $\dot{A}$, $\dot{B}$, $\dot{C}$ - соответствующие сопряженные величины, зависящие от конструктивных параметров машины.

Дробно-линейная функция (12) отображает действительную ось в окружность на комплексной плоскости $P + jQ$ [8], поскольку функция (12) не имеет особой точки ($\dot{C}s + r \neq 0$, т.к. $I_m(\dot{C}) \neq 0$).

На рис. 4 представлены отображения (12) при различных значениях активного сопротивления статора. Отображение на рис. 4а соответствует случаю при $R = 0$. При некотором значении R даже в генераторном режиме машина потребляет от сети активную мощность (рис. 4в).

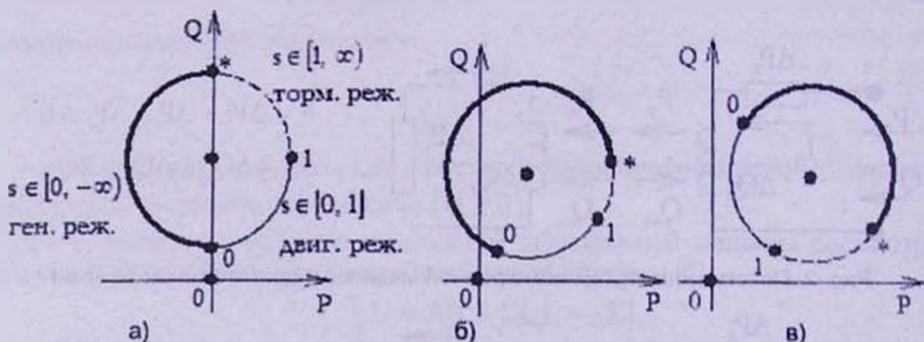


Рис. 4. Отображения комплексной мощности ($P + jQ$) от скольжения при различных значениях активного сопротивления статора ($R_a = 0$, $R_b > R_a$)

На отображениях каждой точке окружности соответствует определенное значение скольжения (на рис. 4 обозначены точки со значением скольжений 0

и 1). Точка "*" соответствует скольжению $s \rightarrow \pm\infty$, так как из (12) следует $\tilde{S}(s \rightarrow \infty) = \tilde{S}(s \rightarrow -\infty) = \alpha$. Сплошной толстой линией обозначен генераторный режим ($s \in [0, -\infty)$), сплошной тонкой линией – двигательный режим ($s \in [0, 1]$), пунктирной линией – тормозной режим ($s \in [1, \infty)$).

Асинхронная машина в тормозном и двигательном режимах потребляет от сети активную мощность, хотя в тормозном режиме она вырабатывает активную мощность, которая покрывает только часть потерь активной мощности обмотки ротора ($I_r^2 \left| \frac{1-s}{s} \right| r < I_r^2 r$ при $s > 1$).

Скольжения, при которых отображающая окружность пересекает ось реактивной мощности (рис. 4б), являются корнями уравнения $R_s = 0$ (1):

$$R(r/s)^2 + X^2(r/s) + RX_r^2 = 0. \quad (13)$$

Решая квадратное уравнение (13) относительно s , получим

$$s = \frac{2Rr}{-X^2 \pm \sqrt{X^4 - 4R^2 X_r^2}}. \quad (14)$$

Искомые скольжения не зависят от индуктивности обмотки статора, и действительные корни отрицательны. Условие, при котором отображающая окружность касается с осью реактивной мощности (рис. 5а), имеет вид

$$X = \sqrt{2RX_r}, \quad (15)$$

которое происходит при скольжении $s = -2Rr/X^2$.

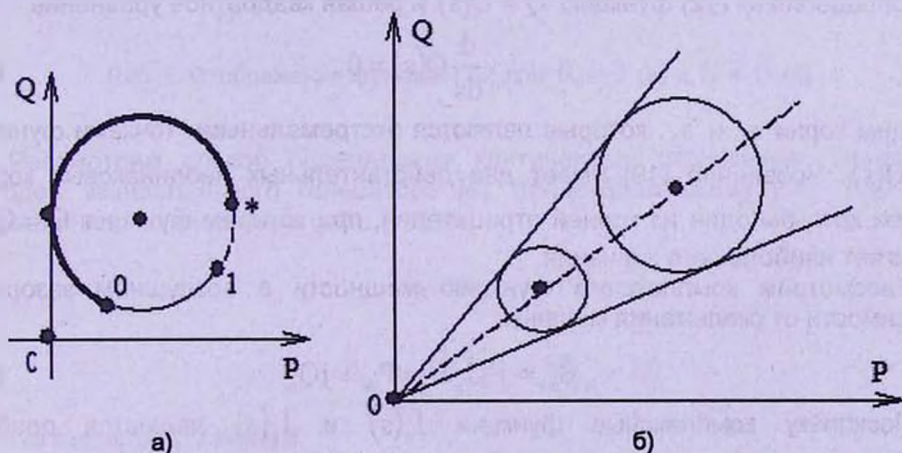


Рис. 5. Отображения при критическом значении активного сопротивления статора (а) и при изменении напряжения питания машины (б)

Из вышеприведенных рассуждений можно утверждать, что существует критическое значение ($X_{кр} = \sqrt{2RX_r}$) индуктивного сопротивления X , и

лишь при $X > X_{кр}$ ($X \leq \sqrt{X_1 X_2}$) машина в генераторном режиме может отдать в сеть активную мощность, работая со скольжением $s \in (s_1, s_2)$, где s_1, s_2 - действительные корни уравнения (13).

Отметим также, что при изменении напряжения статорной обмотки отображение окружности модифицируется только по масштабу (рис. 56).

Определим координаты центра и радиус окружности отображения действительной оси по дробно-линейной функции (12). Преобразуя (12) и представив его в форме уравнения окружности, получим координаты центра и радиус окружности:

$$M_0 = \alpha \frac{-\bar{\gamma} + \beta}{-\bar{\gamma} + \gamma}, \quad (16)$$

$$R_0 = |\alpha| \frac{|\beta - \gamma|}{2|-\bar{\gamma} + \gamma|}, \quad (17)$$

где M_0 - координаты центра окружности (комплексное число); R_0 - радиус окружности; $\bar{\gamma}$ - величина, сопряженная γ .

Значение $R_{кр}$ можно определить также из соотношения

$$R_0 = \operatorname{Re}(M_0). \quad (18)$$

Отметим, что величины M_0 и R_0 не зависят от сопротивления ротора. Изменение сопротивления ротора поворачивает лишь окружность, сохраняя координаты центра и радиус неизменными.

Определяя из (12) функцию $Q = Q(s)$ и решая квадратное уравнение

$$\frac{d}{ds} Q(s) = 0, \quad (19)$$

находим корни s_1 и s_2 , которые являются экстремальными точками функции $Q = Q(s)$. Уравнение (19) имеет два действительных неодинаковых корня, причем хотя бы один из корней отрицателен, при котором функция $Q = Q(s)$ достигает наибольшего значения.

Рассмотрим комплексную функцию мощности в воздушном зазоре в зависимости от скольжения машины:

$$\tilde{S}_m = jX I_s I_r = P_m + jQ_m. \quad (20)$$

Поскольку комплексные функции $I_s(s)$ и $I_r(s)$ являются дробно-линейными с одинаковыми знаменателями (с точностью до множителя константы) [7], то, полагая

$$I_s = \alpha_1 \frac{s + \beta_1}{s + \gamma}, \quad (21)$$

$$\dot{I}_r = \alpha_2 \frac{s + \beta_2}{s + \gamma}, \quad (22)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma$ - комплексные константы, для $\tilde{S}_m$ получим

$$\tilde{S}_m = jX\alpha_1\alpha_2 \frac{(s + \beta_1)(s + \bar{\beta}_2)}{|s + \gamma|^2}. \quad (23)$$

Можно показать, что комплексная функция (23) отображает действительную ось $(-\infty < s < \infty)$ в эллипс (рис. 6), причем расположение и размеры эллипса от значения сопротивления ротора не зависят.

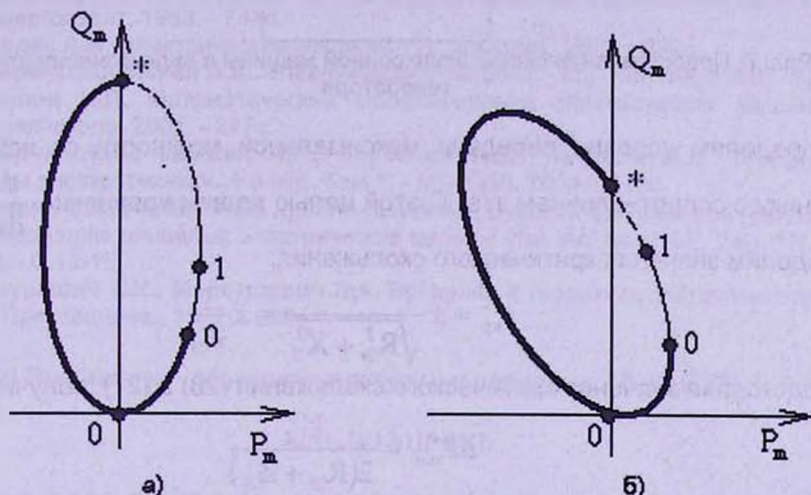


Рис. 6. Отображения функции (23) при $R = 0$ (а) и $R \neq 0$ (б)

Рассмотрим способ определения критического скольжения. Пользуясь методом эквивалентного генератора [6], представим схему рис. 1 в виде эквивалентного генератора (рис. 7), где

$$\dot{U}_x = \frac{\dot{U}}{Z_s + Z_m} Z_m, \quad (24)$$

$$Z_3 = \frac{Z_s Z_m}{Z_s + Z_m} + j(X_r - X). \quad (25)$$

По схеме рис. 7 имеем

$$\dot{I}_r = \frac{\dot{U}_x}{Z_3 + r/s} = \frac{\dot{U}_x}{(R_3 + r/s) + jX_3}, \quad (26)$$

$$\Delta P_r = i_r^2 \cdot \frac{r}{s} = \frac{U_X^2 \cdot r}{[(R_\Sigma + r/s)^2 + X_\Sigma^2] \cdot s}, \quad (27)$$

где $R_\Sigma = RX^2/(R^2 + X_s^2)$, $X_\Sigma = X_r - X_s X^2/(R^2 + X_s^2)$.

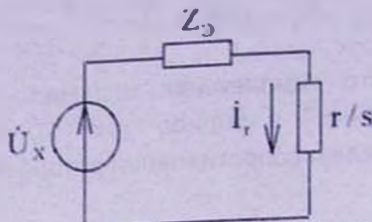


Рис. 7. Представление схемы асинхронной машины в виде эквивалентного генератора

Определим условие передачи максимальной мощности от источника к приемнику с сопротивлением r/s . С этой целью решим уравнение $\frac{d}{ds}(\Delta P) = 0$ и определим значения критического скольжения:

$$s_{кр} = \pm \frac{r}{\sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} = \pm \frac{r}{Z_\Sigma}. \quad (28)$$

Подставляя значения критического скольжения (28) в (27), получим

$$\Delta P_{\max}^+ = \frac{U_X^2}{2(R_\Sigma + Z_\Sigma)}, \quad (29)$$

$$\Delta P_{\max}^- = \frac{U_X^2}{2(R_\Sigma - Z_\Sigma)}, \quad (30)$$

где $\Delta P_{\max}^+$, $\Delta P_{\max}^-$ - значения потерь при скольжениях $s_{кр}$ и $-s_{кр}$, причем $|\Delta P_{\max}^-| > |\Delta P_{\max}^+|$ ($\Delta P_{\max}^- < 0$).

Из соотношений (28) - (30) можно сделать общеизвестные выводы о свойствах механической характеристики асинхронной машины [1 - 4].

1. Асинхронная машина в любом режиме работы (генераторный, тормозной, двигательный) от питающей сети потребляет реактивную мощность, причем эта мощность достигает максимума в генераторном режиме.
2. Баланс реактивной мощности асинхронной машины имеет вид, представленный вторым уравнением (10), и, следовательно, поскольку $Q > 0$, то мощность энергии магнитного поля обмотки статора превосходит мощность энергии магнитного поля роторной обмотки.
3. Выработанная в тормозном режиме активная мощность асинхронной машины лишь частично покрывает потери активной мощности роторной обмотки.

УДК 621.3.049.77

В.Ш. АРУТЮНЯН, П.А. ШИРИНЯН

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УСТРОЙСТВО МНОГОРЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЯТИФАЗНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Описана микроконтроллерная система многорежимного управления пятифазным шаговым двигателем (ШД). Приведены таблицы и номограммы режимов работы ШД, а также алгоритм программы управления.

Ключевые слова: шаговый двигатель, фаза, микроконтроллер, симулятор, логический анализатор.

Шаговые двигатели, как известно, широко используются в роботах и манипуляторах, периферийных устройствах компьютеров (дисководах, принтерах), станках с цифровым программным управлением, дискретных системах наведения оптических и радиолокационных приборов, технологическом оборудовании микроэлектроники и т.д. [1,2]. В этих системах наряду с различными модификациями ШД (2-, 3-, 4- и 6- фазных) нередко применяются пятифазные ШД, предоставляющие широкие возможности по оперативному управлению процессом изменения режимов коммутации фаз и, тем самым, расширения функциональных возможностей дискретного привода в целом.

Предполагается, что указанные задачи, а также ряд других задач управления дискретным приводом могут быть успешно решены с помощью современных микроконтроллеров [3].

В немногочисленных работах [2,4], посвященных исследованию данных вопросов, микроконтроллерами решаются только системные задачи управления дискретным приводом при одном из возможных режимов коммутации фаз ШД, такие как плавный пуск и останов ШД, задание и изменение скорости вращения исполнительного вала, задание необходимого числа шагов отработки, реверс, изменение токов или напряжения питания в зависимости от нагрузки на валу ШД и т.д.

Между тем очевидно, что при сочетании в одной системе микроконтроллерного управления решение вышеперечисленных задач с дополнительной возможностью задания и изменения режимов непосредственной коммутации фаз ШД значительно расширит функциональные возможности любого шагового привода в целом. Тем более, что эта цель достигается относительно простыми программными средствами, не требующими дополнительных аппаратных затрат.

В статье описывается микроконтроллерное многорежимное управление пятифазным ШД в сочетании с двумя различными модификациями выходных ключевых усилителей мощности, представленных на рис.1 и 2.

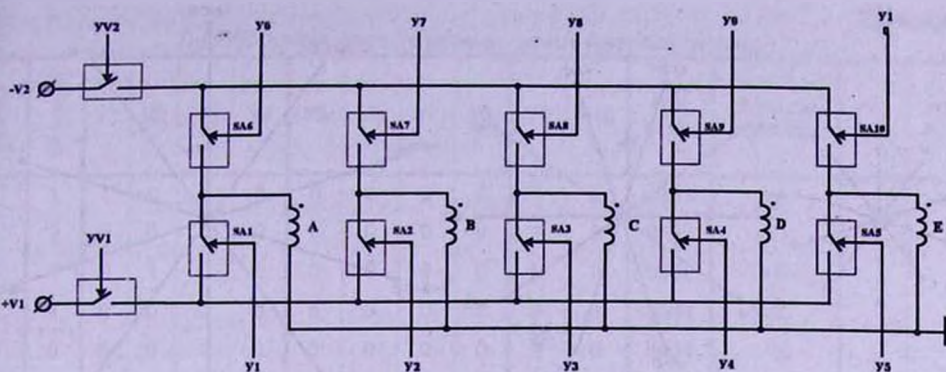


Рис.1. Схема двуполярного подключения фаз ШД в "звезду" с общей заземленной точкой

На рис. 3-6 приведены номограммы векторов моментов в различных режимах работы ШД, соответственно, с одним и двумя источниками питания. Исключены те режимы, при которых формируются резкие неравномерности распределения модулей результирующих моментов на валу ШД. Исходя из номограмм, составлены таблицы и определены коды управляющих сигналов переключения фаз ШД (табл.1-4). Каждый из приведенных режимов коммутации пятифазного ШД может быть использован для придания дискретному приводу тех или иных характеристик и функциональных возможностей.

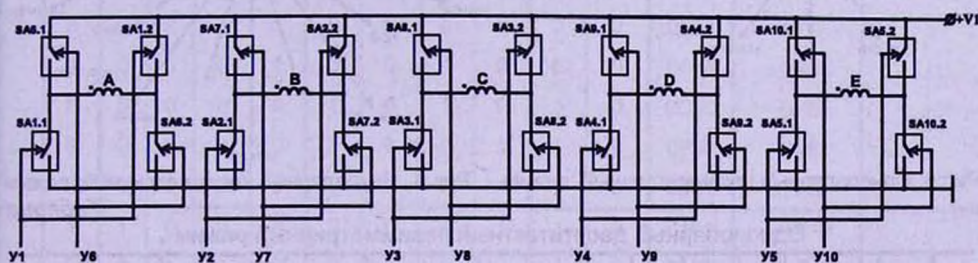


Рис.2. Мостовая схема подключения фаз ШД

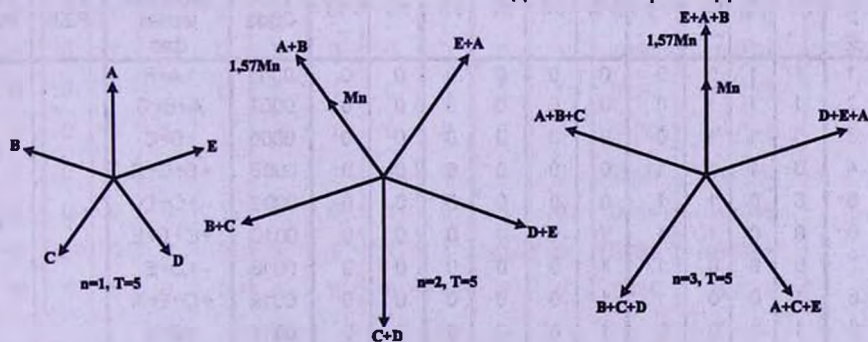


Рис.3. Однополярные симметричные режимы

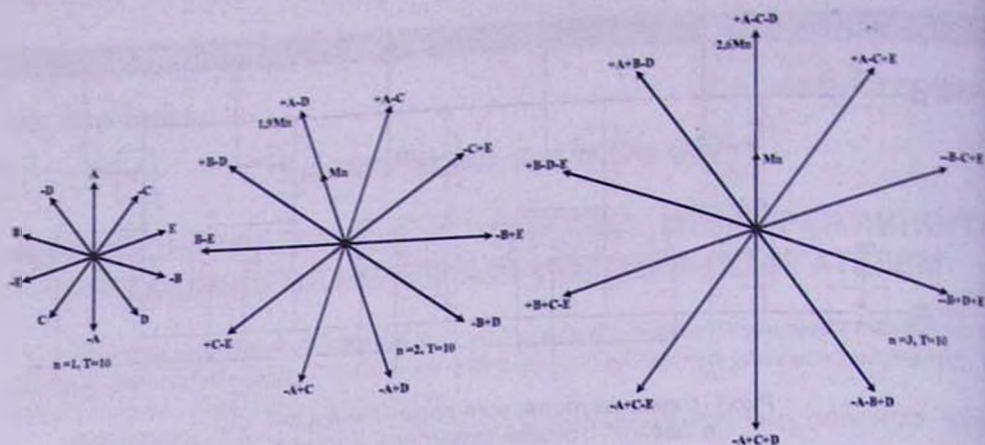


Рис.4. Двуполярные симметричные режимы

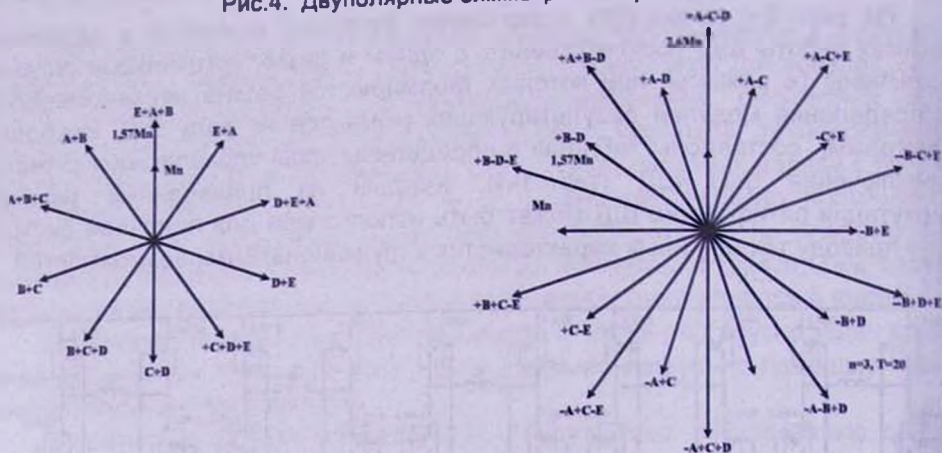


Рис.5. Однополярный несимметричный режим

Рис.6. Двуполярный несимметричный режим

Таблица 1

Однополярный десятитактный несимметричный режим

Режим	№ такта	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Hex Code	Порядок переключения фаз	+V1 P2.6	-V1 P2.7
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0003	+A+B	1	0
	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0007	A+B+C		
	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	000B	+B+C		
	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	000E	+B+C+D		
	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	000C	+C+D		
	6	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	001C	+C+D+E		
	7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0018	+D+E		
	8	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0019	+D+E+A		
	9	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0011	+E+A		
	10	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0013	+E+A+B		

Таблица 2

Двуполярные десятитактные симметричные режимы

Режим	№ такта	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Hex Code	Порядок переключения фаз	+V1 P2.6	-V1 P2.7
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0001	+A	1	1
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0100	-D		
	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0002	+B		
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0200	-E		
	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0004	+C		
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0020	-A		
	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0008	+D		
	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0040	-B		
	9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0010	+E		
	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0080	-C		
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0101	+A-D	1	1
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0102	+B-D		
	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0202	+B-E		
	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0004	+C-E		
	5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0024	-A+C		
	6	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0028	-A+D		
	7	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0048	-B+D		
	8	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0C50	-B+E		
	9	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0090	-C+E		
	10	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0081	+A-C		
4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0181	+A-C-D	1	1
	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0103	+A+B-D		
	3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0302	+B-D-E		
	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0206	+B+C-E		
	5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0224	-A+C-E		
	6	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	002C	-A+C+D		
	7	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0068	-A-B+D		
	8	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0058	-B+D+E		
	9	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	00B0	-B-C+E		
	10	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0091	+A-C+E		

Возможность изменения режима коммутации фаз ШД с помощью соответствующих многорежимных устройств, как известно, позволяет в определенных пределах варьировать частотой приемистости, величиной единичных шагов, равномерностью распределения векторов моментов по полю, развиваемым моментом на его валу, потребляемой мощностью и т.д.

Таблица 3

Двуполярный двадцатитактный несимметричный режим

Режим № такта	у1	у2	у3	у4	у5	у6	у7	у8	у9	у10	Hex Code	Порядок переключения фаз	+V1 P2.6	-V1 P2.7
5	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0181	+A-C-D		
	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0101	+A-D		
	3	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0103	+A+B-D		
	4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0102	+B-D		
	5	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0302	+B-D-E		
	6	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0202	+B-E		
	7	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0206	+B+C-E		
	8	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0204	+C-E		
	9	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0224	-A+C-E		
	10	0	0	1	0	0	1	0	1	0	00A4	-A+C	1	1
	11	0	0	1	1	0	1	0	0	0	002C	-A+C+D		
	12	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0028	-A+D		
	13	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0068	-A+D-B		
	14	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0048	-B+D		
	15	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0058	-B+D+E		
	16	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0050	-B+E		
	17	0	0	0	0	1	0	1	1	0	00D0	-B-C+E		
	18	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0090	-C+E		
	19	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0091	+A-C+E		
	20	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0081	+A-C		

Таблица 4

Однополярные пятитактные симметричные режимы

Режим № такта	у1	у2	у3	у4	у5	у6	у7	у8	у9	у10	Hex Code	Порядок переключения фаз	+V1 P2.6	-V1 P2.7
а	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0001	+A		
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0002	+B		
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0004	+C	1	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0008	+D		
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0010	+E		
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0003	+A+B		
	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0006	+B+C		
	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	000C	+C+D	1	0
	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0018	+D+E		
	5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0030	+E+A		
8	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0007	+A+B+C		
	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	000E	+B+C+D		
	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	001C	+C+D+E	1	0
	4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0019	+D+E+A		
	5	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0013	+E+A+B		

Функциональная схема микроконтроллерного управления пятифазным ШД показана на рис.7.

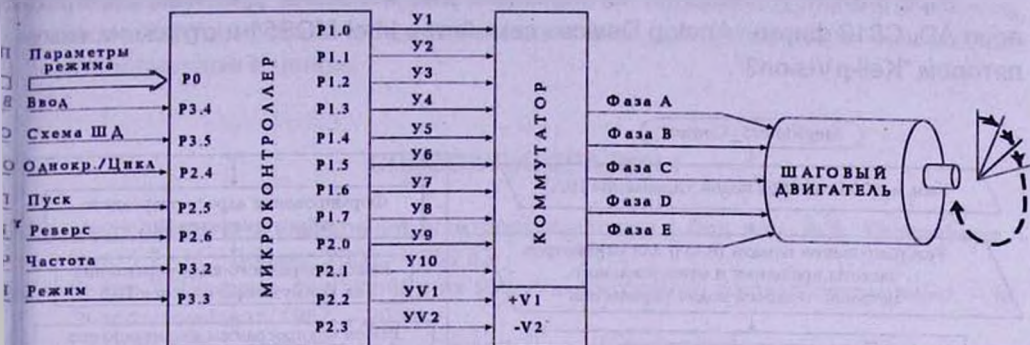


Рис. 7. Функциональная схема микроконтроллерного управления пятифазным ШД

Аппаратурные ресурсы микроконтроллера распределены следующим образом: P3.2 - вход запроса внешнего прерывания (INT0) - установка скорости переключения ШД; P3.3 - вход запроса внешнего прерывания (INT1) - установка режима работы ШД; P2.2 - разрешение включения источника +V1; P2.3 - разрешение включения источника -V2; P3.4 - разрешение ввода параметров ШД; P3.5 - выбор схемы включения ШД; P2.4 - однократный/циклический (0-цикл, 1 - однократный); P2.5 - пуск; P2.6 - реверс (0-прям., 1-обрат.); P0 - порт ввода параметров режима; P1, P2.0, 1 - порты вывода кода управления ШД; R5 - счетчик текущего числа шагов ШД.

Описание алгоритма программы. Алгоритм управляющей программы приведен на рис.8. Управляющие коды тактов и число тактов каждого режима ШД заносятся в программную память (ROM) микроконтроллера в виде таблицы. Каждый код имеет размер слова (2 байта).

В оперативной памяти (RAM) резервируются три байта: два - для параметров частоты вращения ШД, один - для хранения относительного начального адреса массива кодов выбранного режима. Программируется разрешение запросов обслуживания подпрограмм внешних прерываний INT0, INT1. После этого программа переходит в режим ожидания запросов внешних прерываний. В результате обслуживания прерываний устанавливаются режим работы и частота вращения ШД. Далее число тактов выбранного режима ШД сохраняется в счетчике тактов. Формируется адрес (ROM) очередного кода управления. По этому адресу из программной памяти выбирается код управления и через порты P1, P2 передается коммутатору фаз ШД. Выполняется очередной шаг ШД (за время выполнения подпрограммы формирования частоты вращения ШД). После чего декрементируется счетчик тактов, и если не последний такт, то процесс вывода кода управления очередного такта повторяется. Работа ШД в выбранном режиме повторяется при положительном опросе режима "Цикл".

В противном случае, если нет запроса выхода из программы, начинается новый цикл выбора нового режима и т.д.

Программа управления пятифазным ШД написана для микроконтроллера AD μ C812 фирмы Analog Devices семейства Intel-MCS51 и отлажена симулятором "Keil-Vision3".



Рис. 8. Алгоритм программы управления

На рис. 9 показано основное окно симулятора в режиме выполнения программы, совмещенное с окном "Logic Analyzer" с временными диаграммами для одного из режимов работы ШД.



Рис.9. Основное окно симулятора, совмещенное с окном Logic Analyzer

Таким образом, предлагаемое микроконтроллерное устройство позволяет обеспечить всевозможные симметричные и несимметричные, однополярные и двухполярные режимы коммутации фаз пятифазного шагового двигателя, а также сформировать общесистемные команды управления дискретным электроприводом в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микросхемы для управления электродвигателями / Под ред. В.А. Казначеева. - Вып. 1,2.- М.: Додэка, 2000. - 288 с.
2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 200 с.
3. Бардин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. - М.: ЭКОМ, 2002. - 398 с.
4. Мунтяну В., Мунтяну Е. Электропривод с шаговым двигателем ДШ-5Д1МУЗ. - М.: Радио, 2005. - N12.- С.16-18.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 11.07.2009.

Վ.Շ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Պ.Հ. ՇԻՐԻՆՅԱՆ

ՀԻՆԳՓԱԹՈՒԹՅ ԶԱՅԼԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻԶԻ ԲԱԶՄԱՌՈՇԻՄ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՄԻԿՐՈԿՈՆՏՐՈԼԵՐԱՅԻՆ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ

Նկարագրված է ԶԸ-ների բազմառեժիմ կառավարման միկրոկոնտրոլերային համակարգ, բերված են ԶԸ-ների աշխատանքային ռեժիմների աղյուսակները, նոմոգրամները, ինչպես նաև կառավարման ծրագրի ալգորիթմը:

Առանցքային բառեր. քայլային շարժիչ, փաթույթ, միկրոկոնտրոլեր, սիմուլյատոր, տրամաբանական վերլուծիչ:

V.Sh. HARUTYUNYAN, P.H. SHIRINYAN

MULTIMODE CONTROL OF FIVE-PHASE STEPPER MOTOR BY MICROCONTROLLER

Five-phase STM of the Microcontroller's multimode control system is described. Tables of functional modes STM and an algorithm of control program are given.

Keywords: stepmotor, phase, microcontroller, simulator, logic analyzer.

УДК 21.315

Р.А. ХАЧАТРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАКОНАНОСЯЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭМАЛИРОВАНИЯ ПРОВОДОВ

Рассматриваются вопросы определения параметров лакононосящих устройств для эмалирования проводов в зависимости от реологических свойств лаков. Разработана технология эмалирования проводов с нанесением на проволоку многослойной изоляции.

Ключевые слова: кабель, изометр, лак, растворитель, электрическое напряжение, емкость.

В настоящее время к эмалированным проводам предъявляется целый комплекс требований (по теплостойкости, водостойкости и др.), обеспечить которые могут только современные конструкции данных проводов и применяемых материалов. В ряде случаев при использовании одного типа лака не удастся получить необходимые параметры эмалированных проводов, поэтому следует применять эмалевое покрытие двух и более слоев [1].

Для решения поставленной задачи требуется разработать технологию эмалирования проводов с нанесением на проволоку многослойной эмалевой изоляции. Одним из ключевых вопросов в указанной технологии является разработка нового лакового узла с применением в нем жесткого разъемного калибра.

Целью настоящей работы является разработка нового лакового узла с учетом неньютоновских свойств применяемых лаков с одновременным трехслойным наложением лаковых покрытий на проволоку.

Анализ литературных данных. Для нанесения покрытия на провода в эмальпроизводстве используют два основных метода – пористых обжимов (для тончайших размеров проводов) и жестких круглых калибров (для толстых размеров).

Метод пористых обжимов. Равномерная стабильная толщина каждого отдельного слоя лака и хорошее качество провода зависят не только от характеристики лака, но и, в первую очередь, от лакононосящей системы. При эмалировании проводов тонких и тончайших размеров используют метод пористых обжимов (фетра, замши) и с помощью фитилей. На основе анализа изучения процесса эмалирования методом пористых обжимов получена зависимость толщины лаковой пленки на проволоке от всех основных технологических параметров процесса [2]:

$$\Delta r = \frac{n \gamma k r_{np} W_0^{3.5}}{\left[(1 + B) \alpha + \frac{7 f r_{np}^2}{\ell n p q} W_0^{2.5} \right] \mu U_0}, \quad (1)$$

где n – количество проходов; γ – содержание сухого остатка в лаке; k – прони-

цаемость пористого материала; r_{np} – радиус голой проволоки; W_0 – равномерная насыщенность пористого материала лаком; $W_0=f(h)$ – изменение насыщенности пористого материала; h – расстояние от свободного уровня лака; B – коэффициент Биверса, характеризующий механическую прочность пористого материала; q – постоянная сила тяжести; μ – вязкость лака; U_0 – скорость эмалирования; f – коэффициент, характеризующий геометрию и размеры лакононосящей системы:

$$\hat{f} = \frac{2\pi h}{b} - \ln \left| 1 - \exp 2\pi \frac{r_{np} + \alpha}{b} \right|. \quad (2)$$

Здесь b – расстояние между проходами эмалируемого провода; a – толщина верхнего пористого прижима.

После выбора этих величин, пользуясь зависимостью $\Delta r = f(\ell)$, определяется такая величина, посредством которой можно получить требуемую толщину эмали-слоя (Δr). На основании теоретических и экспериментальных исследований течения жидкого лака в лаковом узле с пористыми обжимами экспериментально установлено более простое уравнение для инженерного расчета по определению толщины эмали-слоя в зависимости от параметров лакового узла [3]:

$$\Delta r = A \frac{nkdy\ell}{\eta_{эфф} U_0}, \quad (3)$$

где Δr – толщина эмалевой изоляции; A – коэффициент (определяется экспериментально); d – диаметр эмалируемой проволоки; γ – сухой остаток лака; ℓ – длина контакта провода с пористым обжимом.

Для высокоскоростного эмалирования большую роль играет инерционность лакового узла, т.е. время между моментом подачи управляющего воздействия и началом реагирования на него толщины получаемой эмаль-пленки [4]. Время t_0 определяется в виде

$$t_0 = \frac{mW\ell h^2}{6r_n \Delta r U_0}, \quad (4)$$

где m – пористость материала; ℓ – ширина обжима; h – расстояние от уровня лака до проволоки.

Метод жестких калибров. Традиционным методом нанесения эмаль-слоя на провода толстых размеров (диаметром 0,1 мм и выше) является эмалирование проводов с применением в лаковых узлах жесткого круглого калибра. В редких случаях применяют также множество других методов, таких как:

- метод вращающихся роликов;
- капиллярный метод;
- использование электрического поля высокого напряжения и процесса электроосаждения для нанесения изоляции на провод и т.д.

Метод вращающихся роликов представляет собой вращение насаженных на вал роликов с одинаковой скоростью, либо одного цилиндра, имеющего "V" – образную выемку, а также плоской пружины, одним концом закрепленной на

опоре, а другим - упирающейся в ролик и образующей с желобом отверстие треугольной формы для прохождения проволоки и контроля толщины наносимого покрытия. Путем изменения скорости эмалирования и скорости вращения роликов можно регулировать толщину эмаль-покрытия. Данный метод имеет некоторые преимущества по сравнению с методом пористых обжимов:

- исключение из лакового узла пористых материалов;
- отсутствие инерционности лакового узла и т.д.

Однако ему присущи также следующие недостатки:

- ограниченность диапазона размеров эмалируемых проводов (диаметром 0.127...0.56 мм);

- электродвигатели, приводящие в движение проволоку и ролики, могут дать погрешность в скорости до 15%, в соответствии с чем происходит изменение толщины лаковой пленки, что делает ее нецелесообразным для широкого применения в производстве эмаль-проводов [3].

Использование капиллярного метода для получения эмаль-покрытий. Капиллярный метод в основном используют в производстве эмаль-проводов тончайших размеров. Две пластины, расположенные параллельно друг другу и образующие узкую щель для поднятия лака, составляют основную часть лакового узла. С целью получения эмаль-покрытия проволоку пропускают через образованный капилляр. Для капилляра в виде цилиндрической трубки получена формула по определению высоты подъема лака через капилляр за время t [5]:

$$h^2 = \frac{r\alpha \cos\theta}{2\eta} t, \quad (5)$$

где r – радиус капилляра, t – время, η – вязкость лака.

Анализ формулы показывает следующие недостатки данного способа наложения изоляции: во-первых, необходимость использования для эмалирования маловязких лаков, а во-вторых, ограничение в скорости эмалирования, поскольку при больших скоростях капилляр не будет успевать заполняться лаком.

В случае, если капилляр имеет форму узкой щели с постоянной толщиной δ , имеем

$$h^2 = \frac{2\alpha \cos\theta}{\delta\rho g} t, \quad (6)$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения жидкости; θ – краевой угол смачивания; ρ – плотность жидкости; g – постоянный коэффициент тяжести лака.

Расчет лакового узла капиллярного типа. Рассмотрим случай, когда лаковый узел используется для эмалирования медной проволоки диаметром 0,020 мм со скоростями $V_1=100$ м/мин, $V_2=10$ м/мин полиуретановым лаком 129 и полиэфирным лаком ПЭ-943. Отметим, что оба лака в настоящее время широко применяются в производстве для эмалирования проводов. Для смачивания стальных пластинок, образующих капилляр, эмаль-лаком прежде всего необходимо выполнение условия $W_{a1} \approx 150 W_{a2}$:

$$W_a = \frac{1}{2} W_k, \quad (7)$$

где W_a – работа адгезии; W_k – работа когезии.

Чем больше относительная работа W_a/W_k , тем лучше происходит смачивание. Необходимым и достаточным условием смачивания является неравенство $\alpha < W_a$. При этом чем ниже α жидкости, тем легче выполняется это условие. Работа адгезии характеризуется взаимодействием двух конденсированных фаз в расчете на единицу площади контакта:

$$W_a = \alpha(1 + \cos\theta). \quad (8)$$

Работа когезии W_k характеризует взаимодействие частиц одной фазы. При изотермическом процессе $W_k = a/2$. В случае выполнения условий (7) и (8) определяем диаметры проволоки, которую можно эмалировать в лаковом узле данной конструкции. При этом должно выполняться условие $W_{a1} = 150 W_{a2}$, где W_{a1} и W_{a2} - работа адгезии в случае контакта эмаль-лака соответственно с металлическими пластинами и медной проволокой. Тогда

$$2S\alpha(1 + \cos\theta) = 1502\pi r_n \ell \alpha(1 + \cos\theta_1), \quad (9)$$

где S - площадь стальной пластинки; r_n - диаметр эмалируемой проволоки; θ_1 - краевого угол смачивания эмаль-лаком медной проволоки.

При условии $\theta \approx \theta_1$ получаем

$$r_n = \frac{1}{150} \cdot \frac{S}{\pi \ell}. \quad (10)$$

Таким образом, диаметр эмалируемой проволоки в лаковом узле капиллярного типа зависит только от геометрических размеров пластин, образующих капилляр. Для капилляра в форме узкой щели имеем максимальную высоту поднятия эмаль-лака:

$$h_0 = \frac{2\alpha \cos\theta}{\delta \rho g}. \quad (11)$$

При внесении в капилляр проволоки высота поднятия эмаль-лака уменьшится и будет равна h . Вес столба жидкости высотой h_0 равен

$$P = \delta b h_0 \rho g, \quad (12)$$

где b - длина металлической пластины.

Вес столба эмаль-лака высотой h равен

$$P' = \delta b h \rho g, \quad (13)$$

где $P - P' = \delta b(h_0 - h)\rho g$ - вес эмаль-лака, уносимого проволокой, но

$P - P' = \rho V_g$; V - объем жидкой пленки эмаль-лака, наносимого на проволоку:

$$V = b\pi(r_{np} - r_n)^2 = b\pi(\Delta r)^2, \quad (14)$$

$$Sgb\pi(\Delta r)^2 = \delta b(h_0 - h)\rho. \quad (15)$$

Отсюда

$$h = \frac{\delta h_0 - \pi(\Delta r)^2}{\delta}. \quad (16)$$

Высота поднятия эмаль-лака по капилляру зависит также от времени (t) и вязкости применяемого эмаль-лака η :

$$h^2 = \frac{\delta \alpha \cos \theta}{2\eta} t. \quad (17)$$

Для круглого калибра получена зависимость

$$\Delta r = r_0 \sqrt{\frac{t^2 - 1}{t^2 - 1}}. \quad (18)$$

где $t = k_0/r_0$.

Расчет разъемного калибра треугольного сечения и определение длины канала калибра. При установившемся изотермическом движении лака в канале калибра, когда отсутствует изменение давления по длине канала, а скорость изменяется только по сечению, уравнение движения сводится к уравнению Лапласа, которое в цилиндрической системе координат имеет вид

$$\frac{\partial^2 U_z}{\partial r^2} + \frac{\partial U_z}{r \partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 U_z}{\partial \phi^2} = 0, \quad (19)$$

со следующими условиями (см. рис.):

$$U_z = 0 \text{ при } r \cos \phi = h_0; \quad U_z = U_0 \text{ при } r = r_0; \quad \left. \frac{\partial U_z}{\partial \phi} \right|_{\phi=0} = 0.$$

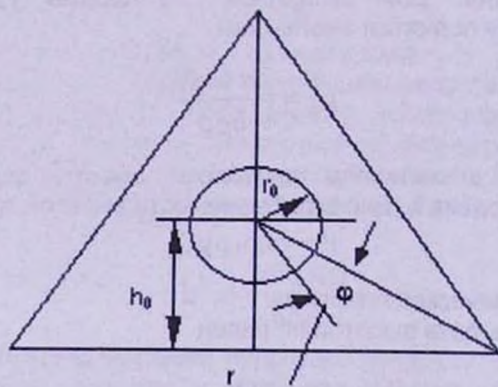


Рис.

Распределение скорости по сечению канала имеет вид

$$U_z = U_0 \left[1 - \alpha \ln \frac{r}{r_0} + \sum_{i=1}^{\infty} R_i(r) P_i(\phi) \right],$$

где $\sum_{i=1}^{\infty} R_i(r) \cdot P_i(\phi)$ - поправка, связанная с изменением геометрии калибра. Для расчета достаточно иметь два числа ряда:

$$U_z = \left\{ 1 - \alpha \ln \frac{r}{r_0} + c_1 \left[\left(\frac{r}{r_0} \right)^2 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] \cos 3\varphi + c_2 \left[\left(\frac{r}{r_0} \right)^3 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 \right] \cos 6\varphi \right\}, \quad (20)$$

где c_1, c_2 – некоторые постоянные, определяемые из граничных условий.

Объемный расход лака равен

$$Q = 6 \int_0^{r^*} \int_0^{\varphi_0} U_z r dr d\varphi = \pi [(r_0 + \Delta r)^2 - r_0^2] U_0, \quad (21)$$

где $r^* = h_0 / \cos \varphi$; левая часть уравнения (21) показывает количество лака, поступающего в канал калибра, а правая часть – количество лака, уносимого движущимся проводом.

Исходя из граничных условий и принимая $h_0 = d/2$ ($d = 0,05$ мм), определяются коэффициенты: $a = 2,15$; $c_1 = 0$; $c_2 = -0,04$. Дифференцируя U_z по r , получим

$$\frac{dU_z}{dr} = U_0 \left[-\frac{a}{2} + c_2 \left(\frac{3r^2}{r_0^2} - \frac{3r_0^2}{r^4} \right) \right] = 52,5 U_0. \quad (22)$$

Эмаль-лаки, являющиеся растворами полимеров, обладают неньютоновскими свойствами. Поэтому при расчете основных параметров калибрующего канала необходимо учитывать указанные их свойства. Основными параметрами калибрующего канала являются его длина (L) и сечение. От длины канала зависит сила натяжения проволоки из-за сопротивления в канале [6]:

$$T = \pi (R^2 - r_0^2) L \tau_{R_z}.$$

где T – сила сопротивления, воздействующая на эмалируемый провод: τ_{R_z} – сдвиговое напряжение лака по направлению оси Z (направление движение провода):

$$\tau_{R_z} = \eta_{эфф} \frac{dU_z}{dr} = \eta_{эфф} 52,5 U_0.$$

Принимая $R = 0,32$ мм, $r_0 = 0,05$ мм, $\eta_{эфф} = 0,48$ Нс/мм², $T = 0,03$ Н/мм² (для меди), получим

$$L = \frac{0,03 \text{ Н/мм}^2}{\pi (0,32^2 - 0,05^2) 0,48 \cdot 52,5} = 13,6 \text{ мм}.$$

Таким образом, определена длина калибрующего канала в зависимости от диаметра эмалируемой проволоки, реологических свойств лака, поперечного сечения калибра и скорости эмалирования.

Выводы

1. Анализ существующих систем лаконаносащих устройств для нанесения лаковых покрытий на проволоку с учетом неньютоновских свойств лаков показал целесообразность использования разъемного жесткого калибра в качестве безынерционного лаконаносащего устройства.

2. Исследованы физика течения тонких слоев неньютоновской жидкости через каналы некруглого сечения, а также вопросы смачивания, растекания,

адгезии эмаль-лака к проволоке и кинетики процесса сушки.

3. Проведены расчеты двух типов лакоаносающих устройств, в результате чего:

а) получена зависимость толщины наносимой эмаль-пленки от параметров лакового узла для жесткого разъемного калибра в зависимости от реологических свойств применяемых лаков, поперечного сечения калибра и скорости эмалирования;

б) показано, что лаковый узел капиллярного типа может работать на полиуретановом лаке 129 и полиэфирном лаке ПЭ-943 при эмалировании медной проволоки диаметром 0,02...0,025 мм со скоростью эмалирования $V=100$ м/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трезвов В.В. Тенденции усовершенствования лаков для производства эмалированных проводов // Кабели и провода. – М., 2001. – С. 9-10.
2. Холодный С.Д., Берсон В.С. Анализ метода нанесения эмаль-лака с помощью обжимов из волокнистых материалов // Электротехническая промышленность. Сер. Кабельная техника. – 1971. – Вып. 73.
3. Хачатрян Р.А. Разработка и исследование основных процессов технологии эмалирования двухжильных цветных микропроводов: Дис... канд.техн.наук. – М., 1989.
4. Тумин И.М. Устройство для изготовления эмалированных проводов. – М., 1981.
5. Хачатрян Р.А. Разработка метода электрического расчета двухжильных водостойких микроэмаль-проводов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2006. – Т. 59, N3. – С. 589-596.
6. Сумм Б.Д. Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия, 1976.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 11.07.2009.

Ռ.Հ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԼԱՐԵՐԻ ԷՄԱԼԱՊԱՏՄԱՆ ՍԱՐԶԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Դիտարկվում են լարերի էմալապատման համար նախատեսված լաքապատող սարքերի պարամետրերի որոշման հարցեր՝ կախված լարի ռելուզիական հատկություններից: Մշակված է լարերի լաքապատման տեխնոլոգիա լարի բազմաշերտ մեկուսացումով:

Առաջադրվող բառեր. մալուխ, մեկուսիչ, լաք, լուծիչ, էլեկտրական լարում, ունակություն:

R.H. KHACHATRYAN

DEFINITION OF LACQUER-SPREADING DEVICE PARAMETER FOR EMANELING WIRES

The problems of defining lacquer-spreading device parameters for emaneling wires are considered. Emaneling wire technology with multilayer emanel isolation spreading on the wire is developed.

Keywords: cable, isolation, lacquer, solvent, electric voltage, capacity.

М.Г. АЗАРЯН

РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОСКОПИРОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ ТУННЕЛЬНО-ТОКОВОМ СТЕНДЕ

Дается краткое описание модифицированной конструкции ранее созданного лабораторного туннельно-токового стенда. Указаны приемы и способы получения с его помощью морфологической картинки поверхности исследуемого образца.

Ключевые слова: зондовый микроскоп, информативный сигнал, электромеханическая конструкция, микрофотографирование, механическое сканирование, позиционирование, программное обеспечение, математическая обработка, программное дублирование отрицательной обратной связи.

Введение и постановка задачи. Научно-исследовательская работа предполагает наличие тех или иных инструментов для измерения величин интересующих параметров и наблюдения их взаимосвязи. Современное понимание природы уже достигло такой черты, что предлагаемые описания некоторых явлений и закономерностей, конечно же, приближенные в той степени, в которой удалось наблюдать их нюансы и особенности, уже недостаточны. Требуется детальное изучение механизмов для более глубокого проникновения в их суть. Результатом такой детализации картины может стать уточнение аналитических зависимостей и формул, отображающих эти процессы. Все это связано с новыми идеями, способами и значительно более сложными схемами измерений. Стенды и устройства, реализующие таковые решения (с использованием результатов последних достижений науки и техники), в конечном итоге воплощаются в виде промышленно изготовленных сложных приборов, комплексов, а подчас и огромных технических сооружений (ускорители элементарных частиц, телескопические системы, выведенные в космос телескопы, лаборатории и т.д.). Вышеизложенное подчеркивает то обстоятельство, что обеспечение необходимой экспериментальной базы для современных исследований связано со значительными финансовыми затратами.

Однако в некоторых случаях даже кажущаяся архисложной и самой "продвинутой" исследовательская техника может создаваться в лабораторных условиях. Помимо значительной экономии финансовых средств, такой подход предоставляет прекрасную возможность для оперативной адаптации измерительного стенда к конкретным задачам – ситуация довольно частая в исследовательской работе. К разряду таких случаев можно отнести и технику зондового микрофотографирования. Логика ее работы настолько проста и "доходчива", что позволила реализовать подобную технику и в центре полупроводниковых приборов и нанотехнологий ЕГУ.

Зондовая микроскопия (ЗМ) [1] позволяет выявлять с субнаномасштабным пространственным разрешением как детали трехмерной морфологии, так и

физико-химические параметры поверхности исследуемого объекта (ИО). С помощью ЗМ имеется уникальная возможность проводить измерения как в газовых средах, так и в жидкостях. Это, в свою очередь, способствует проведению в естественных условиях наномасштабных (на уровне молекул и даже отдельных атомов) исследований объектов и процессов. Более того, ЗМ предоставляет возможность манипулирования отдельными атомами молекулами и формирования нанообъектов на поверхностях твердых тел. Следует отметить, что это, в принципе, недостижимо в электронных микроскопах (требуется непереносное вакуумирование), а для достижения аналогичного пространственного разрешения (причем только по латерали) нужны и высокие энергии пучка (следовательно, говорить о "невозмущающих" измерениях не приходится) [2].

Хотя принципы функционирования ЗМ позволяют проводить исследования и не в вакууме, тем не менее часто необходимо заботиться об изоляции поверхности ИО от "балластных" мешающих атомов и молекул, которые из-за активного взаимодействия с атомами поверхности образца очень скоро покрывают ее "вуалирующим" слоем [3]. Одним из приемов предотвращения "загрязнения" может быть проведение зондирования образца под слоем инертной жидкости, в которую помещен сам образец (если ЗМ туннельная, то жидкость обязательно должна быть непроводящей). Для исследования в жидкой среде необходимо обеспечить такую архитектуру конструкции микроскопа, в которой предметный столик располагается горизонтально, а зонд ориентирован вертикально. Такая конфигурация зонд-поверхность реализована в лабораторном вертикальном туннельно-токовом стенде (ЛВТС) [4]. На основе того, что в электромеханической конструкции ЛВТС изначально были предусмотрены почти все необходимые для туннельного микрокопирования исполнительные узлы [5], было принято решение реализовать такое микрокопирование в нем.

Организация микрокопирования в ЛВТС. Любого типа ЗМ – это объединение электромеханики, электроники и компьютера с соответствующим программным обеспечением. Электромеханическая конструкция (ЭМК) микроскопа – это комплекс исполнительных механизмов, призванных обеспечить осторожный подвод/отвод твердотельного сенсора-зонда ("считывателя" пространственно-локализованной информации) к (от) поверхности ИО и латеральное механическое сканирование им вдоль поверхности с поддержанием заданной величины считываемой информации (это приводит к постоянству зазора зонд/поверхность). Электроника выдает электрические сигналы управления электромеханическими исполнительными механизмами. Компьютер обеспечивает проведение всех операций для получения, в конечном итоге, трехмерного микрокопического изображения распределения "считываемого" параметра. К этим операциям относятся: нужная последовательность подачи всех необходимых сигналов на электромеханику, запоминание считанных сигналов (по оговариваемому условию), их математическая обработка и графическое отображение.

Для реализации всего этого комплекса понадобились модификация некоторых узлов электромеханики ЛВТС, разработка системы вертикального подвода/отвода, доработка электроники и создание для ЛВТС специальной программы, организующей управление всеми особенностями процесса

сканирования зондом поверхности ИО и визуализацию трехмерной морфологии этой поверхности.

Реализацию микрокопирования в ЛВТС иллюстрирует приведенная на рис.1 блок-схема.

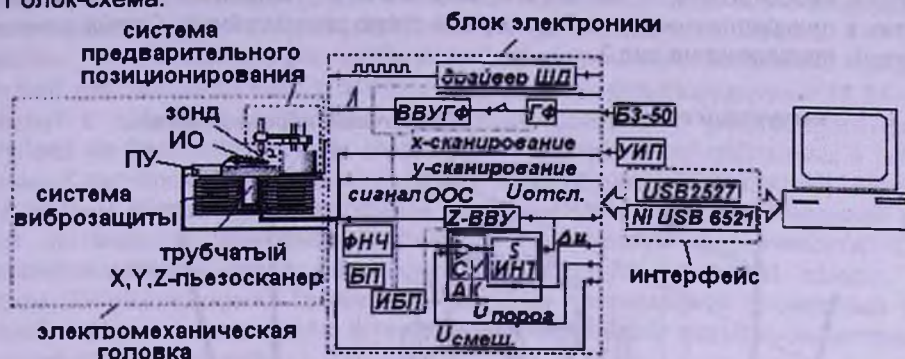


Рис.1. Блок-схема станда, поясняющая организацию зондового микрокопирования на его базе

Электромеханика ЛВТС - это сочетание X,Y,Z-сканера с системой вертикального предварительного прецизионного подвода/отвода зонда к (от) поверхности ИО. Трубчатый X,Y,Z-сканер (фирмы НТ МДТ) покоится на стопке из перемежающихся стальных листов и губчатой резины. В ней имеется прорезь для удобного (и жесткого за счет специальных упругих фиксаторов) встраивания в эту первую ступень виброзащитной системы. На верхней пластине виброгасящей стопки фиксируются преобразователь-усилитель туннельного тока (ПУ) и с помощью постоянного магнита система предварительного вертикального позиционирования - комбинация шагового двигателя (ШД) с инерционным двигателем (ИД) [6]. Магнитное крепление предоставляет возможность свободного предварительного выбора области изучения поверхности ИО (площадки, задаваемой динамическим диапазоном X,Y-сканирования). На подвергаемом X,Y,Z-перемещению верхнем торце сканера, опять-таки магнитно, фиксируется специально разработанный предметный столик с кюветой для жидкости. Столик снабжен упругими контактами, обеспечивающими гальваническую связь ИО с ПУ. Весь этот комплекс и образует ЭМК микроскопа. Она помещена на второй виброгасящей ступени, представляющей собой пластину-столик, висющую на четырех упругих подвесах (металлическая пружинка в сочетании с шелковой нитью), которые крепятся к четырем стойкам, вмонтированным в массивную несущую станину из органического стекла. Снизу к пластине-столику подвешена (на шелковых нитях) еще одна площадка, на которой помещается частично заполняемый жидкостью сосуд (демпфирующая система). Внешний разъем сигнального кабеля расположен на торце несущей станины. Внутренний разъем, связанный с входным, вакуумно-плотный, что обеспечивает герметичность подвода всего комплекса необходимых сигналов к ЭМК. В несущей станине предусмотрены специальные отверстия для возможности, при необходимости, подачи (или откачки) газов под стеклянный вакуумный колокол. Им можно вакуумно-плотно

(отшлифованный торец колокола опирается на поверхность кольца из вакуумной резины) прикрывать ЭМК. Эта возможность, даже без вакуумирующей откачки, обеспечивает удовлетворительную звуко- и термоизоляцию. Наконец, третья ступень виброзащиты — металлическая станина, подвешенная на резиновых жгутах к прикрепленным к лабораторной стене кронштейнам. Схема описанной системы приведена на рис.2.

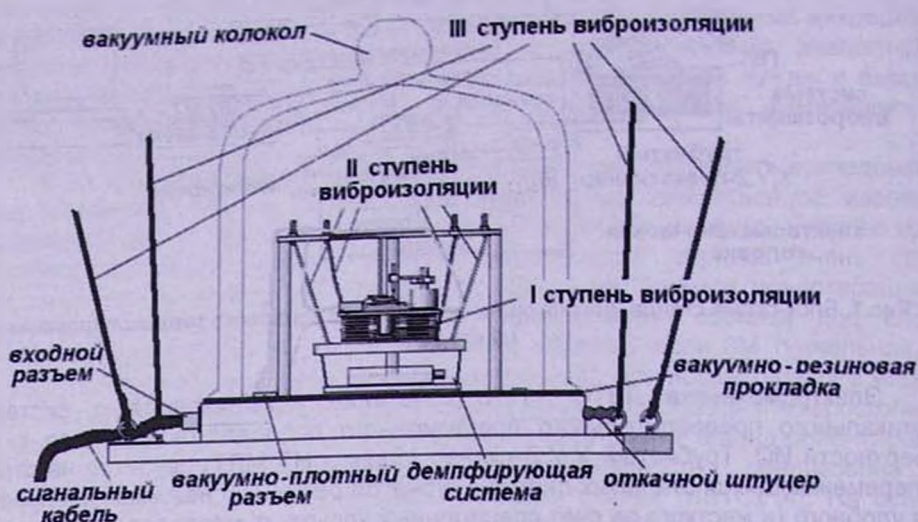


Рис.2. Схема всех трех ступеней виброзащиты

Электронный блок сигналов, управляющих исполнительными элементами ЭК, содержит все узлы аналоговой и цифровой электроники, используемые для организации микрокопирования: компьютерный импульсный блок питания (ИБП); автономный независимый блок питания для ПУ (БП); аналоговый фильтр низких частот (ФНЧ); усилители мощности импульсных сигналов (для драйвера ШД, реле) с цифровых выходов использованных компьютерных карт; автономный микропроцессорный генератор сигналов пилообразной и циклоидальной форм (ГФ) и высоковольтный усилитель этих сигналов (ВВУГФ) для управления ИД; аналоговый контроллер (АК) системы управления отрицательной обратной связью (ООС), в состав которого входят сравнивающее устройство (СУ) и интегратор (ИНТ) (рис.1). Разностный сигнал рассогласования Δu с СУ, поступая на ИНТ, формируется в z-отслеживающий сигнал $U_{отсл.}$. Этот сигнал, усиленный в z-BVU, поступает на z-исполнительный механизм сканера и варьируя величиной туннельного зазора зонд/поверхность (z_T), обеспечивает постоянство величины туннельного тока (I_T), соответствующего заданному пороговому напряжению $U_{порог.}$. Сам этот зазор осуществляет туннельно-токовое замыкание (механическое звено) цепи электромеханической ООС. Сигнал $U_{отсл.}$ служит для "построения" профиля поверхности ИО. Для дублирующего контроля корректности осуществления ООС предусмотрена возможность регистрации сигнала Δu с СУ. Источники опорных напряжений для z-BVU(300В) и ИД-BVU

(400В) независимые (УИП и Б5-50). Управляющее напряжение на X,Y-сканеры поступает с аналоговых выходов компьютерных карт (NI USB-6521 и USB-2527 имеют высокоразрядные аналогово-цифровые и цифроаналоговые преобразователи – АЦП, ЦАП). Максимальные величины X,Y-сканирования ограничиваются предельно выдаваемым напряжением этих каналов ($\pm 10В$). Отметим, что 16-разрядные ЦАП могут обеспечить минимальный средний "прирост" напряжения $\approx 4 мВ$, а это при коэффициенте пьезосканера $\approx 18,24 нм/В$ приводит к "шагу" перемещения $\approx 0,07 нм$. Сигналы с электронного блока поступают на ЭМК посредством экранированных проводов, собранных в гибкий кабель. Сам блок представляет собой металлический корпус, в котором расположены соответствующие слоты для съемных электронных модулей и их блоки питания. Переменные резисторы подстройки устойчивости ООС (сформировавшейся после позиционирования зонда на таком зазоре, при котором ПУ уже начинает "выделять" из шума появившийся туннельный ток), разнообразные переключатели, штекеры и интерфейсные разъемы вынесены на внешнюю сторону корпуса.

Присутствие третьей составляющей части – компьютера – предполагает наличие программной среды. Именно в ней можно задавать всевозможные алгоритмы действий и операций, необходимых для достижения конечной цели. Исследователю может понадобиться многократно вносить разнообразные изменения в "сценарий" эксперимента. Компьютерное управление ходом исследований предоставляет замечательную возможность достижения вышеуказанного, порой, лишь редактированием программы. Следует особо отметить, что этому способствовало использование в описываемом решении легко осваиваемой (неспециалистом в программировании) графической среды программирования LabVIEW.

Некоторые особенности программного обеспечения. Для режима микрофотографирования необходим учет разнообразных предполагаемых и специфичных (из-за природы наномасштабной области и конкретной технической реализации исследований в ней) физических процессов и механизмов, сопровождающих в этом случае функционирование ЛВТС. На рис.3 приведено схематическое изображение организации латерального сканирования туннельно-токовым зондом некоторой площадки ИО.

Первый этап – когда зонд уже позиционирован над исходной (x_0, y_0) точкой на поверхности ИО на расстоянии z_T и обеспечены "захват" туннельного тока и "удержание" системой ОС неизменности этого I_T (т.е. и z_T). Так как поддержание постоянства z_T зависит от шума электрического сигнала, управляющего Z-позиционером, а также неконтролируемых механических подвижек, на которые система ОС "не успевает" должным образом отреагировать, необходимо в каждой точке на траектории перемещения n раз считывать значение напряжения $U_{откл.}$, усреднять и лишь потом запоминать. Отмеченное выше механическое сканирование организуется пошаговым латеральным перемещением столика с образцом относительно X,Y,Z-зафиксированного зонда. В предположении, что каждый конец акта шага-перемещения должен сопровождаться обязательной отработкой "поправки" к изменившемуся зазору (работа системы ОС), затухающим механическим латеральным "дребезгом" и крипом сканера, в программе сканирования предусмотрена временная задержка τ_z для успокоения и стабилизации перед каждым очередным n -кратным считыванием (этап 2).

нулевого значения. Это обусловлено нестабильностью ООС, которая может быть вызвана как помехами и наводками в любом звене цепи ООС, так и появлением в ближайшей окрестности туннельного зазора нестабильных мигрирующих нанообъектов. Последние могут как "блокировать" туннелирование, так и, наоборот, создавать дополнительные (шунтирующие) туннельные каналы, что приводит к нестабильности результирующего туннельного тока, провоцирующей эту неустойчивость ООС.

Таким образом, описанный режим может существенно замедлять темп сканирования, что крайне нежелательно, особенно в туннельно-токовом ЗМ [7].

Для проверки истинности результата микроскопирования необходимо получить изображение поверхности ИО с заранее известной морфологией. Ограничение сканируемой площади, как уже было отмечено выше, величиной напряжения с аналоговых выходов карт резко сужает круг возможных тест-образцов. При максимальном напряжении в 10 В сканируемая площадь будет около $180 \times 180 \text{ нм}^2$. Период имеющейся в лаборатории дифракционной решетки равен 210 нм. Таким образом, получаемая описанным выше способом картинка должна отображать лишь фрагмент периода структуры. В экспериментах чаще получались изображения некоторой наклонной поверхности. Однозначно утверждать, что это изображение наклонной поверхности одного элемента дифракционной решетки невозможно, так как такую же картинку может дать и общий наклон ИО относительно вертикальной оси. Вероятность же того, что ИО удалось укрепить на столике так, что ее поверхность оказалась строго перпендикулярной вертикальной оси, очень мала. Следовательно, "картинка" с такого тест-образца неубедительна. Очевидно, что ИО с известной морфологией должен иметь особенности значительно меньших масштабов. Таковым является пиролитический графит. Хорошо известны параметры его кристаллической решетки. Однако использование такого тест-образца требует реализации атомного пространственного разрешения в измерительном инструменте. Для атомно-масштабного тестирования при проведении измерений необходимо предусмотреть:

- высокую точность поддержания величины зазора величиной в несколько ангстрем (необходимо "выписывать" контуры атомов);
- возможность появления неконтролируемых нарушений зазора (механические колебания зонда, вызываемые как непосредственным взаимодействием самого зонда с звуковыми волнами, так и с "просочившимися" через виброподавляющую систему);
- субатомное латеральное перемещение в каждом "шаге" сканирования (контур нужно построить по нескольким точкам);
- низкое время сканирования (хотя поверхность пирографита достаточно долго остается "атомно незагрязненной", это время все же конечно).

Для обеспечения первого условия было применено описанное "программное дублирование". С учетом второго пункта измерения проводились вечером (относительно низкая зашумленность) под вакуумным колпаком. Третий пункт обеспечивался, как уже отмечено выше, высокочистотой ЦАП. С учетом того, что применение "программного дублирования" предполагает замедление сканирования, для преодоления причины четвертого условия исследуемый пирографит помещался в касторовое масло.

Обсуждение результатов. На рис.4 а,б приведена картинка – результат реализованного в ЛВТС микрофотоирования, а также изображение такой же поверхности пирографита, полученное на сканирующем зондовом микроскопе фирмы НТ МДТ.

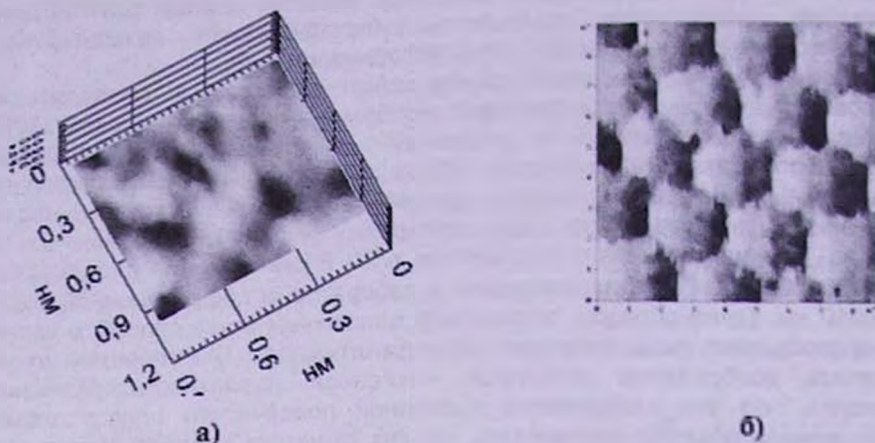


Рис.4. Сравнение картинка, полученной на ЛВСТМ, с СТМ-изображением поверхности того же материала

На рис 4а хорошо заметны структурированность и отчетливая ромбовидная упорядоченность, по крайней мере, пяти "впадин". Согласно приведенной шкале (результат лабораторной калибровки пьезосканера), среднее расстояние между соседними подобными структурами - порядка $0,3 \text{ nm}$. Сравнивая с рис. 4б, легко отметить, что и здесь наблюдаются сотоподобная структурированность и такое же расстояние между образованиями, а рис.4а является как бы фрагментом (площадью $0,9 \cdot 1,2 \text{ nm}^2$) этого изображения. Искажения и нечеткие очертания на "окраине" отсканированной области, возможно, вызваны крипом и некоторой "загрязненностью" поверхности (приведенная картинка - одна из "удачных" среди многих полученных за несколько часов проведения экспериментов как с применением дублирующего режима, так и без него). При наличии системы точного контроля x, y -координат зонда относительно поверхности возможно многократное сканирование одной и той же области ИО. Помимо прочего, такая система должна свести число "проверочных" сканов до $2 \dots 3$, что приведет также к сокращению общего времени получения результативного измерения.

Таким образом, уже на промежуточном этапе решения поставленной задачи имеются веские основания утверждать, что предпринятые меры (система виброзащиты, измерения в жидкой среде, особенности организации процесса сканирования, применение режима "программного дублирования ООС") позволили получить атомное пространственное разрешение в лабораторном стенде.

Достижение в лабораторном стенде далеко нетривиальных результатов (атомное разрешение) является хорошим подтверждением высказанного

относительно введения положения о возможностях лабораторной организации современных, высокоточных экспериментальных исследований. После проведения ряда наноисследовательских экспериментов в рамках поставленной в [5] задачи, не нуждающихся пока в системе точного латерального позиционирования, предполагается разработать такую систему и оснастить ею ЛВТС. Это значительно обогатит арсенал специфичных микрооскопирующих исследовательских средств лабораторного стенда, что будет способствовать его широкому использованию в разнообразных задачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков В.А. Приборы и методы сканирующей зондовой микроскопии для исследований и модификации поверхностей: Дис. ... докт. техн. наук. - М., 2000.
2. Робертсон Б. Современная физика в прикладных науках. - М.: Мир, 1985. - 272. с.
3. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. - М.: ТЕХНОСФЕРА, 2006. - 159 с.
4. К созданию зондового микроскопа сверхвысокого оптического разрешения / М.Г. Азарян, А.А. Лалаян, В.М. Арутюнян, Г.М. Арзуманян и др. // Ядерная физика и нанотехнологии: Сборник статей ОИЯИ. - Дубна, 2008. - С.395.
5. Реализация виртуального обеспечения обратной связи в лабораторном туннельно-токовом стенде / М.Г. Азарян, А.А. Лалаян, Р.В. Саркисян и др. // Международная научно-практическая конференция "Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments". - 2008. - С. 74-78.
6. Азарян М.Г. Комбинированный прецизионный движитель для лабораторных зондовых микроскопов // Нанотехника. - 2008. - N3(15). - С.69.
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / Изд. Институт физики микроструктур РАН. - Нижний Новгород, 2004. - 114 с.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 14.05.2009.

Մ.Հ. ԱԶԱՐՅԱՆ

ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԹՈՒՆԵԼԱ-ՀՈՍԱՆՔԱՅԻՆ ՄՏԵՆԴՈՒՄ ԿԱՌՈՒԹՎԱԾՔԻ
ՄԱՆՐԱԴԻՏՄԱՆ ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄ

Հակիրճ նկարագրվում են նախկինում ստեղծված լաբորատոր թունելա-
հոսանքային ստենդի կառուցվածքի կատարելագործումը և այն տեխնիկական
հնարքները, որոնց կիրառումը ստենդում թույլ է տալիս իրականացնել
հետազոտվող մակերեսի մորֆոլոգիայի մանրադիտումը:

Ստանգրային բաժեր. զոնդային մանրադիտակ, տեղեկության ազդանշան,
էլեկտրամեխանիկական կառուցվածք, մանրադիտում, մեխանիկական լուսածրում,
դիրքաբերում, ծրագրային ապահովում, մաթեմատիկական մշակում, հակադարձ
բացասական կապի ծրագրային կրկնօրինակում:

M.H. AZARYAN

MICROSCOPY WITH THE USE OF LABORATORY TUNNEL-CURRENT STAND

The brief description of the modified construction of the early created laboratory
tunnel-current stand is given. The receptions and ways for getting the morphological
picture of a surface of the sample investigated with its help are shown. The
approachability of the atomic spatial resolution with the use of the advanced device in
laboratory conditions is provided by illustration of the most impressing result.

Keywords: probe microscope, informative signal, electromechanical
construction, microscopy, mechanical scanning, positioning, software, mathematical
processing, program duplication of a negative feedback.

О.А. ГОМЦЯН, Б.Ф. БАДАЛЯН

СЛОЖНЫЕ КОДИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

При проектировании современных телекоммуникационных систем одной из важнейших проблем является обеспечение высокой достоверности передачи информации. Наиболее эффективным методом решения данной задачи является применение корректирующих кодов и сложных кодирующих систем. Рассматриваются различные методы коррекции ошибок, сложные кодирующие системы и оцениваются характеристики этих систем.

Ключевые слова: каналы связи, помехоустойчивое кодирование, дельта-модуляция, сверточные коды, каскадные коды, перемежитель, турбокоды.

Простейшие алгебраические двоичные коды могут успешно применяться для передачи информации в компьютерных сетях связи, обеспечивая необходимую надежность. Это объясняется достаточно высоким качеством проводных и оптоволоконных каналов связи и возможностью переспроса передаваемой информации (понятно, что если мы соединили два компьютера кабелем и переписываем данные с одного диска на другой, то помехи здесь минимальные). Задача кодирования для таких каналов, в основном, сводится только к обнаружению независимых ошибок или пакетов ошибок.

Все многообразие современных коммуникационных линий связи не ограничивается только компьютерными сетями. В настоящее время происходит интенсивное развитие таких цифровых систем связи, как космическая, спутниковая, мобильная и др. Все эти системы используют для передачи беспроводные каналы, в которых на сигнал действуют помехи различной физической природы. Здесь уже переспросы данных не допустимы и корректирующая способность кода определяется только максимальным числом исправляемых ошибок. Предельная мощность передаваемого сигнала в таких каналах жестко ограничивается, что приводит к высокой вероятности возникновения как независимых ошибок, так и пакетов ошибок. Использование в подобных каналах простейших двоичных кодов, например кодов Хемминга, не имеет смысла. Необходимо искать новые методы решения проблемы обеспечения высокой достоверности передаваемой информации.

Ключевым этапом в развитии теории кодирования является появление каскадных кодов, в основе построения которых лежит идея использования нескольких ступеней кодирования [1].

Широкое применение в различных системах связи нашли каскадные схемы кодирования с внешними кодами Рида-Соломона и внутренними сверточными кодами. В таких системах даже при наличии пакетов ошибок весь каскадный код в подавляющем большинстве случаев декодируется правильно.

Нами создана компьютерная модель каскадной схемы, в которой в качестве внешней кодирующей системы служит кодек линейной дельта-

модуляции, а в качестве внутренней - кодер Рида-Соломона [2,3]. Эта каскадная система является достаточно простой с точки зрения как практической, так и программной реализации, поскольку для метода дельта-модуляции требуется только один бит, указывающий на направление изменения амплитуды. Кроме того, коды Рида-Соломона широко используются в технике связи и для их декодирования уже существуют достаточно простые алгоритмы [4]. В схеме использованы также сверточные и спиральные перемежители, которые предназначены для разбиения пакетов ошибок, в результате чего достигается высокая достоверность передаваемой информации.

На рис. 1 представлены зависимости вероятности появления ошибочных битов BER на выходе декодера от уровня шума канала E_b/N_0 для некоторых методов коррекции ошибок. Данные зависимости получены с помощью инструментальных средств Communication Toolboxes и Communication Blocksets компьютерной программы MATLAB 7.5 для случая работы в канале с аддитивным белым гауссовским шумом.

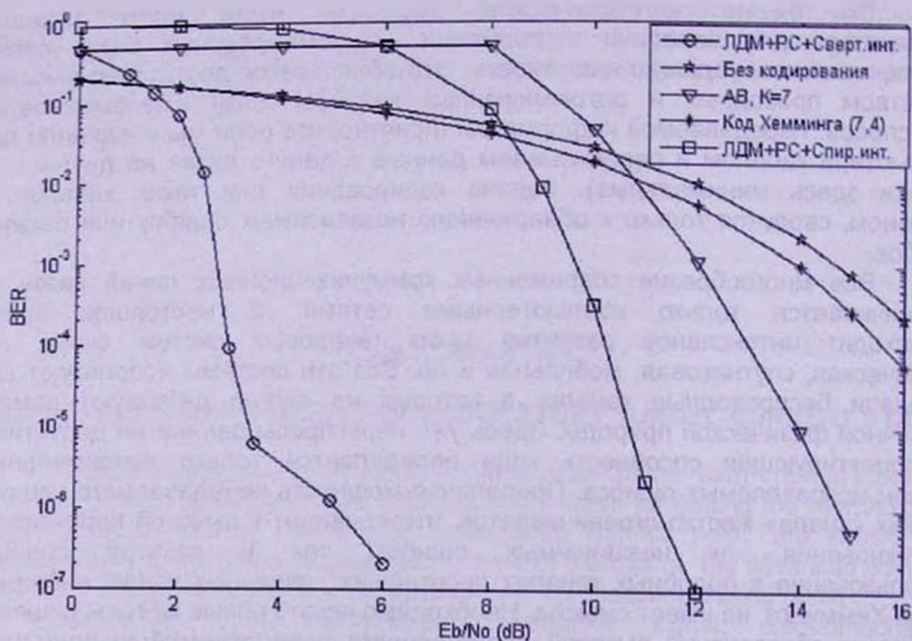


Рис. 1. Оценка эффективности различных методов коррекции ошибок

На рисунке кривая «АВ, K=7» отражает эффективность применения классического алгоритма Витерби (АВ) для декодирования сверточных кодов с длиной кодового ограничения K=7 [5]. Данный метод является оптимальным, однако его сложность растет экспоненциально с ростом длины K, и поэтому на практике декодеры с K>9 не применяются. Поскольку при использовании кодов с $K \leq 9$ эффективность АВ оказывается невысокой, возникает

необходимость поиска более простых с точки зрения практической реализации декодеров.

Дальнейшим развитием каскадных кодов стали турбокоды, образующиеся путем каскадирования двух или более составляющих кодов. Первые турбокоды, предложенные Бери и соавторами в [6], состояли из двух параллельно соединенных через перемежитель сверточных кодов.

На рис. 2 представлены характеристики последовательного турбокода с конструктивной длиной составляющих сверточных кодов $K=3$, псевдослучайным перемежителем и шестью итерациями декодирования [7].

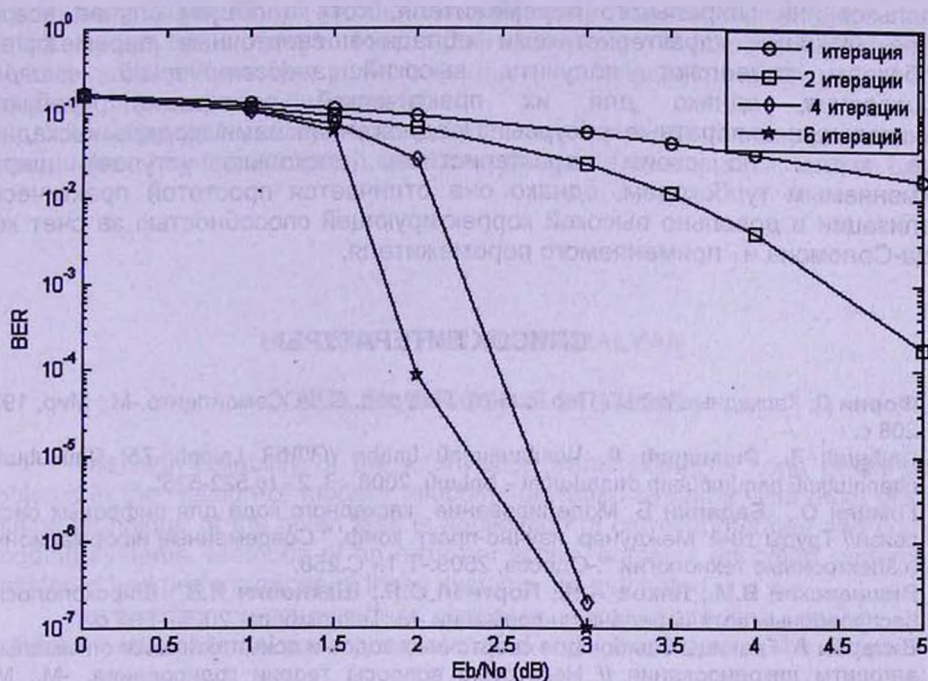


Рис.2. Оценка эффективности турбокода при использовании различного числа итераций декодирования

Как видно из рисунка, турбокод обладает довольно хорошими корректирующими способностями. Однако главная проблема турбокодов состоит в следующем. Авторы этого метода заменили процесс сопоставления экспоненциально большого числа потенциальных решений (т. е. допустимых кодовых слов), например в метрике Хемминга, на процедуры не прямых косвенных оценок расстояний [8]. Эта замена оценок основных параметров на косвенные оказалась весьма дорогой платой. Кроме того, такую совсем непростую итеративную процедуру требуется проводить $I = 5...50$ раз. Это, конечно же, очень много. Число операций на бит для турбокодов составляет

от нескольких тысяч до 10000 операций. Обобщая ранее сказанное, можно отметить, что основная проблема турбокодов - это слишком большой объем вычислений.

В результате исследования наиболее известных методов коррекции ошибок можно отметить, что все они имеют свои достоинства, и недостатки, а также свою сферу применения. Например, коды Хемминга могут успешно применяться в компьютерных сетях, однако обладают невысокой корректирующей способностью. Как видно из рис. 1, предложенная нами каскадная схема кодирования гораздо эффективнее при борьбе с ошибками, чем код Хемминга и алгоритм декодирования Витерби, даже при использовании спирального перемежителя, хотя в общем случае все же более лучшими характеристиками обладают сверточные перемежители. Турбокоды позволяют получить высокий энергетический выигрыш кодирования, однако для их практической реализации требуются значительные аппаратные ресурсы. Предложенная нами модель каскадного кода, хотя по своим характеристикам несколько уступает широко применяемым турбокодам, однако она отличается простотой практической реализации и довольно высокой корректирующей способностью за счет кода Рида-Соломона и применяемого перемежителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форми Д. Каскадные коды / Пер. с англ; Под ред. С. И. Самойленко.-М.: Мир, 1970.- 208 с.
2. Փոփոխական Հ., Բադալյան Բ. Կասկադային կոդեր // ԳԴԵՀ Լրագիր-75: Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2008.- Դ. 2.- էջ 522-525:
3. Гомцян О., Бадалян Б. Моделирование каскадного кода для цифровых систем связи// Труды 10-й Междунар. научно-практ. конф. "Современные информационные и электронные технологии".-Одесса, 2009.-Т.1.- С.258.
4. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации.-М.:Техносфера, 2005. -592 с.
5. Витерби А. Границы ошибок для сверточных кодов и асимптотически оптимальный алгоритм декодирования // Некоторые вопросы теории кодирования. -М.: Мир, 1970.- С. 142-165.
6. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes // Proc. of the Intern. Conf. on Commun.- Geneva, Switzerland, 1993.- P. 1064—1070.
7. Бадалян Б. Компьютерная модель турбокода // Вестник - 76 ГИУА (Политехник): Сборник научных и методических статей.- Ереван, 2009.- Т.1. - С. 358-362.
8. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник / Под ред. чл.- корр. РАН Ю.Б. Зубарева.- М.: Горячая Линия-Телеком, 2004.-126 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.07.2009.

Հ.Ա. ԳՈՄՏՅԱՆ, Բ.Ֆ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ

ԲԱՐՂ ԿՈՂԱՎՈՐՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Ժամանակակից հեռահաղորդակցության համակարգերի նախագծման կարևորագույն խնդիրներից է ինֆորմացիայի հաղորդման բարձր հուսալիության ապահովումը: Տվյալ խնդրի լուծման առավել արդյունավետ մեթոդներից է շտկող կոդերի և բարդ կոդավորող համակարգերի կիրառումը: Դիտարկվում են սխալների շտկման տարբեր մեթոդներ, բարդ կոդավորող համակարգեր, գնահատվում է այդ համակարգերի արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. կապուղիներ, աղմկակայուն կոդավորում, դելտա-մոդուլյացիա, փաթեթային կոդեր, կասկադային կոդեր, ինտերլիվեռ, տուրբո կոդեր:

H.A.GOMTSYAN, B.F.BADALYAN

COMPLEX ENCODING SYSTEMS

The high reliability of the information transmission is one of the major problems in the design of modern telecommunication systems. The most effective solution technique of the given task is application of correcting codes and complex encoding systems. Methods of an error correction, complex encoding systems are considered and performances of these systems are estimated.

Keywords: communication channels, error correcting coding, delta-modulation, convolutional codes, concatenated code, interleaver, turbo codes.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԻՅՅԱՆ Գ.Ս., ՄԱՅԱՂՅԱՆ Կ.Կ. ԷԼԵԿՏՐՈՂԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՕԺԱՆԴԱԿ ԱՐԳԵԼԱԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱԿԵՏՈՒԹՅԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԱԿՈՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ	363
ԱՂԱՍԼՅԱՆ Ս.Գ., ՄԱՅԱՂՅԱՆ Տ.Ն. ՀՐԱՄՈՒՐ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒԿԱԾՔՆԵՐԻ ՏԱՔ ԱՐՏԱՄԱՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՓՈՐՁԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	367
ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ Գ.Ց., ՄԻՐԱԿԱՆՅԱՆ Մ.Ա., ԱՆՏՈՆՅԱՆ Է.Է., ԿՈՏԻԿՅԱՆ Ս.ՅՈՒ., ԹՈՐՈՍՅԱՆ Ա.Թ. ՄՈՂԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՄՈՐԲԵՆՏՆԵՐԻ ՆԵՐԿԱԿԼԱՆՄԱՆ ՕՐԻՆԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՄՈՐԲԱՅԻՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ	377
ՕՐԴԱՆՅԱՆ Ս.Ս., ՎԻՆՄԱՆ Ս.Վ., ԲԱՅՉՈՒԿ Ա.Վ., ՀՈՎՍԵԹՅԱՆ Ա.Հ. ՎՈԼՖՐԱՄԻ ԴԻՍԻԼԻՑԻՆԻ ՀԵՏ ԴԺՎԱՐԱՀԱԼ ԿԱՐԲՈՂՆԵՐԻ $Me^{IV}C$ ՓՈԽԱԶՂԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ	386
ՍԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ՄՈՍԱՍՍԵՄ Մ.Խ., ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ Դ.Լ. ՈՍԿԵՏԱՐ $Cu/Zn/Pb$ ՄՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹՅՑ ԲԱԶԱՅԻՆ ՄԵՏԱԴՆԵՐԻ ԿՈՐԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ	394
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Վ.Գ., ՄԱՅԱՂՅԱՆ Տ.Լ. ԹՈՐԻՈՒՄ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ ՎԱՌԵԼԻՔԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՋՐԱ-ՋՐԱՅԻՆ ԷԼԵՐԳԵՏԻԿ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐՈՒՄ՝ ՊԼՈՒՏՈՆԻՈՒՄԻ ԵՎ ՀԱՐՍԱՑՎԱԾ ՈՒՐԱՆԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ	402
ՂԱՎԻՂՅԱՆ Ժ.Դ., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Օ.Գ. ՄԻՆԵՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐՈՎԱՐԺԻԶՆԵՐԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԻՄՊՈՒՆԱՅԻՆ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ	409
ՄԱՅԱՂՅԱՆ Վ.Ս. ԱՍԻՆԶՐՈՆ ՄԵՔՆԱՅԻ ԷԼԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒ- ԹՅՈՒՆԸ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄՈՒՄ	417
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Վ.Ը., ԸԻՐԻՆՅԱՆ Պ.Հ. ՀԻՆԳՓԱԹՈՒՅԹ ԶԱՅԼԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻԶԻ ԲԱԶՄԱՌԵԺԻՄ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՄԻԿՐՈԿՈՆՏՐՈՒԼԵՐԱՅԻՆ ՍԱՐՔԱԿՈՐՈՒՄ	426
ԽԱԶԱՏՐՅԱՆ Ռ.Հ. ԼԱՐԵՐԻ ԷՄԱԼԱՊԱՏՄԱՆ ՍԱՐՔԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ	434
ԱԶԱՐՅԱՆ Մ.Հ. ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ԹՈՒՆԵԼԱ-ՀՈՍԱՆՔԱՅԻՆ ՄՏԵՆԴՈՒՄ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՄԱՆՐԱԴԻՏՄԱՆ ԻՐԱԿԱՆԱՅՈՒՄ	442
ԳՈՄՅՅԱՆ Հ.Ա., ԲԱՂԱՆՅԱՆ Բ.Յ. ԲԱՐԴ ԿՈՂԱԿՈՐՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ	452

СОДЕРЖАНИЕ

ЕРИЦЯН Г.С., САЯДЯН К.К. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ПУТЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	363
АГБАЛЯН С.Г., САФАРЯН Т.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИИ ЖАРОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ	367
ВАРДЕРЕСЯН Г.Ц., СИРАКАНЯН М.А., АНТОНЯН Э.Э., КОТИКЯН С.Ю., ТОРОСЯН А.Т. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И МЕХАНИЗМА СОРБЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ СОРБЕНТАМИ	377
ОРДАНЬЯН С.С., ВИХМАН С.В., БАЙЧУК А.В., ОВСЕПЯН А.О. О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДИСИЛИЦИДА ВОЛЬФРАМА С ТУГОПЛАВКИМИ КАРБИДАМИ $Me^{IV}C$	386
САРГСЯН Л.Е., МОАТАСЕМ М.Х., ТОВМАСЯН Д.Л. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БАЗОВЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО $Cu/Zn/Pb$ СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА	394
ПЕТРОСЯН В.Г., САФАРЯН Т.Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА В ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛУТОНИЯ И ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО УРАНА	402
ДАВИДЯН Ж.Д., ГЕВОРГЯН О.Г. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	409
САФАРЯН В.С. АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ	417
АРУТЮНЯН В.Ш., ШИРИНЯН П.А. МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УСТРОЙСТВО МНОГОРЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЯТИФАЗНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	426
ХАЧАТРЯН Р.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАКОНАНОСЯЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭМАЛИРОВАНИЯ ПРОВОДОВ	434
АЗАРЯН М.Г. РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОСКОПИРОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ ТУННЕЛЬНО-ТОКОВОМ СТЕНДЕ	442
ГОМЦЯН О.А., БАДАЛЯН Б.Ф. СЛОЖНЫЕ КОДИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ	452

CONTENTS

YERITSYAN G.S., SAYADYAN K.K. ESTIMATION OF ELECTRODYNAMIC AUXILIARY BRAKE SYSTEM OF OVERALL PERFORMANCE PARAMETERS BY MATHEMATICAL MODELLING	363
AGHBALYAN S.G., SAFARYAN T.N. EXPERIMENTAL RESEARCH OF HOT EXTRUSION OF HEAT RESISTING ALUMINIUM POWDER ALLOYS	367
VARDERESYAN G.C., SIRAKANYAN M.A., ANTONYAN E.E., KOTIKYAN S.YU., TOROSYAN A.T. INVESTIGATION OF SORPTION PIGMENT RULES AND MECHANISMS OF COMPOSITE MODIFIED SORBENTS	377
ORDANYAN S.S., VIKHMAN S.V., BAYCHUK A.V., HOVSEPYAN A.H. ON INTERACTION OF TUNGSTEN DISILICIDE WITH HIGH-MELTING CARBIDES $Me^{IV}C$	386
SARGSYAN L.YE., MOATASEM M.KH., TOVMASYAN D.L. STUDY OF THE PROCESS TO RECOVER BASE METALS FROM GOLD- BEARING Cu/Zn/Pb-SULPHIDE CONCENTRATE.....	394
PETROSYAN V.G., SAFARYAN T.L. THORIUM OXIDE FUEL USE IN WWER TYPE NUCLEAR REACTORS WITH UTILIZATION OF ENRICHED URANIUM AND PLUTONIUM	402
DAVIDYAN J.D., GEVORGYAN O.G. MATHEMATICAL MODEL OF PULSE SPEED CONTROL FOR SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS	409
SAFARYAN V.S. ANALYSIS OF POWER PROCESSES OF ASYNCHRONOUS MACHINE IN STABILIZED MODE	417
HARUTYUNYAN V.Sh., SHIRINYAN P.H. MULTIMODE CONTROL OF FIVE-PHASE STEPPER MOTOR BY MICROCONTROLLER	426
KHACHATRYAN R.H. DEFINITION OF LACQUER-SPREADING DEVICE PARAMETER FOR EMANELLING WIRES	434
AZARYAN M.H. MICROSCOPY WITH THE USE OF LABORATORY TUNNEL-CURRENT STAND	442
GOMTSYAN H.A., BADALYAN B.F. COMPLEX ENCODING SYSTEMS	452