

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editor-in-Chief), **H.A. TERZIAN** (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 ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

և ձևավորումը՝

Համակարգչային շարվածքը

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ

**ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԾԱԿՈՏԿԵԼ
ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում հիմնավորվել է տաք արտամղման գործընթացի առավելությունը ամրանավորված անծակոտկեն կոմպոզիցիոն փոշեհամաձուլվածքների ստացման համար: Սահմանվել են ամրանավորված փոշեհամաձուլվածքների տաք արտամղման հիմնական օրինաչափությունները և կառուցվածքային քայքայման մեխանիզմը: Ցույց է տրվել, որ տաք արտամղումը միակ եղանակն է անծակոտկեն փոշեհամաձուլվածքների ստացման համար, որի դեպքում թելքերի դեֆորմացիան դրական է ազդում կոմպոզիցիոն նյութի մեխանիկական հատկությունների վրա:

Առանցքային բառեր. կոմպոզիցիոն նյութ, մետաղափոշի, թելք, մայրակ, ծակոտկենություն, տաք արտամղում, դեֆորմացիա, փոշեհամաձուլվածք, ֆրակտոգրամա, ամրություն, կարծրություն:

Կոմպոզիցիոն նյութերն (ԿՆ) անիզոտրոպ են և նրանց անիզոտրոպիայի աստիճանը կախված է առաջին հերթին թելքերի կողմնորոշվածությունից: Առավելագույն մեխանիկական հատկությունները ստացվում են այն դեպքում, երբ բոլոր թելքերը միմյանց զուգահեռ են և դասավորված են կիրառված լարման ուղղությամբ: Մայրակի հարաբերական երկարացումը պետք է առնվազն հավասար լինի թելքերի հարաբերական երկարացմանը, որպեսզի ապահովվի համակարգի մոնոտոնությունը [1]:

ԿՆ հիմնական հատկությունները գլխավորապես կախված են թելքերի հատկություններից և թելք-մայրակ անցումային շերտի ամրությունից: Հայտնի է, որ տրված տրամագծի և թելքի որոշակի ծավալային պարունակության դեպքում դիսկրետ թելքերի դեպքում ԿՆ ամրությունը այնքան ավելի բարձր է, որքան երկար է թելքը, սակայն այն չի գերազանցում անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի ամրության 90% [1]: Սակայն, չնայած դրան, համալիր հատկությունների ստացման և տեխնոլոգիական նպատակահարմարության տեսակետից հեռանկարային են դիսկրետ թելքերով ԿՆ-երը:

Որպես ամրանավորող բաղադրամաս օգտագործվող թելքերը պետք է օժտված լինեն հետևյալ հատկություններով՝ հալման բարձր ջերմաստիճանով, ցածր տեսակարար կշռով, բանվորական ջերմաստիճանների ամբողջ միջակայքում բարձր ամրությամբ, մայրակի մեջ նվազագույն լուծվելիությամբ, բավարար քիմիական կայունությամբ, բանվորական ջերմաստիճանների միջակայքում ֆազային փոխակերպումների, ինչպես նաև պատրաստման և շահագործման ընթացքում տոքսիկության բացակայությամբ:

Թելքերով ամրանավորման գլխավոր նպատակը լարումներն իրենց վրա կրելն է, իսկ մայրակը փոխանցում է լարումները թելքերին և բաշխում նրանց միջև:

Ելնելով տեսական և փորձագիտական հետազոտությունների վերլուծությունից [2 - 5], կատարվել են հետազոտություններ՝ տաք արտամղման միջոցով պղնձի հիմքով և պողպատյա թելքերով ամրանավորված բարձրամուր կոմպոզիցիոն նյութեր ստանալու

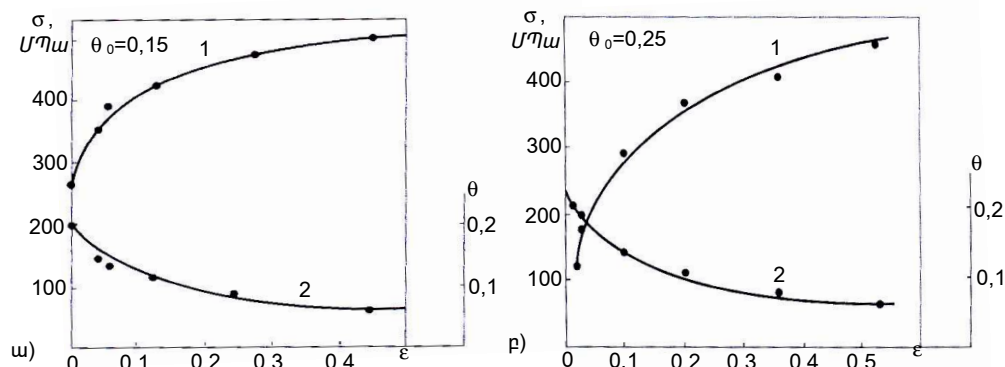
համար, որոնք կարող են ծառայել որպես մայրակ՝ չոր շփման պայմաններում աշխատող հակաշփական նյութերի համար:

Նմուշները պատրաստելու համար որպես ելանյութեր օգտագործվել են $\text{PMC}-1$ մակնիշի էլեկտրոլիտիկ պղնձի, $\text{ПНЭ}-1$ մակնիշի էլեկտրոլիտիկ նիկելի փոշիներ և $I_0=20$ մմ երկարությամբ X18H9T մակնիշի պողպատյա թելքեր ($d=280$ մկմ): Բովախառնուրդից երկկողմանի մամլմաբ պատրաստվել են գլանական նմուշներ ($D=40$ մմ, $H=50$ մմ, $\theta=10, 15, 20, 25, 30\%$): Ջրածնի միջավայրում $900\dots 950^\circ\text{C}$ և $1,5$ ժամ պահելուց հետո նմուշները ենթարկվել են տաք արտամղման՝ մայրակի $2\alpha_{\text{մ}}=110^\circ$ և $\lambda=4$ արտամղման գործակցով:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ ինչքան փոքր է թելքերի I_0/d_0 հարաբերությունը, այնքան հեշտ է իրականացվում փոշի-թելք բովախառնուրդի պատրաստումը:

Քանի որ $I_0/d_0=20\dots 30$ դեպքում վերանում է բարդ «քեչայացման» աշխատատար օպերացիան, այդ իսկ պատճառով բովախառնուրդը պատրաստվել է սովորական խառնիչներում: Եվս մեկ նշանակալի առանձնահատկություն՝ որքան փոքր է I_0/d_0 հարաբերությունը, այնքան հեշտ է իրականացվում թելքի կողմնորոշումը տաք արտամղման ուղղությամբ: Վրջապես, տաք արտամղման ընթացքում թելքերի երկարացումը բավականաչափ փոքրացնում է թելքերի տրամագիծը: Դա մի կողմից բարձրացնում է նրա ամրությունը, իսկ մյուս կողմից թույլ է տալիս օգտագործել մեծ տրամագծերի մետաղալարեր, որոնք ավելի էժան են, և հեշտ է կատարել չափակտրում [3]:

Նմուշները (գլանական և տափակ) փորձարկվել են միառանցք սեղմման պայմաններում և ըստ փորձերի արդյունքների կառուցվել են սեղմման դիագրամները (նկ. 1), որոնք բնութագրում են ամրության կախվածությունները $(\sigma-\varepsilon)$ և $(\theta-\varepsilon)$ կոորդինատներում՝ կախված նախնական ծակոտկենությունից: Ինչպես և սպասվում էր, կորերի բնույթը ինչպես գլանական, այնպես էլ տափակ նմուշների համար նույնն է:



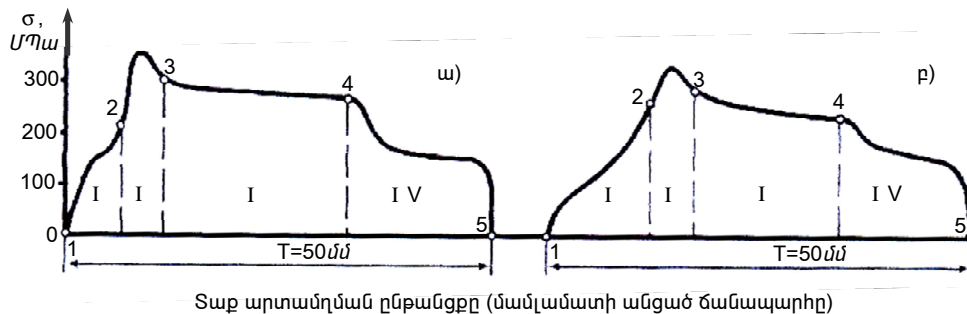
Նկ.1. Տափակ (ա) և գլանական (բ) նմուշների սեղմման փորձարկման ժամանակ ծակոտկենության փոփոխության դիագրամները $\ell/d=80$ դեպքում.

1- $(\sigma - \varepsilon)$ կոորդինատներում, 2- $(\theta - \varepsilon)$ կոորդինատներում

Հետազոտությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշների (գլանական և տափակ) մնացորդային ծակոտկենությունը $\theta_0=15\%$ դեպքում ավելի ցածր է, քան

$\theta_0 = 25\%$ դեպքում: Նման օրինաչափություն տեղի ունի ինչպես խտացման ստատիկ [6, 7], այնպես էլ իմպուլսային [8] եղանակների դեպքում: Դա նշանակում է, որ անծակոտկեն կառուցվածքների ստացման համար ավելի նպատակահարմար է ելային նախապատրաստվածքները խտացնել նվազագույն ծակոտկենությամբ:

Նախապատրաստվածքների սկզբնական ծակոտկենության փոքրացումով սեղմման կորերը ձգտում են նմանվել հոծ նյութերի դեֆորմացման դիագրամին, հատկապես երբ ծակոտկենությունը ձգտում է զրոյի: Այս օրինաչափությունը նկարագրվում է դեֆորմացման դիագրամներով, որոնք ցույց են տրված նկ. 2-ում, ինչը հաստատում է ծակոտկեն մարմինների պլաստիկության տեսության կիրառելիությունը կոմպոզիցիոն նյութերի համար, ինչպես նաև կատարված փորձերի ճշտությունը:



Տաք արտամղման ընթանցքը (մամլամատի անցած ճանապարհը)

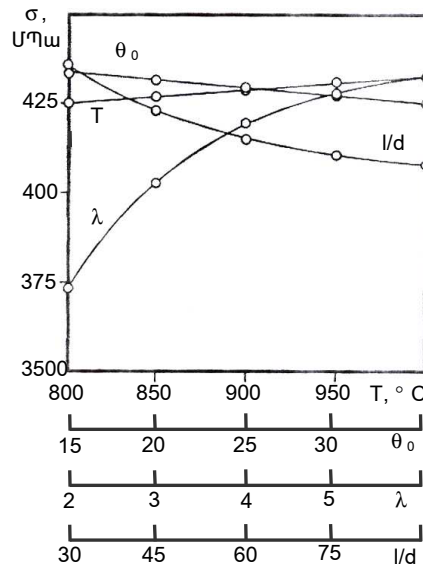
Նկ. 2. X18H9T թելքերի (ա) և Cu-Ni համաձուլվածքի (բ) տաք արտամղման P_0 ճնշման տիպային օսցիլոգրամները

Տաք արտամղման ուժային և տեխնոլոգիական պարամետրերի միջև քանակական կախվածությունների ուսումնասիրությունները կատարվել են թելքավոր (X18H9T), պղինձ-նիկել համաձուլվածքի փոշու և պողպատյա թելքերի (X18H9T) կոմպոզիցիայի վրա:

Թելքավոր և փոշեհամաձուլվածքի տաք արտամղման դինամիկայի համեմատական ուսումնասիրությունը չի արձանագրել որևէ տարբերություն: Նկ. 2-ում ցույց են տրված տաք արտամղման ժամանակ ճնշման տիպային օսցիլոգրամները: Տաք արտամղման ճիգերը (P_0 II և III հատվածներ) թելքավոր կոմպոզիցիայի մոտ փոքր-ինչ բարձր են ($P_0=380$ և 320 ՄՊա), քան Cu-Ni համաձուլվածքի մոտ ($P_0=280$ և 230 ՄՊա): Որոշակի հետաքրքրություն են ներկայացնում կոմպոզիցիոն նյութերի տաք արտամղման դիագրամները, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ թելքերի ծավալային բաժնի մեծացումով տեղի է ունենում տաք արտամղման ճիգի օրինաչափ աճ:

Հիմնական պարամետրերի (θ_0 , ℓ/d , λ) օպտիմալացման հետ կապված՝ փորձերը կատարվել են քառսային կերպով կողմնորոշված պողպատե թելքերով (X18H9T) ամրանավորված Cu-Ni համաձուլվածքի փոշուց պատրաստված նախապատրաստվածքների վրա: Պարամետրերի միաժամանակյա ազդեցության բնույթը և աստիճանը որոշվել են 2^4 տիպի փորձերի գործոնների փոփոխման մաթեմատիկական պլանավորման եղանակով: Նկ. 3-ում ցույց է տրված տաք արտամղման ենթարկված կոմպոզիցիոն նյութերի ամրության կախվածությունը հիմնական գործոններից: Ինչպես և սպասվում էր, սահմանափակող գործոնը արտամղման λ գործակիցն է: Նրա մեծացումով կտրուկ աճում են մեխանիկական հատկությունները, այն է՝ σ_d և HB: Առավելագույն

արժեքների նրանք հասնում են $\lambda=5\ldots 6$ դեպքում: I/d մեծացումով (>30) թելքերի կողմնորոշումը տաք արտամղման ուղղությամբ լրջորեն դանդաղում է: Թելքավոր պողպատից պատրաստված նմուշների համար σ_d և HB-ն գրեթե նույնն են մնում I/d բոլոր հարաբերությունների համար: Դա վկայում է այն մասին, որ մետաղական թելքերի տաք արտամղման ժամանակ, թելքերի խճճման պատճառով, նրանց կողմնորոշում տեղի չի ունենում: Հետևաբար, կողմնորոշումը հնարավոր է միայն փոշեմայրակի մեջ թելքերի հավասարաչափ բաշխման դեպքում և երբ $\ell \gg d$:

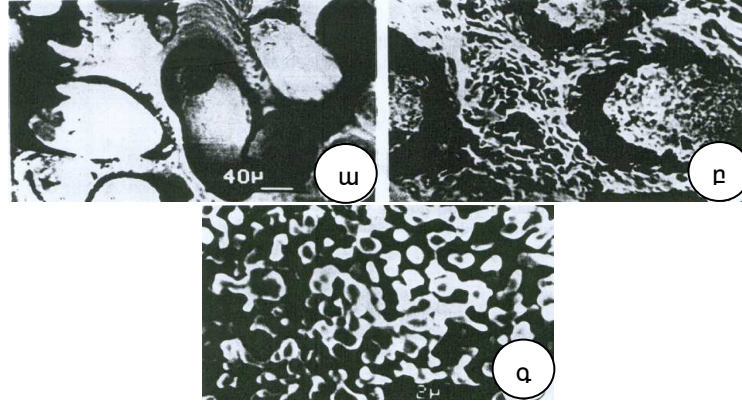


Նկ.3. Նմուշների ամրության կախվածությունը հիմնական գործոններից

Ժամանակակից մետաղագիտությունը մեծ ուշադրություն է դարձնում կոտրվածքների կառուցվածքի ուսումնասիրությանը (ֆրակտոգրամ), քանի որ այն կարևոր տեղեկատվություն է տալիս նյութի կառուցվածքային քայքայման մեխանիզմի մասին [9, 10]: Այդ իսկ պատճառով ուսումնասիրվել է X18H9T մակնիշի պողպատե թելքերով ($V_{\text{ծավ}}=25\%$, $d=0,28$ մմ, $I/d=20$) ամրանավորված պղնձի հիմքով կոմպոզիցիոն նյութերի քայքայման բնույթը: Կոտրվածքները ստացվել են $10 \times 10 \times 55$ մմ չափսի, $2,0$ մմ խորության կտրվածքով և $2,5$ մմ կլորացման շառավղով նախապատրաստվածքների հարվածային քայքայման արդյունքում:

Cu-Ni-X18H9T կոմպոզիցիաների կոտրվածքների ֆրակտոգրամները ցույց են տալիս, որ կառուցվածքում գոյություն ունի ամրանավորող ֆազի կողմնորոշվածություն, հավասարաչափ բաշխվածություն և փափուկ մայրակի հետ ամուր կապ: Նկ. 4-ում ընտրված հատվածը ցույց է տալիս քայքայված թելքեր, որոնց ծայրերը գտնվում են մոտավորապես մայրակի կտրման հարթությունում (նկ. 4բ): Բուն թելքի կառուցվածքը քայքայումից հետո հավասարաչափ հատիկավոր է, առանց խանգարումների (նկ. 4գ): Բարդ տեսքի կոտրման աստիճանները հավում են սակավաթիվ ֆասետների հետ: Հատիկասահմանային ֆասետները կողմնորոշված են դեֆորմացնող լարումների առանցքի նկատմամբ որոշակի անկյան տակ:

Այսպիսով, համաձուլվածքի քայքայման բնույթն առաջին հերթին բնորոշվում է լարվածա-դեֆորմացիոն վիճակում ամրանավորող նյութի վարքով: Կոդմնորոշ-



Նկ.4. Նյութի հարվածային քայքայման մակերեսը.

ա - մայրակի մեջ թելքերի բաշխվածությունը (x50), բ - նույնը՝ մեծացնելիս (x250),
գ - թելքի կառուցվածքը (x2500)

վածությունը և մայրակի հետ թելքերի կապակցման ամրությունը խոչընդոտում են թելքերի վրա վզիկների առաջացմանն ու զարգացմանը, ինչը բարենպաստ պայմաններ է ստեղծում ամբողջ թելքի երկայնքով հավասարաչափ պլաստիկ դեֆորմացիայի զարգացման համար: Այստեղից հետևում է, որ թելքերի հատկություններն օգտագործվում են 100%-ով: Դրանով են որոշվում ամրանավորված համաձուլվածքների բարձր մեխանիկական հատկությունները: Այս եզրակացությունը հաստատվում է նաև նրանով, որ ֆրակտոգրամներից ոչ մեկի վրա չեն հայտնաբերվել մայրակի միջից պոկված թելքեր:

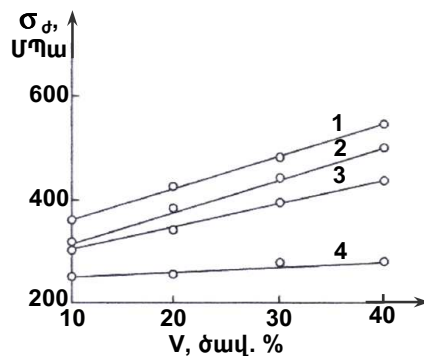
Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը (նկ. 5), կոմպոզիցիոն նյութերի ամրությունը բոլոր ջերմաստիճաններում գծայնորեն կախված է թելքերի ծավալային պարունակությունից (մինչև 40 ծավ.%) և համընկնում է ադդիտիվության օրենքի հետ [1, 11], որը նկարագրվում է

$$(\sigma_{\sigma})_u = (\sigma_{\sigma})_t \cdot V_t \cdot \left[1 - (1 - \beta) \frac{L_{qn}}{L} \right] + \sigma_{\sigma} (1 - V_t), \quad 1 \geq V_t \geq V_{qn}, \quad (1)$$

$$(\sigma_{\sigma})_u = (\sigma_{\sigma})_{\sigma} \left((1 - V_t) + \frac{L_{qn}}{L} \beta V_t \right) (\sigma_{\sigma})_t, \quad 0 \leq V_t \leq V_{qn} \quad (2)$$

հավասարությամբ, որտեղ β – ն մեկից ցածր գործակից է, I-ը՝ թելքի երկարությունը:

Այս հավասարության մեջ մտնող σ_{σ} լարումը կոմպոզիցիոն նյութի քայքայման պահին մայրակի նյութի հոսունության սահմանն է: Արժեքները վերցվել են լարում-դեֆորմացիա գրաֆիկից: Նկ. 5-ի ուղիղների էքստրապոլացիան մինչև $V_{\text{ծավ}}=100\%$ տալիս է կոմպոզիցիայում թելքերի հարաբերական ամրությունը: Այսպես, 20°C-ում պողպատե լարերի ամրությունը կոմպոզիցիայում կազմում է 1400 ՄՊա: Համեմատելով ստացված տվյալները ելային լարերի ամրության հետ, հարկ է նշել, որ տաք արտամղված կոմպոզիցիոն նյութերում 100% իրացվում է թրծված պողպատի ամրությունը (1450 ՄՊա):



Նկ.5. X18H9T մակնիշի պողպատե թելքերով ամրանավորված պղնձի հիմքով կոմպոզիցիոն նյութերի ձգման ամրության կախվածությունը թելքերի ծավալային պարունակությունից (1-20°C, 2-100°C, 3-200°C, 4-300°C)

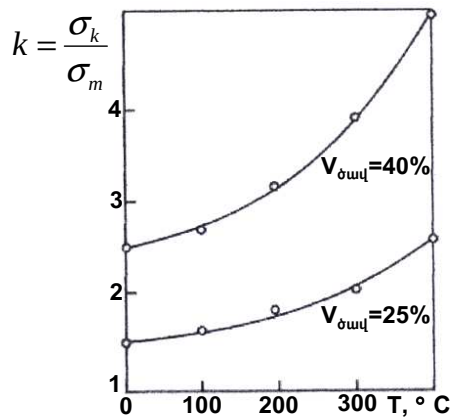
Բացի դրանից, տաք արտամղումն ամրանավորված նյութերի կոմպակտավորման միակ եղանակն է, որի ժամանակ թելքերի դեֆորմացիան (որպես կանոն երկարացումը) դրական է ազդում կոմպոզիցիայի ամրության վրա: Եվ որքան մեծ է դեֆորմացիայի աստիճանը, այնքան մեծ է ստացվում կոմպոզիցիայի ամրությունը [3]:

Ձգման ժամանակ մայրակի ամրության մեծացումը կարելի է նկարագրել ամրացման k գործակցով, որը տվյալ ջերմաստիճանում ԿՆ ամրության հարաբերությունն է մայրակի ամրությանը: k ամրացման գործակցի ջերմաստիճանային կախվածությունը խոսում է այն բանի մասին, որ k արժեքը աճում է թելքերի ծավալային պարունակության մեծացումով և փորձարկման ջերմաստիճանի աճով (նկ. 6): Որքան ցածր է մայրակի ամրությունը, այնքան մեծ է k արժեքը:

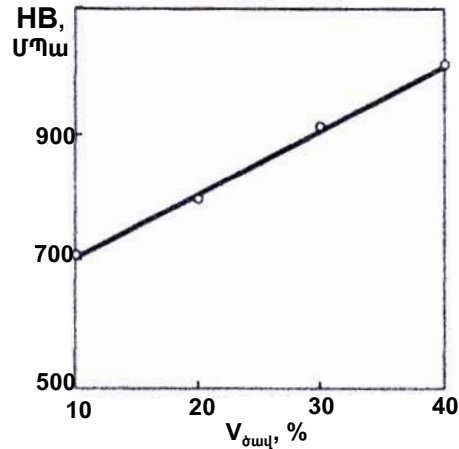
Ստացված տվյալները վկայում են ամրանավորման արդյունավետության մասին:

Թելքերի կոդմնորոշումը որոշում է ձգման ժամանակ ԿՆ քայքայման բնույթը: Կոդմնորոշման փոքր անկյունների դեպքում ԿՆ քայքայվում է առավելապես թելքերի պոկման հաշվին, մեծ անկյունների դեպքում ԿՆ քայքայումը տեղի է ունենում ըստ մայրակի սահքի, թելքերը չեն քայքայվում և նրանց բարձր ամրությունը չի օգտագործվում: Դա ևս մեկ անգամ հաստատում է տաք արտամղման արդյունավետությունը, որի ընթացքում ամրանավորող ֆազը հիմնականում կոդմնորոշվում է ազդող ուժերի ուղղությամբ: Հետևաբար, որքան ավելի մեծ է կոդմնորոշված թելքերի մասնաբաժինը, այնքան ավելի բարձր են կոմպոզիցիոն նյութի մեխանիկական հատկությունները:

Ինչպես արդեն նշվել է, ԿՆ ամրությունը կախված է նաև բուն թելքերի ամրությունից: Դա պարզ երևում է նկար 5-ից: Նմանատիպ օրինաչափությունը պահպանվում է նաև կարծրության համար (նկ. 7), թեև այս դեպքում ավելի ցայտուն, քան σ_{ϕ} -ի համար, զգացվում է բուն մայրակի ազդեցությունը: Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, մետաղաթելերի ծավալային պարունակության մեծացումով փոքրանում է հարվածային մածուցիկությունը:



Նկ.6. Մայրակի ամրացման գործակցի կախվածությունը ջերմաստիճանից



Նկ.7. Կոմպոզիցիոն նյութի կարծրության կախվածությունը թելքերի ծավալային պարունակությունից

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Современные композиционные материалы / Под.ред. **Л.Браутмана** и **Р.Крока**. -М.: Мир, 1970.-672с.
2. **Աղբալյան Ս.Գ.** Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.-Ереван, 1992.-33с.
3. **Աղբալյան Ս.Գ., Սետրոյան Ա.Ս., Ամալյան Է.Ս., Վասիլյան Գ.Ա.** Порошковые композиционные материалы, упрочненные волокнами //Порошковая металлургия.-Киев, 2000.-№11-12.-С.66-72.
4. Металлографическое исследование армированных композиционных материалов на основе железа и меди, полученных экструзией / **Ս.Գ. Աղբալյան, Ա.Ս. Սետրոյան, Է.Ս. Ամալյան** и др. // Порошковая металлургия.-Киев, 2004.- №9-10.-С.38-42.
5. **Աղբալյան Ս.Գ., Սետրոյան Ա.Ս., Հովհաննիսյան Ս.Ա., Վասիլյան Գ.Ա.** Ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեխնիկան և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրագրեր.- Երևան, 2009.- Հատոր 6.- №1.-էջ 73 - 77:
6. **Грин Р.Д.** Теория пластичности пористых тел//Периодический сборник переводов иностранных статей.-М.: Механика, 1973.- №4.-С.109-120.
7. **Манукян Н.В., Петросян Г.Л., Погосян М.З.** Диаграмма деформирования пористого материала // Изв.вузов.Машиностроение.-1978.- №3.-С.16-20.
8. Напряженно-деформированное состояние пористых композиционных материалов при сжатии / **Н.В.Манукян, Г.Л.Петросян, Б.Ц.Минасян** и др.// Порошковая металлургия.-1982.- №1.-С.84-88.
9. **Браун М.П.** Фрактография, прокаливаемость и свойства сплавов.-Киев.: Наукова Думка, 1966.- 312с.
10. Приборы и методы физического металловедения. Выпуск 2 / Под.ред. **Ф.Вейнберга**. -М.: Мир, 1974.-363с.
11. **Ванин Г.А., Грошева В.М., Дебновечкая Е.Н.** Композиционные материалы волокнистого строения.-Киев: Наукова Думка, 1970.-403с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 01.02.2009:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.С. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ АРМИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

В результате комплексных исследований обосновано преимущество процесса горячей экструзии для получения беспористых армированных композиционных порошковых сплавов. Установлены основные закономерности горячей экструзии армированных порошковых сплавов и механизм разрушения структуры. Показано, что горячая экструзия – единственный метод получения беспористых порошковых сплавов, при котором деформация волокон положительно влияет на прочностные свойства композиционного материала.

Ключевые слова: композиционный материал, металлический порошок, волокно, матрица, пористость, горячая экструзия, деформация, порошковый сплав, фрактограмма, прочность, твердость.

S.G. AGHBALYAN, A.A. PETROSYAN, A.S. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN

RESEARCH OF THE REINFORCED POROUS POWDER ALLOYS DEFORMATION PROCESS ON THE BASIS OF COPPER

As a result of complex researches, advantage of hot extrusion process for reception of the non-porous reinforced composite powder alloys is proved. The basic laws of the reinforced powder alloy hot extrusion and the mechanism of structure destruction are established. It is shown that hot extrusion is a unique method of non-porous powder alloy obtaining at which deformation of fibres positively influences strengthening properties of a composite material

Keywords: composite material, metal powder, fibre, matrix, porosity, hot extrusion, deformation, powder alloy, fractograph, durability, hardness.

Ա.Հ. ԱԲՈՅԱՆ, Ա. Ա. ԽԶԱՐԶՅԱՆ, Ս. Զ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ա. Թ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

**ՌԵՆՏԳԵՆԱՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ
ՏԵՍԱՆԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՔԱՌԱԲՅՈՒՐԵՂ
ՊՈԼԻԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓՈՎ**

Փորձնականորեն հետազոտված է քառաբյուրեղ պոլիինտերֆերաչափից ստացված ռենտգենյան ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիությունը՝ կախված ինտերֆերենցող ալիքների ամպլիտուդների (ինտենսիվությունների) տարբերությունից: Ցույց է տրված, որ ինտերֆերենցող ալիքների ամպլիտուդների տարբերության փոքրացման հետ ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիությունը մեծանում է: Իրական տեսանելիությունը միշտ իր տեսական արժեքից փոքր է: Հայտնաբերված է, որ փնջերի փակման հետևանքով վերադրվող ալիքների ինտենսիվության փոփոխման դեպքում փոխվում է ոչ միայն ինտերֆերենցիոն պատկերի տեսանելիությունը, այլ նաև մուարի պատկերների ձևը:

Առանցքային բառեր. բազմապատիկ ինտերֆերաչափ, ինտերֆերենցիոն պատկեր, մուարի պատկեր, ինտենսիվություն, տեսանելիություն:

1. Ներածություն: Հայտնի է, որ ռենտգենահինտերֆերաչափական պատկերների տեսանելիությունը կախված է ինչպես ինտերֆերենցող ալիքների ամպլիտուդների տարբերությունից, այնպես էլ ինտերֆերաչափական համակարգերի բյուրեղների որակից [1,2]:

Ռենտգենահինտերֆերաչափական պատկերները շատ զգայուն են բյուրեղների կառուցվածքային խանգարումների նկատմամբ, որոնք ինտերֆերենցիոն համակարգերի բաղկացուցիչ մասերն են [3]:

Եթե ռենտգենահինտերֆերաչափական մեթոդներով մեծ լուծաչափությամբ կարելի է հայտնաբերել միջհարթությունային հեռավորությունների և անդրադարձնող հարթությունների կողմնորոշումների աննշան տարբերությունները, ապա այդ մեթոդներով կետային արատների միջին խտությունների և դրանց տարբեր կուտակումների գնահատումը բավականին դժվար խնդիր է: Ներկա ժամանակում այս խնդիրը շատ հրատապ է, քանի որ միկրոէլեկտրոնիկայի և կիսահաղորդչային սարքերի արտադրության մեջ օգտագործվում են առանց դիսլոկացիաների բյուրեղներ, որոնք պարունակում են տարբեր խտության կետային արատներ:

Ըստ էության, այս խնդիրը կարելի է լուծել դիֆուզիոն ցրման ինտենսիվության կամ ռենտգենյան ինտերֆերաչափերով ստացվող ռենտգենյան մուարի պատկերների տեսանելիության հետազոտությամբ, քանի որ միկրոարատների խտության մեծացումը բերում է մուարի պատկերների տեսանելիության փոքրացման: Այդ հրատապ հիմնախնդրի լուծման համար մշակվել է բյուրեղներում ռադիացիոն (կետային) արատների խտության որոշման ռենտգենահինտերֆերաչափական մեթոդ [4]:

Աշխատանքի նպատակն է հետազոտել ռենտգենյան ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության կախումը կետային արատների խտությունից և դրանց միկրոկուտակումներից:

Ռենտգենահիստերֆերաչափական պատկերների տեսանելիության կախվածությունը կետային արատների խտությունից միարժեքորեն մեկնաբանելու համար առաջին հերթին անհրաժեշտ է հետազոտել տեսանելիության կախվածությունը վերադրվող ալիքների ամպլիտուդների տարբերությունից և առանձին միկրոարատներից, որն էլ կատարված է այս աշխատանքում:

2. Երկու հարթ ալիքների վերադրման դեպքում ստացվող ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության հետազոտությունը: Եթե ալիքների զրգոված տատանումների փուլերի տարբերությունը ժամանակի ընթացքում մնում է հաստատուն, ալիքները կոչվում են կոհերենտ [5,6]: Ինտերֆերենցող ալիքների միջև փուլերի տարբերության հաստատուն լինելու պահանջը պայմանավորված է ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության համար անհրաժեշտ ժամանակի ընթացքում վերջինների կայունությամբ, որպեսզի չփոփոխվեն ինտերֆերենցիոն մաքսիմումների և մինիմումների տեղերը: Ալիքների միջև փուլերի տարբերության հաստատուն լինելու պահանջն իրականացվում է միայն, եթե՝ ա) դրանց հաճախությունները միատեսակ են, բ) փուլերի տարբերությունը ժամանակից կախված չէ, գ) ունեն միատեսակ բևեռացում, դ) ամպլիտուդները հաստատուն են:

Ինտերֆերենցիոն պատկերների որակը բնութագրելու համար մտցվում է տեսանելիության V պարամետրը [4,7]

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (1)$$

որտեղ $I_{\max}$ -ը և $I_{\min}$ -ը համապատասխանաբար ինտերֆերենցիոն շերտերի մաքսիմումների և մինիմումների ինտենսիվություններն են: (1)-ից հետևում է, որ $I_{\min} = 0$ -ի դեպքում տեսանելիությունը հասնում է մինչև 100%-ի: Սակայն իրականում ինտերֆերենցող ալիքները խիստ մեներանգ չեն, ուստի հարյուր տոկոսանոց տեսանելիություն չի կարող ստացվել: Պարզ է, որ այն կախված է ոչ միայն մեներանգությունից, այլ նաև ինտերֆերենցող ալիքների ամպլիտուդներից: Իրոք, երկճառագայթային ինտերֆերենցիայի դեպքում $I_{\max}$ -ը և $I_{\min}$ -ը համեմատական են համապատասխանաբար հետևյալ մեծություններին. $(A_1 + A_2)^2$ և $(A_1 - A_2)^2$, որտեղ A_1 -ը և A_2 -ը ինտերֆերենցող ալիքների ամպլիտուդներն են: Եթե $A_1 \gg A_2$ կամ $A_1 \ll A_2$, ապա տեսանելիությունը պետք է 0-ից աննշան տարբերվի:

Այսպիսով, նույնիսկ ինտերֆերենցող ալիքների միջև փուլերի տարբերության հաստատուն մնալու դեպքում տեսանելիությունը չի հասնում 100%-ի, եթե ամպլիտուդները հավասար չեն:

Ամպլիտուդների տարբերության մեծացմամբ տեսանելիությունը փոքրանում է, իսկ մեծ տարբերությունների դեպքում ինտերֆերենցիոն պատկերը չի դիտվում:

Ռենտգենյան ինտերֆերաչափության զարգացմանը զուգընթաց, ինտերֆերենցիոն պատկերների որակը, կախված տարբեր գործոններից, ռենտգենյան տիրույթում կարևոր նշանակություն է ձեռք բերում:

Վերադրվող ալիքների ինտենսիվություններից ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության կախվածության հետազոտման գլխավոր խոչնդոտը տարբեր ամպլիտուդներով, բայց միատեսակ փուլերով կոհերենտ ալիքներ ստանալու

դժվարությունն է: Իհարկե, ռենտգենյան փնջի ինտենսիվությունը մենք կարող ենք փոխել կլանիչի օգնությամբ՝ այն տեղադրելով փնջերից մեկի ճանապարհին, սակայն կլանիչը առաջացնում է լրացուցիչ փուլերի տարբերություն, որն իր հերթին փոխում է տեսանելիությունը: Հեշտ կարելի է համոզվել, որ այդ նպատակի համար կարող է ծառայել [8] աշխատանքում նկարագրված քառաբյուրեղ ինտերֆերաչափերի տարբերակներից մեկը:

Նշված գործոնների ուսումնասիրությունները կապված են հետևյալ դժվարությունների հետ.

ա) վերադրվող փնջերը պետք է լինեն ոչ միայն համասեռ, այլև կոհերենտ: Դրա համար էլ այդպիսի հետազոտությունները, հավանաբար, կարելի է կատարել միայն իդեալական ինտերֆերաչափերի օգնությամբ:

բ) խիստ ասած, իդեալական ինտերֆերաչափերի ստեղծումը գործնականում անհնար է: Կարելի է ստեղծել համարյա իդեալական բյուրեղներով, համարյա իդեալական երկրաչափությամբ ինտերֆերաչափեր, բայց անդրադարձնող հարթությունների միջհարթությունային հեռավորությունների աննշան տարբերություններով և միմյանց նկատմամբ նրանց աննշան պտույտներով պայմանավորված մուարի պատկերներից խուսափելը գործնականորեն անհնար է:

Ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության ինտերֆերենցող ալիքների ինտենսիվությունների տարբերությունից կախվածության ուսումնասիրությունը հատկապես կարևոր է պոլիինտերֆերաչափերի գործնական կիրառման համար:

3. Ռենտգենաինտերֆերենցիոն շերտերի տեսանելիության փորձարարական հետազոտությունը: Ինտերֆերենցիոն շերտերի տեսանելիության տարբեր գործոններից կախվածության փորձարարական հետազոտությունների համար հարմար է օգտվել կրկնակի կամ եռակի քառաբյուրեղ ինտերֆերաչափերից:

Անդրադարձնող հարթությունների միևնույն ընտանիքից ստացվող տեղագրերն ու ինտերֆերագրերը չեն տալիս հետազոտվող բյուրեղի անկատարելությունների լրիվ պատկերը: Այդ պատճառով բյուրեղների դեֆորմացիոն վիճակի լիարժեք նկարագրման համար անհրաժեշտ է ստանալ նույն բյուրեղի արատագիրը գոնե երկու կամ երեք կողմնորոշումով տարբերվող հարթությունների ընտանիքների օգնությամբ: Այսպիսով, առաջանում է բյուրեղների անկատարելության ռենտգենյան դիֆրակցիոն լրիվ տարածաչափական տեղագրության մշակման անհրաժեշտություն: [9,10] աշխատանքներում առաջարկված է բյուրեղների դեֆորմացիոն դաշտը ավելի լրիվ նկարագրող նոր ինտերֆերաչափական եղանակ: Նպատակն իրագործվում է բազմապատիկ ինտերֆերաչափերի օգնությամբ:

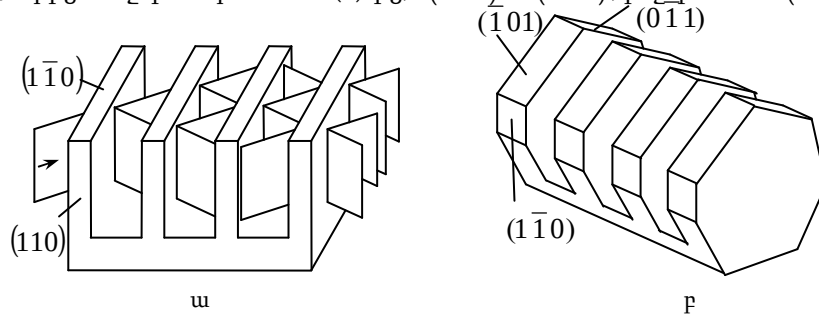
Կրկնակի ինտերֆերաչափերի համար (սիմետրիկ համարժեք անդրադարձնող հարթությունների երկու ընտանիք) հարմար է օգտվել (110) և $(\bar{1}\bar{1}0)$ ընտանիքներից:

Ինչպես ցույց է տալիս

$$\cos \alpha = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)^{1/2} (h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)^{1/2}} \quad (2)$$

բանաձևը խորանարդային սինգոնիայի դեպքում (110) և $(\bar{1}\bar{1}0)$ հարթությունների միջև եղած α անկյունը 90° է (նկ. 1ա):

Եռապատիկ ինտերֆերաչափի համար (երեք սիմետրիկ համարժեք անդրադարձնող հարթությունների ընտանիքներ) հարմար է օգտվել $(1\bar{1}0)$, $(0\bar{1}1)$, $(\bar{1}01)$ ընտանիքներից: Ինչպես երևում է (2)-ից, $(1\bar{1}0)$ և $(0\bar{1}1)$, ինչպես նաև $(0\bar{1}1)$ և



Նկ. 1. Բազմապատիկ ինտերֆերաչափեր
ա - քառաբյուրեղ կրկնակի ինտերֆերաչափ
բ - քառաբյուրեղ եռակի ինտերֆերաչափ

$(\bar{1}01)$ սիմետրիկ համարժեք հարթությունների միջև ընկած α անկյունը 60° է (նկ. 1բ): Դժվար չէ համոզվել, որ իդեալական բյուրեղներում անդրադարձնող հարթությունների այդպիսի ընտրությունն ապահովում է խորանարդային սինգոնիայի այդ ընտանիքների ինտեգրալ ինտենսիվությունների բոլոր գործոնների միատեսակությունը:

Միևնույն ընկնող փնջի և ընտանիքների այդպիսի կողմնորոշման դեպքում նրանց ինտեգրալ ինտենսիվությունները կարող են տարբերվել միայն այդ ընտանիքների տարբեր կողմնորոշումներով անդրադարձնող հարթությունների նկատմամբ արատների առկայության պատճառով:

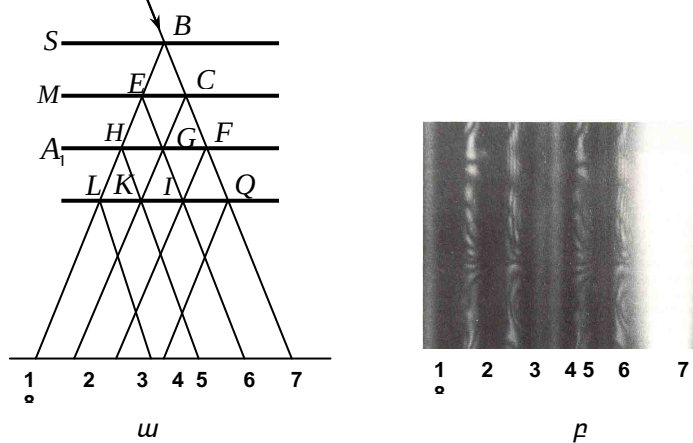
Այդպիսի ինտերֆերաչափերի առավելությունները դրսևորվում են հետևյալ հետազոտություններում.

1. Ինտերֆերաչափի բազմաբյուրեղությունը հնարավորություն է տալիս անդրադարձնող հարթությունների միևնույն ընտանիքի օգնությամբ ինտերֆերաչափի միևնույն կողմնորոշման դեպքում հետազոտություններ կատարել մի քանի բաղադրյալ ինտերֆերաչափերում: Ինչպես կտեսնենք ստորև, առաջարկվող ինտերֆերաչափերը ոչ միայն բազմապատիկ, այլև՝ պոլիինտերֆերաչափեր են, և նրա տվյալ կողմնորոշման դեպքում գործում են միաժամանակ՝ երեք եռաբյուրեղ և երկու քառաբյուրեղ ինտերֆերաչափեր: Դա հնարավորություն է տալիս՝ նախ՝ հետազոտել միևնույն արատն առանց նրա կողմնորոշման փոփոխության, անդրադարձնող հարթությունների միևնույն ընտանիքին պատկանող տարբեր ինտերֆերաչափերի օգնությամբ: Երկրորդ՝ տարբեր դիֆրակցված փնջերի փակման օգնությամբ կարելի է հետազոտել տարբեր ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության կախումն ինտերֆերենցվող ալիքների ամպլիտուդների տարբերությունից:

2. Ինտերֆերաչափի բազմապատիկությունը հնարավորություն է տալիս հետազոտել ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիության կախումն անդրադարձնող հարթությունների նկատմամբ արատների կողմնորոշումից և այդպիսով գաղափար

կազմել տարածության մեջ գծային արատների կողմնորոշումների և կետային արատների տեղաբաշխման մասին:

Իրոք, նկ. 1ա և 1բ-ում ցույց տրված ինտերֆերաչափերը պատկերվում ինտերֆերաչափերի բյուրեղների մեծ մակերևույթներին ուղղահայաց առանցքի շուրջը, դրանք կարող են բերվել սիմետրիկ համարժեք հարթությունների $(1\bar{1}0)$, $(0\bar{1}1)$ և $(\bar{1}01)$ ընտանիքներից որևէ մեկի նկատմամբ անդրադարձման դիրքի և հետագոտվել բյուրեղներում արատների դիֆրակցիոն պատկերների տեսանելիության կախումը անդրադարձնող հարթությունների ընտանիքների կողմնորոշումից: Նկ. 2ա-ում ցույց է տրված ճառագայթների ընթացքը եռակի քառաբյուրեղ ինտերֆերաչափում, որի հարևան բյուրեղների միջև հեռավորությունները նույնն են: Ուշադիր զննումը ցույց է տալիս, որ այդպիսի պոլիինտերֆերաչափում միաժամանակ կարող են աշխատել երեք եռաբյուրեղ $(BCGEB)$, $(CFIGC)$, $(EGKHE)$ և երկու քառաբյուրեղ $(BCFIGEB)$ և $(BCGKHEB)$ ինտերֆերաչափեր, ընդ որում, դիֆրակցվող



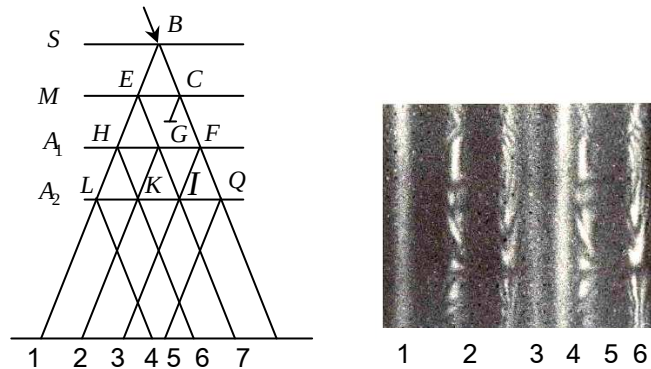
Նկ. 2. ա - ճառագայթների ընթացքը քառաբյուրեղ ինտերֆերաչափում

բ - ինտերֆերենցիոն պատկերները՝ առանց EG և CG փնջերի ալիքների վերադրում տեղի է ունենում միայն երեք՝ G, K և I կետերում:

Այժմ փորձնականորեն հետագոտենք ինտերֆերաչափական պատկերների տեսանելիության կախումը ինտերֆերենցվող ալիքների ամպլիտուդների տարբերությունից: Ինչպես երևում է նկ. 2ա-ից, դիֆրակցվող ալիքների վերադրումը չորրորդ (A_2) բյուրեղի մակերևույթի վրա տեղի է ունենում միայն K և I կետերում: K կետում միայնակ վրա վերադրվում են HK և GK փնջերը, իսկ I կետում՝ GI և FI փնջերը: Դժվար չէ համոզվել, որ GK և GI փնջերի ինտենսիվություններն ավելի մեծ են, քան HK և FI փնջերինը, այսինքն K և I կետերում ինտերֆերենցիոն մասնակցող ալիքների ամպլիտուդները իրարից տարբեր են, այդ պատճառով էլ ինտերֆերենցվող 2, 3, 6 և 7 փնջերի պատկերների տեսանելիությունները փոքր են: Իրոք, HK փունջը երրորդ (A_1) բյուրեղում սնվում է միայն EH փնջի անդրադարձումով (H կետում), իսկ GK փունջը սնվում է EG փնջի անդրադարձումով (G կետում) CG փնջի անցումով (G կետում):

Այնուհետև GI փունջը սնվում է EG փնջի անցումով (G կետում), իսկ FI փունջը սնվում է միայն CF փնջի անդրադարձումով (F կետում):

Եթե ի նկատի ունենանք նաև այն, որ ինտերֆերաչափի բյուրեղները հաստ են (2մմ հաստություն, MoK_{α} ճառագայթման դեպքում նրանց մեջ տեղի է ունենում անոմալ անցում, և ընկնող փնջի էներգիան յուրաքանչյուր բյուրեղում համարյա հավասարապես բաժանվում է անդրադարձող և անցնող փնջերի միջև), ապա պարզ է, որ GK և GI փնջերի ինտենսիվությունները HK և FI փնջերի ինտենսիվություններից երկու անգամ մեծ կլինեն:



Նկ. 3. Ինտերֆերենցիոն պատկերները CG փնջի փակման

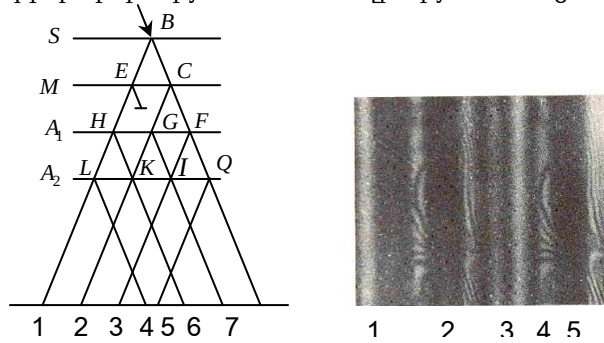
Այդ պատճառով, եթե CG փունջը փակենք (նկ. 3), ապա HK, GK, GI և FI բոլոր փնջերի ինտենսիվությունները կլինեն միևնույնը, և հետևաբար, 2, 6, 3 և 7 ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիությունը նույն CG փնջի փակման դեպքում խիստ մեծանում է:

Նկ. 2բ-ում ցույց են տրված K և I կետերից ստացված ինտերֆերենցիոն պատկերներն առանց CG փնջի փակման, իսկ նկ. 3-ում՝ այդ փնջի փակման դեպքում:

Ինչպես երևում է այդ նկարներից, CG փնջի փակումը բերում է ռենտգենա-ինտերֆերաչափական պատկերների տեսանելիության մեծացման: Այս նկարներից երևում է նաև, որ ինտերֆերաչափական միևնույն K կամ I կետերից ստացված պատկերները միևնույնն են, իսկ տարբեր ինտերֆերաչափական կետերից (տարբեր ինտերֆերաչափերից) ստացված պատկերները միմյանցից տարբերվում են: Դա միանգամայն բնական է, քանի որ տարբեր ինտերֆերաչափեր տեղեկատվությունը ստանում են տարբեր ուղիներով: Այստեղ հետաքրքիր է նաև այն, որ CG փնջի փակումը բերում է ոչ միայն պատկերի ցայտունության լավացման, այլև մուարի պատկերների փոփոխության: Դա լիովին հասկանալի է, քանի որ CG ուղիով (նրա փակումից հետո) ինտերֆերաչափերը ինչպես ինտենսիվություն, այնպես էլ տեղեկաբերություն չեն ստանում:

Հետաքրքիր է նաև այն դեպքը, երբ փակվում է ոչ թե CG փունջը, այլ EG փունջը (տես նկ. 4):

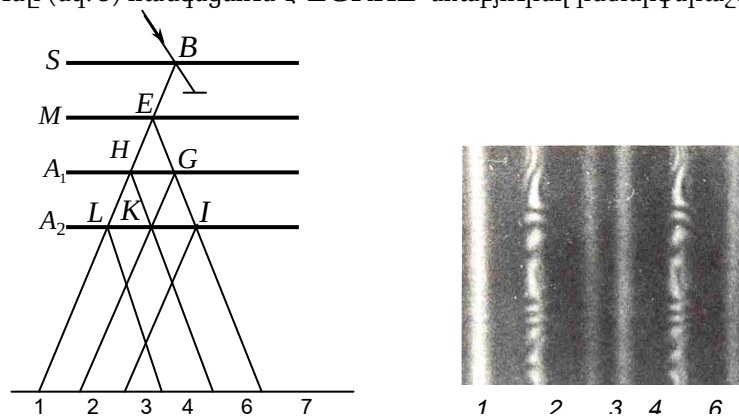
Այդ դեպքում աշխատում են եռաբյուրեղ $CFIGC$ և քառաբյուրեղ $BCGKEB$ ինտերֆերաչափերը: Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, EG փնջի փակումը նույնպես բերում է մուարի պատկերների փոփոխություն և տեսանելիության մեծացում: Իհարկե, այս



Նկ. 4. Ինտերֆերենցիոն պատկերները EG փնջի

դեպքում ևս տեսանելիության մեծացումը պայմանավորված է ինտերֆերենցվող ալիքների ամպլիտուդների հավասարությամբ, իսկ մուարի պատկերների փոփոխությունը՝ K և I կետերից ստացված տեղեկությունների փոքրացումով:

Տեսանելիությունը կարելի է մեծացնել նաև ինտերֆերենցվող ալիքների ամպլիտուդները հավասարեցնող մեներանգիչի (մոնոքրոմատորի) օգնությամբ: Իրոք, BC փնջի փակումը (նկ. 5) հանգեցնում է $EGKHE$ եռաբյուրեղ ինտերֆերաչափի

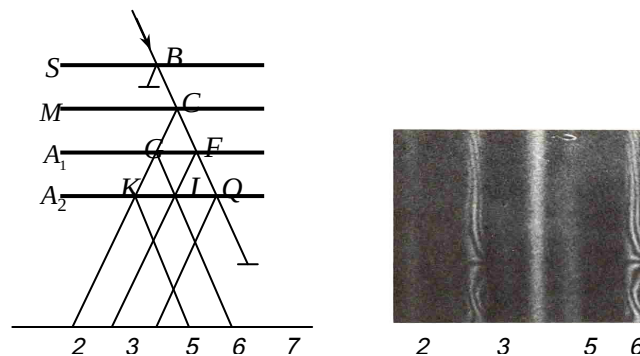


Նկ. 5. Ինտերֆերենցիոն պատկերները BC փնջի փակման

գործողությանը, իսկ BE փնջի փակման արդյունքում կգործի $CFIGC$ (նկ. 6) եռաբյուրեղ ինտերֆերաչափը:

Ինչպես երևում է լուսանկարներից, 2 և 6 փնջերի (նկ. 5) և 3 ու 7 (նկ. 6) փնջերի տեսանելիությունը ավելի մեծ է, նկ. 2բ-ում ցույց են տրված այդ նույն փնջերի տեսանելիություններից, որտեղ ինտերֆերենցող փնջերը միմյանցից տարբերվում են ինտենսիվություններով (ամպլիտուդներով):

Նման ինտերֆերենցիոն պատկերներ են ստացվել նաև $(0\bar{1}1)$, $(\bar{1}01)$ հարթություններից: Ելնելով մուարի պատկերների լուսաչափական չափումներից, որոնք ստացվել են անդրադարձնող հարթությունների բոլոր երեք ընտանիքներից, մեր



Նկ. 6. Ինտերֆերենցիոն պատկերները BE փնջի փակման

կողմից գնահատվել են ինտերֆերենցիոն երեք տեսակի պատկերների տեսանելիությունները $2\bar{2}0$, $\bar{2}02$ և $0\bar{2}2$ անդրադարձումների համար: Արդյունքները բերված են աղյուսակում:

Անդրադարձումը	Տեսանելիությունը (առանց CG և EG փնջերի փակման)	Տեսանելիությունը (փակվել է CG փունջը)	Աղյուսակ
			Տեսանելիությունը (փակվել է EG փունջը)
$2\bar{2}0$	0,362	0,690	0,710
$\bar{2}02$	0,354	0,700	0,685
$0\bar{2}2$	0,355	0,693	0,700

Պարզ է, որ տեսանելիության մեծացումը պայմանավորված է ինտերֆերաչափի վերջին բյուրեղում վերադրվող ալիքների ինտենսիվությունների հավասարությամբ:

Այսպիսով, փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացությունների.

1. Բյուրեղների անկատարելությունների ռենտգենահետազոտության փուլերից հետազոտությունների տեղեկության մեծացման նպատակով մշակվել, պատրաստվել և փորձարկվել են քառաբյուրեղ բազմապատիկ ինտերֆերաչափեր բյուրեղների անկատարելությունների տարածաչափական և ռենտգենահետազոտության պատկերների տեսանելիության ուսումնասիրությունների համար:

2. Ինտերֆերենցիոն ալիքների ինտենսիվությունների (ամպլիտուդների) տարբերության փոքրացմանը զուգընթաց, ինտերֆերենցիոն պատկերների տեսանելիությունը մեծանում է:

3. Հայտնաբերված է, որ փնջերի փակման հետևանքով վերադրվող ալիքների ինտենսիվության փոփոխման դեպքում փոխվում է ոչ միայն ինտերֆերենցիոն պատկերի տեսանելիությունը, այլ նաև շերտերի (մուարի նախշերի) ձևը:

4. Ինտերֆերաչափի բյուրեղներով անցնող ալիքներից յուրաքանչյուրը պարունակում է որոշ տեղեկություն ինտերֆերաչափի բյուրեղների այն տեղամասերից, որոնցով այն անցնում է: Իրական տեսանելիությունը միշտ իր տեսական արժեքից փոքր է: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ինտերֆերաչափի ճառագայթվող տարբեր տեղամասերն ունեն անդրադարձման և կլանման տարբեր գործակիցներ՝ բյուրեղական կառուցվածքների ոչ միատեսակ աննշան խանգարումների հետևանքով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Bonse U. and Graeff J. // Appl. Phys. – 1977. - V.22. - P. 93-98.
 2. Безирганиян П. А. Физические основы рентгенографической диагностики несовершенств кристаллов. -Ереван: Изд. Ереванского университета, 1989. -115 с.
 3. Արոյան Ա., Խզարձյան Ա. Ռենտգենյան ինտերֆերաչափեր և նրանց կիրառությունները // ՀՊՃՀ-ի տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երեվան, 2006.-. Հ.1.- Էջ 48-51:
 4. Абоян А. О. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2000. -Т. 66.- С. 22-25.
 5. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1973. - 712 с.
 6. Дичберн Р. Физическая оптика. - М.: Наука, 1965. - 631 с.
 7. Абоян А.О. Интерференция рентгеновских лучей с учетом длительности когерентного излучения // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2007. -Т. 60, №2. - С. 252 – 260.
 8. Bezirganyan P. A., Eiramshyan F. O., Truni K. G. Ein Vier- Block -Vielfachinterferometer // Phys. stat. sol. (a). -1973.- V. 20. - P. 611-618.
 9. Aboyan A. O. Stereometrical X-ray Interferometric Diffraction Topography of Crystal Imperfection // Cryst. Res. Technol. -1996. - V.31. - P. 513-519.
 10. Արոյան Ա., Աղբալյան Ս. Բյուրեղների անկատարելությունների հետազոտությունների ռենտգենադիֆրակցիոն տարածաչափական տեղագրություն // Հայաստանի Ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր. - 2008. -Հ. 5, №3. - Էջ 379- 388:
- ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05. 09. 2008.

А. О. АБОЯН, А.А. ХЗАРДЖЯН, С.Д. МАНУКЯН, А.Т. МИРЗОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДИМОСТИ РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН ЧЕТЫРЕХКРИСТАЛЬНЫМ ПОЛИИНТЕРФЕРОМЕТРОМ

Экспериментально исследована видимость рентгеноинтерферометрических картин, полученных от трехкратного четырехкристального интерферометра в зависимости от разности амплитуд (интенсивностей) интерферирующих волн. Показано, что с уменьшением разности амплитуд интерферирующих волн видимость интерференционных картин увеличивается. Реальная видимость всегда меньше, чем ее теоретическое значение. Обнаружено, что при изменении интенсивностей налагаемых волн меняется не только видимость интерференционной картины, но и форма муаровых картин.

Ключевые слова: интерференция, кратный интерферометр, интерференционные картины, интенсивность, видимость.

A. O. ABOYAN, A. A. KHZARDZIAN, S. D. MANUKYAN, A.T. MIRZOYAN

INVESTIGATION OF X-RAY INTERFERENCE PATTERNS VISIBILITY BY FOUR- CRYSTAL POLYINTERFEROMETER

The visibility of X-Ray interferometric pictures obtained on a triple four-crystal interferometer is experimentally studied depending on the difference of amplitudes (intensities) of interfering waves. It is shown that the visibility of interference patterns increases with the decrease in the difference of interfering wave amplitudes. The real visibility is always less than its theoretical value. It is found that the variation of intensities of the overlapping waves (by means of beams delay) results in a simultaneous change not only the interference pattern visibility but also moire fringes shape.

Keywords: interference, triple interferometer, interference patterns, visibility, intensity.

Մ.Ա. ՍԻՐԱԿԱՆՅԱՆ, Գ.Յ. ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ, Ն.Կ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ա.Թ. ԹՈՐՈՍՅԱՆ
 ՀԱՆՔԱՅՆԱՑՎԱԾ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻՑ ՑԵԶԻՈՒՄԻ ԵՎ ՍՏՐՈՆՑԻՈՒՄԻ ՍՈՐԲՑԻԱՅԻ
 ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել է ցեզիումի և ստրոնցիումի սորբցիան բենտոնիտով և բենտոնիտը պղնձի, նիկելի և ցիրկոնիումի ֆերոցիանիդներով մոդիֆիկացված կոմպոզիցիոն սորբենտներով: Հաստատվել է, որ սինթեզված սորբենտները ցեզիումի և ստրոնցիումի նկատմամբ ցուցաբերում են ընտրողական սորբցիոն հատկություն, որը հնարավորություն է տալիս կորզել ռադիոնուկլիդները հանքային նյութեր պարունակող ջրերից:

Առանցքային բառեր. բենտոնիտ, ֆերոցիանիդ, սորբենտ, մոդիֆիկացիա:

Վերջին ժամանակաշրջանում կարևոր հիմնախնդիրներից մեկը հեղուկ ռադիոակտիվ թափոնների ապակտիվացումն է, որի լուծման հուսալի գրավականը ռադիոակտիվ իզոտոպների փոքր ծավալներում կոնցենտրացման և տեղայնացման մեթոդների մշակումն է:

Ներկա փուլում համաշխարհային պրակտիկայում ռադիոակտիվ թափոնների ապակտիվացումը իրականացվում է տարբեր մեթոդներով, որոնցից լայն կիրառություն են ստացել երկարակյաց իզոտոպների՝ ^{137}Cs , ^{90}Sr ընտրողական կորզման բարձր էֆեկտիվություն ապահովող ինչպես բնական սորբենտներով (հանքանյութեր՝ ցեոլիտներ, կավեր, բենտոնիտներ, ապարներ և այլն), այնպես էլ արհեստական իոնափոխանակային խեժերով սորբային մեթոդները:

Սակայն մաքրման, տեղայնացման մատչելի տեխնոլոգիաների մշակման խնդիրը դեռևս մնում է հիմնահարցերից մեկը: Դա պայմանավորված է ռադիոակտիվ նյութերի կիրառմամբ արդյունաբերական տարբեր ճյուղերի զարգացմանը զուգահեռ որոշակի հարցապնդումների ծագմամբ, որոնք հայտնի մեթոդներով հաճախ հնարավոր չէ լուծել:

Օրգանական իոնիտներն ունեն որոշակի թերություններ, որոնցից հիմնականը փոքր կայունությունն է ճառագայթների նկատմամբ, հետևաբար դրանց կիրառությունը ապակտիվացման գործընթացում որոշ դեպքերում արդյունավետ չէ:

Անօրգանական իոնափոխանակիչները տարբերվում են իրենց բարձր ջերմակայունությամբ, մեխանիկական ամրությամբ, ռադիացիոն կայունությամբ և որոշ ֆիզիկաքիմիական հատկություններով: Սակայն արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում ռադիոակտիվ հումքերի կիրառումը առաջացնում է խնդիրներ, որոնց լուծումը բնական իոնափոխանակային սորբենտների կիրառմամբ հաճախ հնարավոր չէ իրականացնել: Դա պայմանավորված է այդ սորբենտների մակերեսների անհամասեռությամբ և բազմաբնույթ հատկություններով: Ուստի նուկլիդներից ջրամաքրման հեռանկարային ուղղություններից մեկը բնական ծագում ունեցող նյութերի մակերևույթների մոդիֆիկացման ճանապարհով ավելի կայուն և արդյունավետ սորբենտների ստացումն է՝ նպատակ ունենալով բարձրացնելու կորզման ընտրողականությունը և սորբցիոն տարողությունը: Որպես հանքային կրիչ կարող են օգտագործվել տարբեր անօրգանական սորբենտներ, մասնավորապես, ալյումոսիլիկատ և այն մոդիֆիկացնել ռադիոնուկլիդների նկատմամբ ընտրողական սորբցիոն հատկություն ցուցաբերող անօրգանական աղերով:

Աշխատանքի նպատակն է՝ ուսումնասիրել ստատիկ պայմաններում լուծույթներից ցեզիումի և ստրոնցիումի կորզման ընտրողականությունը ծանր մետաղների (Cu, Ni, Zr) ֆերոցիանիդներով մոդիֆիկացված բենտոնիտով:

ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՄԱՍ. Ֆերոցիանիդային մոդիֆիկացումը իրականացվել է իոնափոխանակային հաջորդական ամրացման մեխանիզմով [1]: Օգտագործվել է ՀՀ Իջևանի տարածքում առկա բենտոնիտի 40...80 մկմ ֆրակցիան, մշակվել է $K_4[Fe(CN)_6]$ -ի 10%-ոց ջրային լուծույթով, այնուհետև պղնձի, նիկելի և ցիրկոնիումի աղերի 15%-ոց ջրային լուծույթներով առանձին-առանձին: Ստացված կոմպոզիցիոն սորբենտները լվացվել են թորած ջրով և չորացվել սենյակային ջերմաստիճանում: Ցեզիումի և ստրոնցիումի սորբցիան իրականացվել է ստատիկ պայմաններում ցեզիումի և ստրոնցիումի մոդելային լուծույթներից (ելային կոնցենտրացիաները 0,01 մոլ/լ): Որպես ընտրողականության չափանիշ ընտրվել են բաշխման գործակցի՝ K_d -ի մեծությունները:

Սորբենտների համեմատական փորձարկումների արդյունքների հիման վրա որոշված K_d -ի և կորզման աստիճանների (E,%) մեծությունները բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

Կոմպոզիցիոն սորբենտներով ցեզիումի և ստրոնցիումի կորզման աստիճանների և բաշխման գործակցիցների մեծությունները

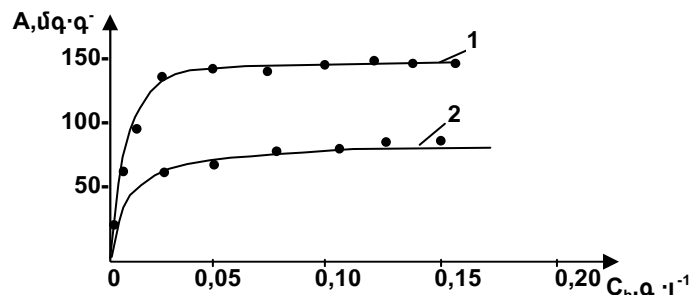
<i>Սորբենտ</i>	<i>Sr²⁺</i>		<i>Cs⁺</i>	
	<i>E, %</i>	<i>K_d, մլ/գ</i>	<i>E, %</i>	<i>K_d, մլ/գ</i>
Բենտոնիտ	70,8	$2,3 \cdot 10^2$	90,8	$3,5 \cdot 10^3$
Բենտոնիտ+ֆգCu	75,2	$2,9 \cdot 10^2$	99,5	$5,4 \cdot 10^3$
Բենտոնիտ+ֆգNi	69,8	$1,3 \cdot 10^2$	97,5	$2,2 \cdot 10^3$
Բենտոնիտ+ֆգZr	72,5	$2,5 \cdot 10^2$	98,7	$4,2 \cdot 10^3$

Ը ստ փորձնական արդյունքների՝ ծանր մետաղների ֆերոցիանիդներով բենտոնիտով մոդիֆիկացումից ստացված սորբենտները ցուցաբերում են սորբցիոն տարբեր հատկություններ: Այսպես, Sr^{2+} -ի դեպքում բաշխման գործակցիցները և կորզման աստիճանները տարբեր սորբենտների կիրառման դեպքերում իրարից էապես չեն տարբերվում, այն դեպքում, երբ բենտոնիտի մոդիֆիկացումը նպաստում է ցեզիումի կորզման աստիճանի զգալի մեծացմանը: Ցեզիումի նկատմամբ այսպիսի առանձնահատկությունը ամենայն հավանականությամբ պայմանավորված է սինթեզված սորբենտների բաղադրության մեջ ցեզիումի նկատմամբ ընտրողականություն ցուցաբերող մետաղների ֆերոցիանիդների առկայությամբ [2,3]:

Բենտոնիտի մակերեսին ֆերոցիանիդների տեղադրմամբ սինթեզված սորբենտները կարելի է դիտարկել որպես նրբաթաղանթային, որը նկատելիորեն փոքրացնում է միայն առանձին վերցված ֆերոցիանիդներին բնորոշ դիֆուզիոն բարդությունները և զգալիորեն լավացնում սորբցիոն գործընթացի կինետիկական ցուցանիշները: Բենտոնիտի Sr^{2+} -ի ինչպես նաև այլ կատիոնների նկատմամբ լրիվ ծավալային տարողությունների մեծությունների համեմատությունից հետևում է, որ սինթեզի ընթացքում հանքանյութի միայն ավելի ակտիվ իոնափոխանակային կենտրոններն են մասնակցում ֆերոցիանիդների կառուցվածքների ձևավորման գործընթացում: Մոդիֆիկացումից հետո կենտրոնների մնացած մասը կարող են կորզել ցեզիումի և

ստրոնցիումի իոնները, սակայն դա չի առաջացնում կորզման աստիճանի զգալի փոփոխություն: Ընդ որում, սորբենտներում այդպիսի կենտրոնների բաժնի մեծացումով է պայմանավորված ստրոնցիումի նկատմամբ սորբենտների ընտրողականությունը:

Միջֆազային բաշխման ստատիկական վերլուծության համար կառուցվել են իզոթերմներ՝ ստրոնցիումի և ցեզիումի կլանման մեծության կախվածությունը սորբվող իոնների հավասարակշռային կոնցենտրացիայից հաստատուն ջերմաստիճանում (22°C): Իզոթերմների կառուցման համար պատրաստվել են կատիոնների տարբեր կոնցենտրացիաներով մոդելային լուծույթներ: Սորբցիոն քանակները որոշելու համար վերցվել են այդ լուծույթներից 100-ական մլ փորձալուծույթներ, սորբենտների նմուշների զանգվածները՝ 1,0 գ, ֆազերի շփման ժամանակահատվածը՝ 30 րոպեից մինչև 24 ժամ: Որոշվել է, որ 24 ժամից հաստատվում է էմպիրիկ հավասարակշռություն, ուստի 24 ժամ տևողությամբ ընթացող սորբցիոն գործընթացից հետո որոշվել են լուծույթներում ցեզիումի և ստրոնցիումի մնացորդային հավասարակշռական կոնցենտրացիաները: Նկ. 1-ում բերված են ամենամեծ կորզման հասկություն ցուցաբերած սորբենտով՝ բենտոնիտը մոդիֆիկացված պղնձի ֆերոցիանիդով, ցեզիումի և ստրոնցիումի սորբցիայի իզոթերմները:



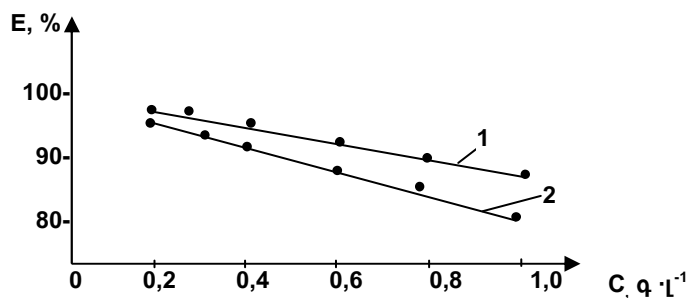
Նկ. 1. Ցեզիումի (1) և ստրոնցիումի (2) կատիոնների սորբցիայի իզոթերմները: Սորբենտը՝ պղնձի ֆերոցիանիդով մոդիֆիկացված բենտոնիտ, $t=22^{\circ}\text{C}$

Ըստ ստացված արդյունքների վերլուծության՝ հավասարակշռային փոքր կոնցենտրացիաների միջակայքում իզոթերմների վրա դիտվում է կտրուկ փոփոխություն, որին հաջորդում է հազեցման սահմանը, որը հնարավորություն է տալիս որոշել սորբենտի ստատիկ տարողությունը ընտրված պայմաններում: Սորբենտով կլանված կատիոնների՝ ցեզիումի և ստրոնցիումի քանակները օրինաչափորեն մեծանում են ելային մոդելային լուծույթների կոնցենտրացիաների փոփոխությունից և այնուհետև մնում են անփոփոխ, որը պայմանավորված է թաղանթի շերտով կատիոնների դիֆուզիոն դժվարություններով: Իրականում հեղուկ միջավայրից միկրոբաղադրամասերի կորզման գործընթացի վրա ազդում են տարբեր գործոններ. սորբենտի քիմիական կառուցվածքի առանձնահատկություններով պայմանավորված տարբեր ակտիվությամբ կենտրոնների առկայությունը, լուծույթից տարբեր սորբվող միկրոտարրերի անհամաչափ կորզումը, որը կախված է սորբենտի մակերեսի հետ նրանց փոխազդեցության էներգիաների փոփոխությունից՝ պայմանավորված հետևյալ երկու չափանիշներով: Առաջինը՝ դա սորբենտի միավոր ակտիվ մակերեսի պոտենցիալ էներգիան է, երկրորդ՝ լուծույթում, օրինակ միկրոտարրի (ցեզիումի) պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությունն է լուծույթում նրա կոնցենտրացիայից կախված: Ընդ որում, իոնների մի մասը կարող է ունենալ փոքր էներգիա, ըստ որի փոխանակման գործընթացը չի կարող կատարվել: Իրականում,

համաձայն սորբցիայի կորզման աստիճանի մեծության, միայն պղնձի ֆերոցիանիդով մո-
դիֆիկացված սորբենտն է ապահովում ցեզիումի իոնների լրիվ կորզումը:

Մեր կողմից ուսումնասիրվել է նաև ցեզիումի և ստրոնցիումի կորզման ընտրո-
դականության կախվածությունը աղային ֆոնի կոնցենտրացիայից: Այս խնդրի վերլու-
ծությունը կարևոր է, քանի որ բարդ բաղադրությամբ լուծույթներից, որոնք պարունակում
են ցեզիումի և ստրոնցիումի համապատասխան կոնցենտրացիաներին մագնեզիումի,
կալցիումի, նատրիումի գերազանցող քանակներ, ցեզիումի և ստրոնցիումի կորզումը
հնարավոր է միայն ընտրողական հատկությամբ սորբենտների կիրառմամբ:

Ուսումնասիրվել են սինթեզված կոմպոզիցիոն սորբենտների նկատմամբ ցեզիումի
և ստրոնցիումի սորբցիոն հատկությունները վերը նշված կատիոնների և քլորիդային
անիոնների $\text{Na:Ca:Mg:Cl}=1:5:5:15$ զանգվածային հարաբերությամբ աղային ֆոնի
ներկայությամբ: Աղային ֆոնի իոնների գումարային պարունակությունը տատանվել է
մինչև 1 գ/լ : Փորձարկումների արդյունքում հաստատվել է, որ լուծույթներում
աղապարունակությունը մինչև $0,2 \text{ գ/լ}$ փոփոխության դեպքում այս սորբենտներով
ցեզիումի և ստրոնցիումի կորզման աստիճանը գործնականում չի փոխվում, մինչդեռ
աղային ֆոնի մինչև 1 գ/լ կոնցենտրացիայի փոփոխությունից կորզման աստիճանները
նվազում են: Փորձարկվող սորբենտներից պղնձի և ցիրկոնիումի ֆերոցիանիդային
նմուշները ֆոնի կոնցենտրացիայի փոփոխությունից ավելի քիչ զգայուն են: Այսպես,
ցեզիումի կորզման աստիճանը, նշված սորբենտներով աղապարունակությունից
կախված, փոքրանում է $\sim 10\ldots 15\%$ -ով: Փորձնական արդյունքները բերված են նկ. 2-ում
կորերի տեսքով:



Նկ. 2. Աղային ֆոնի կոնցենտրացիայից ($C, \text{գ գլ}^{-1}$) ցեզիումի կորզման աստիճանի
($E, \%$) կախվածությունը: 1. բենտոնիտ + CuFg ; 2. բենտոնիտ + ZrFg

Աղապարունակության զգալի ազդեցությունը դիտարկվել է բենտոնիտը նիկելի
ֆերոցիանիդով մոդիֆիկացված սորբենտի դեպքում՝ ցեզիումի կորզման աստիճանը
փոքրանում է $\sim 30\%$ -ով:

Ստացված արդյունքներից հետևում է, որ ցեզիումի և ստրոնցիումի նկատմամբ
բնական ալյումոսիլիկատի ցուցաբերող սորբցիոն ունակության մեծացման ուղիներից
մեկը նրա մոդիֆիկացումն է ծանր մետաղների ֆերոցիանիդներով: Կոմպոզիցիոն
նյութերի սինթեզը հնարավորություն է տալիս ստանալ հանքանյութեր պարունակող
ջրերից ռադիոնուկլիդների կորզման ընտրողական հատկություններով օժտված
սորբենտներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. А.с. 1115792 СССР, МКИ В 01J20/00. Способ получения композиционного ферроцианидного сорбента.
2. **Таканаев И.В., Сейфер Г.Б., Харитонов Ю.А.** и др. Химия ферроцианидов. - М.: Наука 1971.-320 с.
3. **Панасюгин А.С., Радько А.И.** и др. Ионообменные свойства клиноптилолита, модифицированного ферроцианидом сурьмы// Прикладная химия.-М., 1995.-Том 18, N12.-С. 2054-2056.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 07.02.2009.

М. А. СИРАКАНЯН, Г.Ц. ВАРДЕРЕСЯН, Н.К. ГАСПАРЯН, А.Т. ТОРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ ИЗ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Изучено сорбционное поведение природного и модифицированного ферроцианидами тяжелых металлов бентонита по отношению к цезию и стронцию. Установлено, что синтезированные композиционные сорбенты проявляют селективные сорбционные свойства, что дает возможность осуществить извлечение радионуклидов из высокоминерализованных вод.

Ключевые слова: бентонит, ферроцианид, сорбент, модификация.

M.A. SIRAKANYAN, G.C. VARDERESYAN, N.K. GASPARYAN, A.T. TOROSYAN

CESIUM AND STRONTIUM IONS SORPTION INVESTIGATION FROM THE MINERALIZED AQUEOUS SOLUTION

The sorption behaviour of natural bentonite and heavy ferrocyanide metals is investigated in accordance with modified composite sorbents. It is approved that synthesized composite sorbents display selective sorption specifications to cesium and strontium, giving us an opportunity to generate radionucleoids from highwaters minerals.

Keywords: bentonite, ferrocyanide, sorbent, modification.

**ԶՈՒԼՎԱԾ ՆԻԿԵԼ-ՑԻՆԿԱՅԻՆ ՍՊԻՏԱԿ ՈՄԿՈՒ 585 ՀԱՐԳԻ
ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՏԱՐԲԵՐ ԶԵՐՄԱՄՇԱԿՈՒՄՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Կատարվել են տարբեր ջերմամշակման ռեժիմների դեպքում նիկել-ցինկային 585 հարգի ձուլված վիճակում գտնվող սպիտակ ոսկու համաձուլվածքի կառուցվածքի և հատկությունների հետազոտություններ՝ ռենտգենագրային, մետաղագրային, ջերմաձանրաչափական վերլուծությունների միջոցով: Մշակվել են նախնական և վերջնական ջերմամշակման ռեժիմներ:

Առանցքային բառեր. ջերմամշակում, հարգ, սպիտակ ոսկի, համաձուլվածք, ռենտգենագրային, մետաղագրային, ջերմաձանրաչափական, վերլուծություն:

Ընդհանրապես աշխարհում և հատկապես Հայաստանում ոսկերչական արտադրությունը կարևոր տեղ է զբաղեցնում արտադրական ոլորտում: Քանի որ ոսկերչական արտադրության մեջ իրերի մեծ մասը՝ 50...60%-ից ոչ պակաս, ստացվում է ձուլման եղանակով՝ համապատասխան դենդրիտալիկվացված կառուցվածքով, որը հետագայում չի հոմոգենացվում, հետագա մշակումը կատարվում է այդ վիճակում և իրերը ժառանգում են այդ կառուցվածքը և համապատասխան հատկությունները, խնդիր է առաջանում փոփոխել հատկություններն անհրաժեշտ ուղղությամբ, ավելի կոնկրետ.

1. ձուլված շինածոների մշակելիության բարձրացում,
2. կարծրության և ամրության բարձրացում՝ վերջնական շահագործման հատկությունների և ապրանքային տեսքի բարելավման նպատակով:

Նշված խնդիրների լուծման համար ուսումնասիրվել են սպիտակ ոսկու երկակի Au-Ni, Au-Cu, Au-Zn և եռակի Au-Cu-Ni համակարգի վիճակի դիագրամները և Zn-ի ազդեցությունը նշված համակարգերի համաձուլվածքների վրա:

Au և Ni-ը միմյանց մեջ լուծվում են անսահմանափակ ձևով հեղուկ վիճակում, բարձր ջերմաստիճաններում՝ նաև պինդ վիճակում: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ 70% (ատ.) Ni-ի պարունակության դեպքում 812° C-ից սկսած տեղի է ունենում հոմոգեն պինդ լուծույթի տրոհում ոսկու և նիկելի հիմքով պինդ լուծույթների խառնուրդի [1]: Այսպիսով, դանդաղ սառեցված համաձուլվածքներն ունեն երկֆազ կառուցվածք:

Au-Cu համակարգի համաձուլվածքներում սոլիդուսի ջերմաստիճանից ցածր առաջանում են անսահմանափակ պինդ լուծույթներ: Au-Cu համակարգի բնորոշ առանձնահատկությունը դանդաղ սառեցման ժամանակ կարգավորված ֆազի առաջացումն է, որն առաջին անգամ հայտնաբերել է Կուրնակովը, և որի էությունը դիֆուզիոն տեղափոխությունների միջոցով բյուրեղում ատոմների փոխադարձ դասավորության փոփոխումն է: Չկարգավորված AuCu բաղադրության համաձուլվածքի ֆազային փոխակերպությունը տեղի է ունենում հետևյալ կերպ. սկզբում կրիտիկականից ցածր ջերմաստիճանի նվազմանը զուգընթաց չկարգավորված մայրակում առաջանում են կարգավորված սաղմեր, որոնք հետո աճում են չկարգավորված ֆազի հաշվին, և ընդհանուր կարգավորվածությունը կտրուկ մեծանում է:

Au-Zn համակարգում գոյություն ունեն հետևյալ քիմիական միացությունները՝ Au_3Zn (9,95%), AuZn (24,90%) և AuZn_3 (49,6%): Այս միացություններից միայն AuZn է, որ ունի բաց մաքսիմում լիկվիդուսի կորի վրա (725°C), այն դեպքում, երբ Au_3Zn և AuZn_3 միացությունները առաջանում են α և β պինդ լուծույթների կարգավորման արդյունքում՝ համապատասխանաբար 425°C և 515°C -ում: Այս համակարգում կա երկու էվտեկտիկական, երկու պերիտեկտիկական, հինգ էվտեկտոիդային և երեք պերիտեկտոիդային փոխակերպություն:

Ժամանակակից ոսկերչության մեջ շատ են օգտագործվում 585 հարգի սպիտակ ոսկու համաձուլվածքներ: Մեծ կիրառություն ունեն Au-Cu-Ni-Zn համաձուլվածքները: Աղյուսակ 1-ում բերված է ուսումնասիրվող 585 հարգի նիկել-ցինկային սպիտակ ոսկու համաձուլվածքի բաղադրությունը:

Աղյուսակ 1

Սպիտակ ոսկու համաձուլվածքի բաղադրությունը

Տարր	Au	Cu	Ni	Zn
Պարունակ., %	58,5	26,8	8,6	6,1

Ուսումնասիրվող համաձուլվածքը ստացվել է՝ օգտագործելով PROGOLD ֆիրմայի (Իտալիա) ձուլման համար նախատեսված LUX-105 սպիտակ ոսկու լիգատուրա:

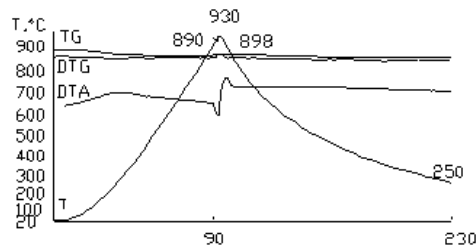
585 հարգի սպիտակ ոսկու համաձուլվածքի ուսումնասիրության համար հիմք է հանդիսանում Au-Cu-Ni համակարգի եռակի վիճակի դիագրամը:

Անմիջապես սոլիդուսի մակերևույթից ներքև բոլոր համաձուլվածքները ունեն նիստակենտրոն խորանարդային ցանցով (Fv12) կառուցվածք: Au-Ni համակարգում առկա համասեռ պինդ լուծույթի տրոհումը Cu -ի ավելացման հետ տեղի է ունենում ավելի բարձր ջերմաստիճաններում՝ հասնելով առավելագույնս 970°C ՝ $20\%\text{Au}+60\%\text{Ni}+20\%\text{Cu}$ պարունակության դեպքում, այսինքն՝ տեղի է ունենում բինոդալ մակերևույթի ջերմաստիճանի բարձրացում՝ Cu -ի հավելման հետևանքով:

Կատարվել է պոլիթերմ կտրվածքի կառուցում՝ 585 հարգի սպիտակ ոսկու համաձուլվածքների համար՝ ելնելով Au-Cu-Ni համակարգի լիկվիդուսի ջերմաստիճանների և երկֆազ տիրույթների ուսումնասիրություններից: Ջերմաձանրաչափական և դիֆերենցյալ վերլուծության եղանակով որոշվել է ցինկի ազդեցությունը լիկվիդուսի և սոլիդուսի ջերմաստիճանների վրա, ինչպես նաև պինդ լուծույթի տրոհման սկզբնական ջերմաստիճանը:

Ջերմագրերի վրա պարզ երևում է, որ 585 հարգի նշված բաղադրության համաձուլվածի լիկվիդուսի ջերմաստիճանը 930°C է, իսկ սոլիդուսինը 890°C (նկ.1):

Ըստ Au-Cu-Ni համակարգի պոլիթերմ կտրվածքի՝ լիկվիդուսի և սոլիդուսի կետերին համապատասխանում են 972°C և 935°C : Այսինքն՝ 585 հարգի սպիտակ ոսկու համաձուլվածքում Zn -ի առկայությունը նվազեցնում է լիկվիդուսի և սոլիդուսի ջերմաստիճանները $40...45^\circ\text{C}$ -ով: Ջերմագրի վրա տրոհման և կարգավորման ջերմային էֆեկտները փոքր են, այդ պատճառով միայն պայմանականորեն կարելի է որոշել տրոհման ջերմաստիճանը՝ $\sim 570^\circ\text{C}$:



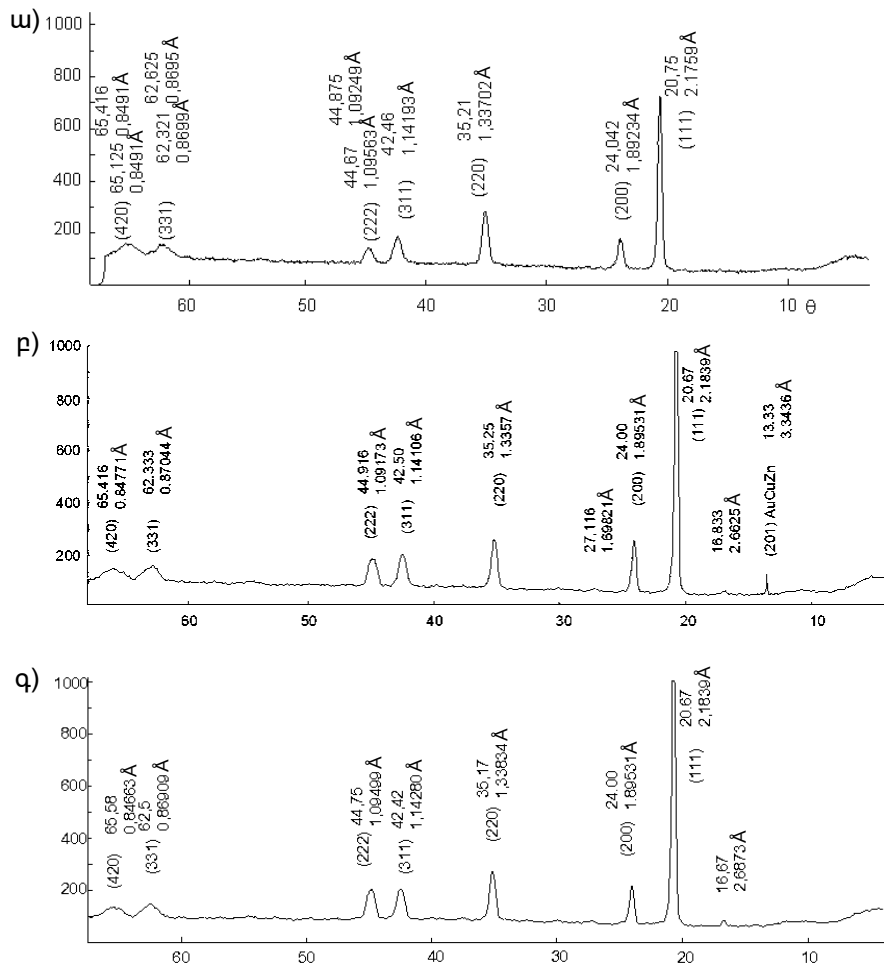
Նկ.1. Au-Cu-Ni-Zn (58,5-26,8-8,6-6,1) համաձուլվածքի
դերիվատոգիքը
TG-գանգվածի փոփոխություն,
DTG-գանգվածի փոփոխության դիֆերենցիալը,
DTA-դիֆերենցիալ-թերմիկ վերլուծության կորը,
T-ջերմաստիճանի փոփոխությունը

Ջերմամշակման փորձարկումներն իրականացվել են հծԿԽ-1,6,2,5.1/9-Լիժոլիս4.2 մակնիշի լաբորատոր խցային դիմադրության էլեկտրավառարանում՝ տարբեր ջերմաստիճանաժամանակային ռեժիմներով: Որպես նմուշ օգտագործվել են ձուլման կանգնակից կտրրված տեմպլետները: Ելնելով ջերմածանրաչափական վերլուծության տվյալներից և հաշվի առնելով, որ ջերմամշակումն անհրաժեշտ է կատարել ոչ բարձր ջերմաստիճանում՝ զարդերի վրա տեղադրված քարերին չվնասելու համար, ինչպես նաև էներգետիկ կորուստները նվազեցնելու նպատակով, փորձարկումները կատարվում են հետևյալ ջերմաստիճաններում՝ 330°C, 270°C, 250° C՝ տարբեր պահման տևողությունների և սառեցման արագությունների կիրառմամբ: Նշված ռեժիմներով ջերմամշակումներից հետո որոշվել են նաև նմուշների միկրոկարծրությունները կՕՁ-3 միկրոկարծրաչափի վրա՝ 100գ բեռնվածության դեպքում: Ըստ ԳՈՍՏ 9450-76 միկրոկարծրությունը ($կգ/մմ^2$) նշվում է առանց չափման միավորի՝ նշելով բեռնվածությունը [2]: Չափումների արդյունքում ստացել ենք հետևյալ տվյալները. ձուլված համաձուլվածքի համար 195HV0,1, կարգավորված համաձուլվածքի համար ստացվել է նվազագույն միկրոկարծրությունը՝ 115HV0,1, 330°C-ում ձուլված համաձուլվածքի 1 ժամ պահումից և օդում սառեցումից հետո 204HV0,1, նախապես կարգավորված համաձուլվածքը 330°C-ում 1 ժամ պահումից և օդում սառեցումից հետո 214HV0,1: Ըստ երևույթին միկրոկարծրության աճը պայմանավորված է ցինկիդների առաջացմամբ (նկ.2): Առավելագույն միկրոկարծրությունը ստացվել է 250°C-ում 2,5 ժամ պահումից և վառարանի հետ սառեցումից հետո՝ 258HV0,1: Բարձր միկրոկարծրությունը բացատրվում է պինդ լուծույթի տրոհմամբ:

Յուրաքանչյուր ռեժիմի դեպքում կատարվել են մետաղագրային, ռենտգենագրային և միկրոկարծրության որոշման փորձարկումներ, որոնց արդյունքները բերվում են ստորև: Նմուշները ենթարկվել են հաստատուն ռեժիմներով նկարահանման Δ POH-2.0 դիֆրակտոմետրով՝ Cu-K α ճառագայթներով: Նկ.2-ում բերված է 330°C-ում և 270°C-ում տարբեր ռեժիմներով ջերմամշակված համաձուլվածքի ռենտգենագրերը: Ձուլված համաձուլվածքի ջերմամշակումը 330° C-ից ցույց է տալիս, որ այդ ջերմաստիճանում համաձուլվածքը չի կարգավորվում, և հետագայում 270° C-ից օդում սառեցումից հետո կարգավորումը նույնպես բացակայում է: Կարգավորում չկա նաև 270° C ջերմամշակումից հետո:

Նկ.3-ում բերված են մինչև 250° C տաքացված և տարբեր պահման տևողությամբ (մինչև 6 ժամ) նմուշների դիֆրակտոգրերը: Այս ջերմաստիճանում կատարված փորձերը ցույց են տալիս, որ արդեն 2,5 ժամ պահումից հետո համաձուլվածքը կարգավորվում է ~70%-ով և հետագայում կարգավորվածության աստիճանը չի փոխվում: Հետագա ջերմամշակումը 330°C-ում, բերում է կարգավորվածության նվազման, որը ցույց է տալիս պինդ լուծույթի ռեֆլեքսների ինտենսիվության փոփոխությունները:

250°C տաքացումից, 2,5 ժամ պահումից և վառարանում սառեցումից հետո համաձուլվածքի դիֆրակտոգրեր բերված է նկ.4-ում:



Նկ.2. 585 հարգի

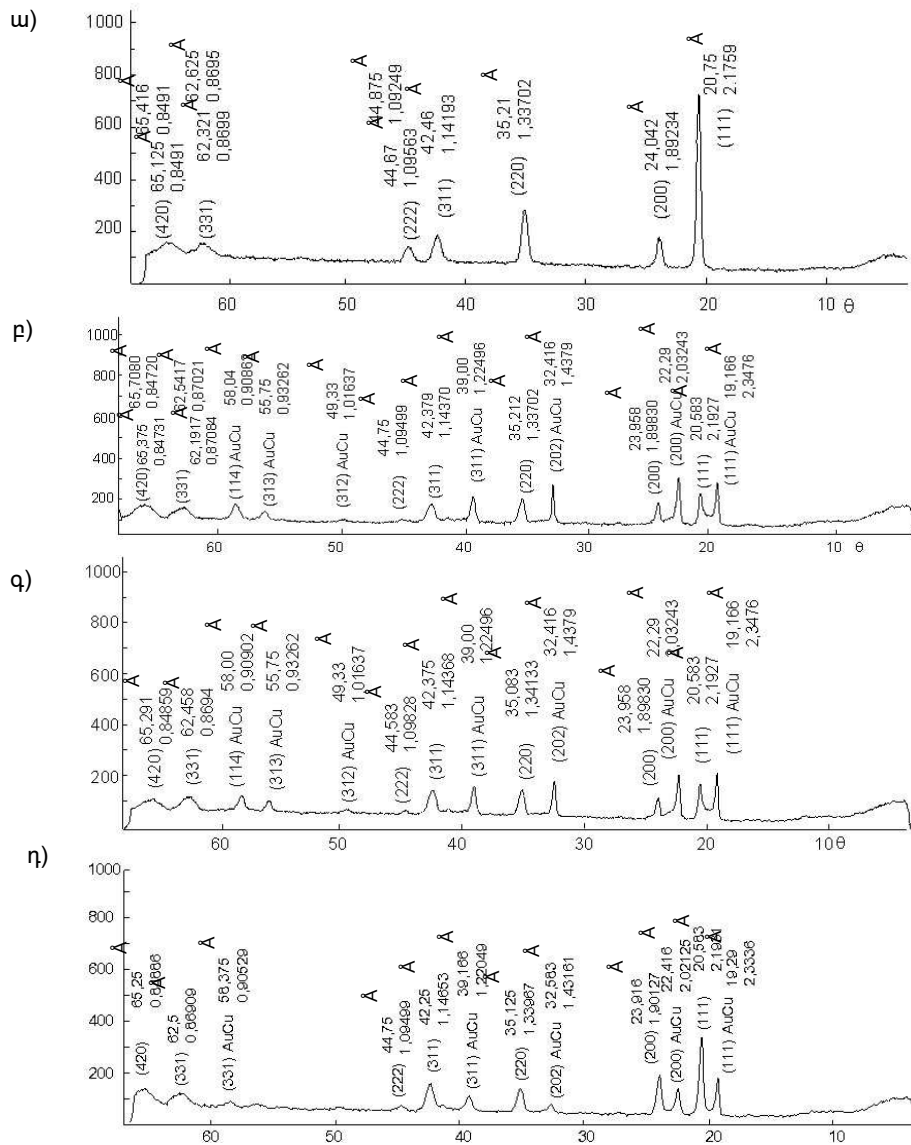
Au-Cu-Ni-Zn 58,5-26,8-8,6-6,1

բաղադրության համաձուլվածքի դիֆրակտոգրերը.

ա) ձուլումից հետո,

բ) 330° C-ում 1 ժամ պահումից հետո՝ սառեցումը օդում,

գ) 330° C-ում 1 ժամ և 270° C-ում 3 ժամ 15 րոպե պահումից հետո՝ սառեցումը օդում



Նկ.3. 58.5 հարգի Au-Cu-Ni-Zn 58,5-26,8-8,6-6,1

բաղադրության համաձուլվածքի դիֆրակտոգրերը

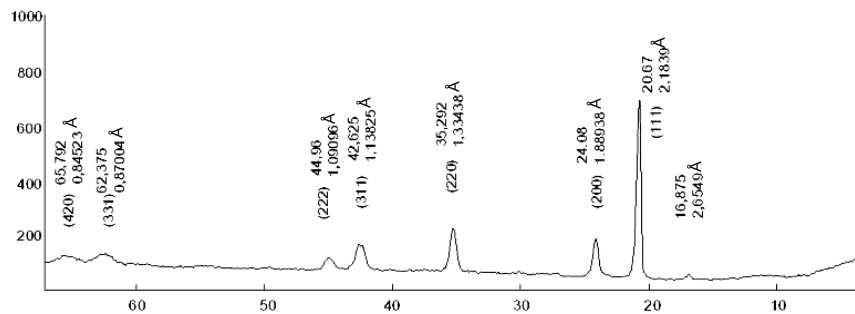
ա) ձուլումից հետո,

բ) 250°C-ում 2 ժամ 45 րոպե պահումից հետո՝ սառեցումը օդում,

գ) 250°C-ում 5 ժամ 45 րոպե պահումից հետո՝ սառեցումը օդում,

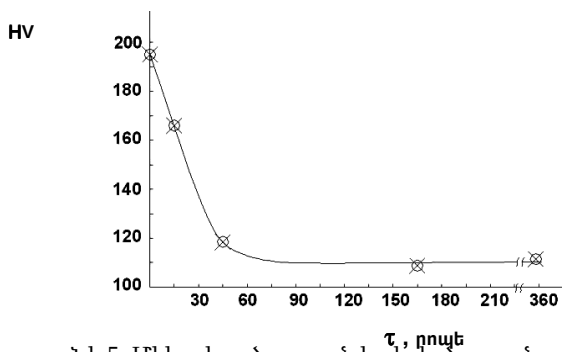
դ) 250°C-ում 5 ժամ 45 րոպե պահումից հետո՝ սառեցումը օդում և

330°C-ում 1 ժամ պահումից հետո՝ սառեցումը օդում

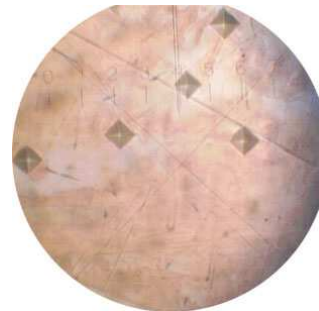


Նկ.4. 585 հարգի Au-Cu-Ni-Zn 58,5-26,8-8,6-6,1 բաղադրության համաձուլվածք դիֆրակտոգիրը 250°C-ում 2,5 ժամ պահումից հետո՝ սառեցումը վառարանում

Կարգավորման կինետիկայի որոշմանը զուգահեռ կատարվել է նաև միկրոկարծրության որոշում: Նկ.5-ում բերված է 250°C-ում տարբեր պահման տևողությունների դեպքում միկրոկարծրության կախվածությունը պահման տևողությունից: Կարծրության ցուցանիշները միջինացված են, որովհետև դենդրիտային լիկվացիայի հետևանքով հատիկն անհամասեռ է: Այդ տարբերությունը երևում է միկրոկարծրության չափման հետևանքով առաջացած հետքերից (նկ.6):



Նկ.5. Միկրոկարծրության կախվածությունը պահման տևողությունից



Նկ.6. Միկրոկարծրության չափման, հետքերը, (500

Կատարվել են նաև ձուլված և ընտրված ռեժիմներով ջերմամշակված նմուշների ձգման փորձարկումներ 2161 Հ-5 ձգման մեքենայի վրա՝ 2մմ/ր արագությամբ: Որպես նմուշ օգտագործվել են ձուլման սնուցիչները: Քանի որ սնուցիչների կտրվածքը շրջանագծայինից տարբերվում է, պատրաստվել են ԳՈՍՏ 1497-61, նույնը ԳՈՍՏ 1497-84, համապատասխան հնգակի երկարության «կարճ» ձգման նմուշներ, պահպանելով $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ պայմանը [3]: Ձգման ընթացքում, պարբերաբար, մինչև վզիկի առաջացումը, այսինքն մինչև առավելագույն ուժի ցուցանիշը, չափվել է կտրվածքի մակերեսը՝ $F_{վզ}$ -ն, որի միջոցով որոշվել է հարաբերական նեղացումը մինչև վզիկի առաջացումը՝ $\psi_{վզ}$ [4]:

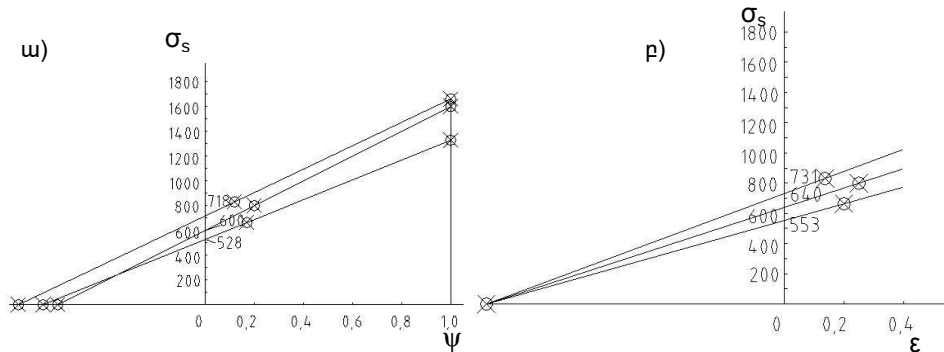
$$\psi_{վզ} = \frac{F_0 - F_{վզ}}{F_0},$$

որտեղ F_0 -ն նմուշի նախնական կտրվածքի մակերեսն է, մմ²,

Fվգ-ն նմուշի կտրվածքի մակերեսն է, որը համապատասխանում է առավելագույն ուժին, մւժ:

Կառուցվել են հոսունության լարման և հարաբերական նեղացման՝ σ_s - ψ , ինչպես նաև հոսունության լարման և հարաբերական երկարացման՝ σ_s - ε գրաֆիկները, որոնք բերված են նկ.7-ում:

Նշված գրաֆիկները ցույց են տալիս, որ փորձարկումների տվյալներին ավելի լավ են համապատասխանում σ - Ψ գրաֆիկի ցուցանիշները, որոնք համարյա համընկնում են փորձնական տվյալների հետ:



Նկ.7. Հոսունության լարման և հարաբերական նեղացման (ա), հոսունության լարման և հարաբերական երկարացման (բ) կախվածությունը

Աղյուսակ 2

Փորձնական և գրաֆիկական ցուցանիշների համադրում

Համաձուլվածք	Փորձնական σ_d , ՄՊա	σ_d , ըստ σ_s - Ψ գրաֆիկի, ՄՊա	σ_d , ըստ σ_s - ε գրաֆիկի, ՄՊա
ձուլումից հետո	536	528	553
250°C, պահում 2.5 ժամ, սառեցում օդում (կարգավ.)	607	600	640
250°C, պահում 2.5 ժամ, սառեցում վառարանում	731	718	731

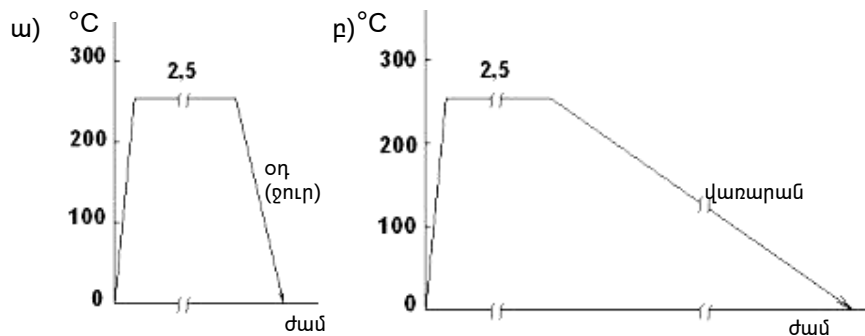
Միաժամանակ որոշվել է ձուլված և տարբեր ռեժիմներով ջերմամշակված համաձուլվածքների ամրացման ցուցանիշները՝ ուր: Այն բնութագրում է մետաղի ամրացման ունակությունը պլաստիկ դեֆորմացման ընթացքում: Այդ մեծությունը ձգման փորձարկման դեպքում ֆունկցիոնալ կապված է հարաբերական նեղացման հետ [4, 5]:

$$n = \frac{\Psi_{\text{պ}}}{1 - \Psi_{\text{պ}}} :$$

Դեֆորմացման ամրացման ցուցանիշը առավելագույն է կարգավորված նմուշների համար.

$n_d=0,20$ ձուլված համաձուլվածքների համար,
 $n_{\text{օդ}}=0,25$ 250°C, 2,5 ժամ պահում, օդում սառեցումից հետո,
 $n_{\text{վառ}}=0,136$ 250°C, 2,5 ժամ պահում, վառարանում սառեցումից հետո:

Կատարված հետազոտությունների հիման վրա մշակվել են նախնական և վերջնական ջերմամշակման տեխնոլոգիաներ (նկ.8): Որպես նախնական ջերմամշակման տեխնոլոգիա ընտրված է 250°C տաքացում, պահում 2,5 ժամ և սառեցում օդում կամ ջրում՝ կախված նմուշի հաստությունից:



Նկ.8. Նախնական (ա) և վերջնական (բ) ջերմամշակման տեխնոլոգիական սխեմաները

Այս ռեժիմը ապահովում է նվազագույն կարծրություն և առավելագույն պլաստիկություն, այսինքն՝ մշակելիության բարձրացում: Որպես վերջնական ջերմամշակման տեխնոլոգիա ընտրվել է 250°C տաքացում, պահում 2,5 *ժամ* և սառեցում վառարանի հետ միասին՝ ~7°C/ժ արագությամբ, որն ապահովում է առավելագույն կարծրություն և ամրություն, այսինքն բարելավվում են շահագործման հատկություններն ու ապրանքային տեսքը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Мальшев В.М., Румянцев Д.В.** Золото. -М.:Металлургия, 1979. -286с.
2. **Золоторевский В. С.** Механические свойства металлов. 3-е изд. -М.:МИСИС, 1998. -400с.
3. **Металлы. Методы механических и технологических испытаний.** -М.:Изд. стандартов, 1965. -236с.
4. **Сторожев М. В., Попов Е.А.** Теории обработки металлов давлением. -М.: Высшая школа, 1963. -389с.
5. **Кроха В.А.** Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник. - М.:Машиностроение, 1980. -157с.

ՀՊՀՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.03.2009:

А.А. АЛАЯН, Л.Р. ГАЛСТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТОГО СПЛАВА БЕЛОГО НИКЕЛЬ-ЦИНКОВОГО ЗОЛОТА 585-Й ПРОБЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМООБРАБОТКАХ

Проведено исследование структуры и свойств литого сплава белого никель-цинкового золота 585-й пробы методами рентгенографических, металлографических, дериватографических анализов при различных термообработках. Разработаны режимы предварительных и окончательных термообработок.

Ключевые слова: термообработка, проба, белое золото, сплав, рентгенографический, металлографический, дериватографический, анализ.

A.A. ALAYAN, L.R. GALSTYAN

RESEARCH OF STRUCTURE AND PROPERTIES FOR CASTED 585 STANDARD WHITE NICKEL-ZINC GOLD ALLOY IN DIFFERENT HEAT TREATMENTS

By X-ray, metallographic, derivatographic analysis methods the structure and properties of casted 585 standard white nickel-zinc gold alloy are studied in different heat treatments. The regimes of preliminary and final heat treatments are developed.

Keywords: heat treatment, standard, white gold, alloy, X-ray, metallographic, derivatographic, analysis.

L.YE. SARGSYAN, MOATASEM M. KH.

MINERALOGY PARTICULARITIES OF GOLD-BEARING SULPHIDIC POLYMETALLIC ORES

The Shaumyan sulphidic collective polymetallic concentrate analysis is carried out by X-ray and microscopic methods, in order to estimate by its example the mineralogical structure and interrelation of minerals for this type of gold bearing copper – zinc – lead complex ores, from the point of view valuable metals recoverability. It is shown that the gold and silver are allocated mainly in sulphide grains which must be decomposed to recover the noble metals. And the some minerals are combined so closely with each other (especially, sphalerite with chalcopyrite and chalcopyrite with galena) that it is quite impossible to separate them in ordinary industrial milling and flotation conditions.

Keywords: mineralogy, sulphide, polymetallic concentrate, chalcopyrite, sphalerite, galena, pyrite, quartz.

The scope of this study is to determine the mineral composition of gold- and silver-bearing ore occurrences in Shaumyan (town Kapan, Armenia) deposit in relation with Um Samuki deposit (Eastern Desert, Egypt) to assess potential behavior of corresponding concentrates in the metallurgical treatment cycle. Both of them are sulphide polymetallic (complex) deposits. Its mineralogical compositions and metallogenic associations are similar.

Shaumyan ore is a copper – zinc - lead sulphide deposit in the southern area of Armenia [1]. It is a polymetallic (complex) ore. Gold – sulphide formation mineral bodies cause the middle drif. They are represented mainly by quartz – sulphide reefs embedded with mineral belts. The average contents of gold is 2.5 g/t, silver 50 g/t, copper 0.6 %.

Um Samuki is a gold bearing volcanogenic massive zinc – copper - lead sulphide deposit in an area of very rugged topography amidst the belt of island arc volcanic rocks [2]. It is the largest in the Egyptian volcanic hosted reserves and the best in ore grade.

Two distinct spatial and mineralogical associations of gold mineralization are identified:

a) Au – Ag – Zn association where gold grades are very low (generally in the range of 0.3...0.4 g/t) and silver is anomalous, averaging 109.25 g/t. This association occurs typically in the upper levels of the deposit where low-temperature sulphides are abundant. This association deposits in the initial stage of the massive sulphide body development where gold was transported as thio-complex $\text{Au}(\text{H}_2\text{S})$ with significant amounts of lead, zinc and silver, usually in the range of 150...250 °C.

b) Au – Cu association typically occurs in the footwall rock alteration zone (the keel zone) and the lowest parts of the massive sulphide body. Gold grades reach up to 5.54 g/t but average is 1 g/t. Silver is very low, usually in the range of 4...10 g/t. Lead usually, but not always, accompanies gold in this association. This association deposited in the later stages where gold and copper were transported as chloride complexes, in relatively high-temperature fluids (> 300 °C) with low pH (< 4.5), low H_2S concentration, high salinity (greater than that of seawater) and moderate to high oxygen fugacity. Deposition took place due to decreasing pH conditions.

The X-ray diffraction analysis, used to identify the main minerals of Shaumyan collective polymetallic concentrate from a commercial batch, is performed on a DRON-2.0 diffractometer

(Russia) with Cu-K α radiation at the Rentgenometric laboratory of SEUA. The diffractogram interpretation was made with American X-ray ASTM Card File [3].

The concentrate size distribution is evaluated using the conventional screening test with a ro-tap and a set of screens from 45 to 160 *microns* particle size and the density is measured using the classical pycnometer method.

Inspection with a light microscope is used to identify and examine gold and silver as well as sulphide mineral particles and their characteristics. For this study the powder samples are mounted in cylindric glass lames with an epoxy resin and carefully polished. Morphological characteristics studied included particle shape (rounded, elongated, irregular, folded, etc.), particle size range, presence and simple percentage of minerals and free metals other than gold, crystalline characteristics (optically flat surfaces, twinned or multiple crystals, and straight edges not created by fracture), surface irregularities (scratching, amalgamation, oxides, traces of gangue materials, fractures, holes, clusters), and general color (rough determination of gold purity and possible surface oxidation).

As it is properly seen from the photomicrograph in Fig. 1 and diffractogram in the Fig. 2, the ore minerals of Shaumyan orebody are represented mainly by sphalerite (ZnS), chalcopyrite (CuFeS₂), galena (PbS), pyrite (FeS₂) and minor tennantite ((Cu,Fe,Ag)As₄S₁₃). Secondary minerals include iron hydroxides (FeOOH, FeOOH.nH₂O), single grains of gold and silver tellurides (Ag₂Te, (Au,Ag)₂Te), native gold and silver. For the case of Um Samuki orebody has nearly the same minerals: sphalerite, chalcopyrite, pyrite, marcasite and galena [4].

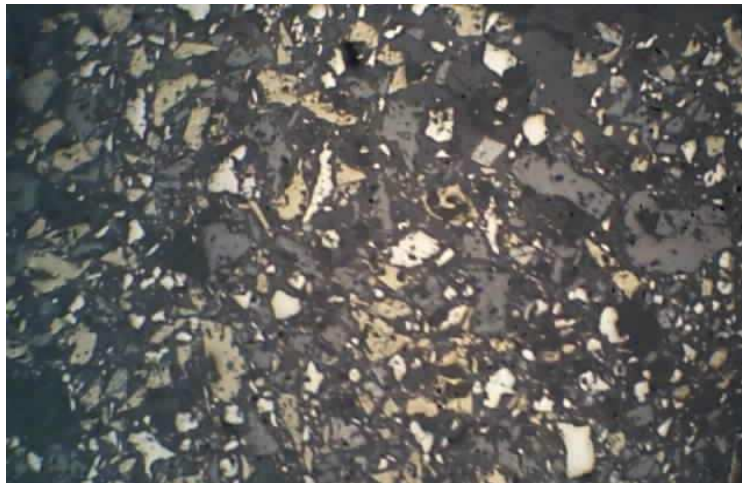


Fig. 1. Photomicrograph (x100) of Shaumian polymetallic concentrate showing complex mineralization mainly by various sulphides, tellurides, iron hydroxides and quartz

On the whole 90...95 % sulphides, about 1 % iron hydroxides, and 5 % gangue minerals (mainly quartz) are present in this concentrate.

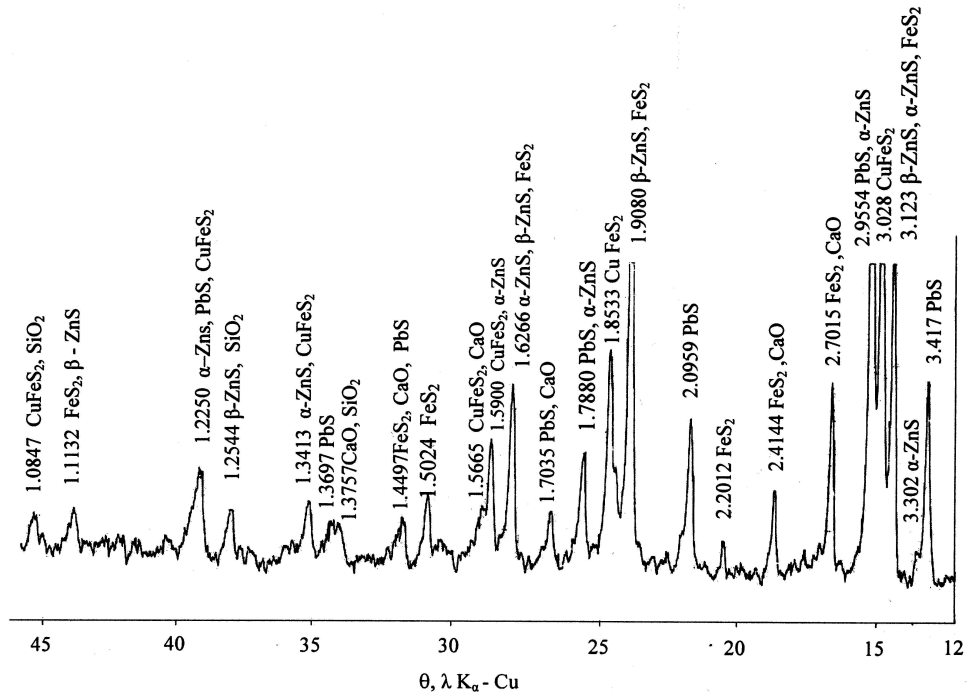


Fig. 2. Diffractogram scanned with the Shaumian polymetallic collective concentrate

Sphalerite (ZnS) values range 30 to 35 % of the tested concentrate. On the photomicrograph the sphalerite is presented as the free grains as well as in combinations with other sulphide minerals. In some sphalerite grains the chalcopyrite is emulsively by enclosed (random position) and rarely enclosed with gold and silver telluride as well as colloidal particles of native gold and silver.

Chalcopyrite (CuFeS₂) values range within 20...25 % of the concentrate. Mainly it occurs in free grain form with dimensions from some *microns* to 0.05 *mm*. Inclusions of pyrite small grains are observed in the grains of 0.08 *mm*. Certain associations of chalcopyrite with tennantite and sphalerite are noted. Sometimes the spheroidal small including of gold and silver tellurides in 0.01 *mm* sizes are observed in the chalcopyrite grains.

Galena (PbS) values range about 10 % of concentrate. It is present mainly in free grain forms and very rarely combined with chalcopyrite grains.

The pyrite (FeS₂) is present in large amounts. Its values range from 20 to 25 % of concentrate. Pyrite is observed mainly as free grains. Sometimes combinations with chalcopyrite and quartz take place. Sometimes the inclusions of sphalerite and chalcopyrite are enclosed in pyrite grains. The big pyrite grains are cut by mass of thin veins of chalcopyrite, chalcopyrite-tennantite and chalcopyrite-sphalerite-tennantite.

Native gold is observed as the spheroidal free grains with a particle size of 0.01 *mm* in sphalerite and chalcopyrite (fig. 3).

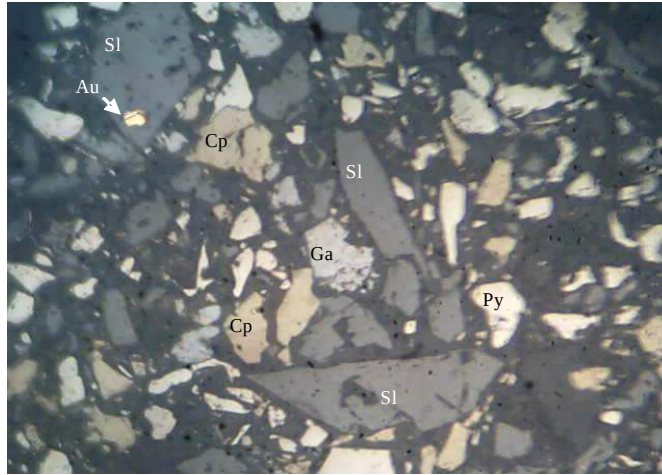


Fig. 3. Photomicrograph (x250) of main mineralization of Shaumian polymetallic concentrate: sphalerite (Sl) in which native gold grain (Au) is observed, chalcopyrite (Cp), galena (Ga) and pyrite (Py)

Native silver occurs more often than gold and is observed in grains of sphalerite, chalcopyrite and galena. Its dimensions are up to 5...7 *microns* (Fig.4).

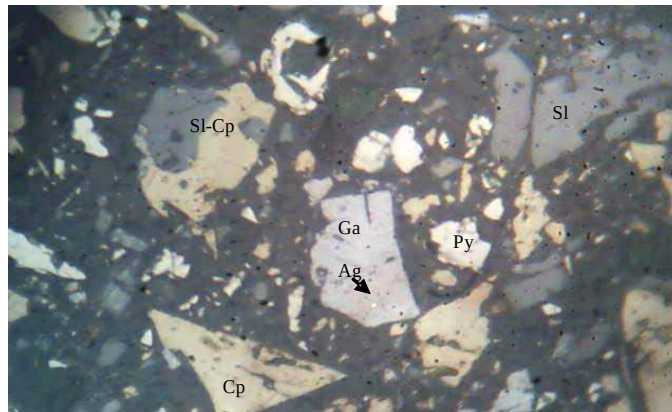


Fig. 4. Photomicrograph (x400) of Shaumian polymetallic concentrate showing sphalerite (Sl) occurred at the boundary of chalcopyrite (Cp), free grains of sphalerite (Sl), chalcopyrite (Cp) and pyrite (Py) and native silver (Ag) occurred in galena (Ga) grain

The tennantite mineral that is argentiferous tennantite – $(\text{Cu,Fe,Ag})\text{As}_4\text{S}_{13}$ is noted mainly in combinations with chalcopyrite, sometimes with sphalerite and pyrite.

The tellurids are present mainly by smaller enclosures of hessite (Ag_2Te) and pedzite $((\text{Au,Ag})_2\text{Te})$ into grains of sphalerite, chalcopyrite and galena (particle size of 0.02 *mm*), sometimes in cramped associations with native gold.

Iron hydroxides (FeOOH , $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) compose less than 1 % of concentrate. They are in the sulphide minerals in a form of thin veins, and very rarely it can be found full oxidized grains as "relict-islands" of sulphides.

Gangue (that is the worthless minerals) values range about 5 % of concentrate. They are present with the quartz, carbonats and rocks containing dilute enclosures of pyrite, sphalerite and chalcopyrite.

As a result, gold and silver in sulphidic polymetallic complex ores are allocated mainly in sulphide grains which must be decoposed to recover the noble metals. Some minerals are combined so closely with each other (especially, sphalerite with chalcopyrite and chalcopyrite with galena) that it is quite impossible to separate them in ordinary industrial milling and flotation conditions.

REFERENCES

1. Геология Армянской ССР. Металлические полезные ископаемые / Под. ред. **С.С. Мкртчяна**. - Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1967.- 538 с.
 2. **Botros N.Sh.** A new classification of the gold deposits of Egypt // Ore Geology Reviews 25.- 2004.- P. 1-37.
 3. ASTM Card File, ASTM, Philadelphia, 1969.
 4. **Deyab T.M.** A study on the geology and genesis of some Zn - Pb deposits in the Eastern Desert of Egypt (Um Samuki and Um Gheig areas): MSc thesis/ Ain Shams University.- Egypt, 1986.- 85 p.
- SEUA. The material is received 19.03.2009.

Լ.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ՄՈԱՏԱՍԵՄ Մ.Ֆ.

ՈՍԿԵՏԱՐ ՍՈՒԼՖԻԴԱ-ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄԻՆԵՐԱԼՈԳԻԱՅԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ռենտգենաֆազային և մանրադիտակային վերլուծության մեթոդներով հետազոտվել է Շահումյանի միասնական սուլֆիդա-բազմամետաղային խտանյութը՝ դրա օրինակով գնահատելու համար այդ համալիր տեսակի ոսկետար պղինձ – ցինկ – կապարային հանքանյութերի միներալոգիական կազմը և միներալների փոխհարաբերությունը՝ արժեքավոր մետաղների կորզվելիության առումով: Ցույց է տրված, որ ոսկին և արծաթը բաշխված են հիմնականում սուլֆիդային հատիկներում և որ դրանք պետք է քայքայվեն, որպեսզի կորզվեն ազնիվ մետաղները: Որոշ միներալներ այն աստիճանի են սերտաճած մեկը մյուսին (հատկապես, սֆալերիտը խալկոպիրիտի հետ և խալկոպիրիտը՝ գալենիտի), որ անհնար է դրանց տարանջատել հանքանյութի սովորական արտադրական մանրացման և ֆլոտացման պայմաններում:

Առանցքային բաներ. միներալոգիա, սուլֆիդ, բազմամետաղային խտանյութ, խալկոպիրիտ, սֆալերիտ, գալենիտ, պիրիտ, քվարց:

Л.Е. САРГСЯН, МОАТАСЕМ М.Ф.

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУДОМАТЕРИАЛОВ

Методами рентгенофазового и микроскопического анализов исследован Шаумянский коллективный полиметаллический концентрат для оценки на его примере минерального состава и взаимоотношениях минералов в такого рода комплексных золотосодержащих медь-цинк-свинцовых рудоматериалах с точки зрения извлекаемости ценных металлов. Показано, что золото и серебро распределены в основном в сульфидных зернах, которые должны быть разложены для извлечения благородных металлов. Некоторые минералы объединены настолько тесно (особенно сфалерит с халькопиритом, халькопирит с галенитом), что вовсе невозможно разделить их в обычных условиях производственного измельчения и флотации.

Ключевые слова: минералогия, сульфид, полиметаллический концентрат, халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, кварц.

Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

ԽԱԼԿՈՂԻՐԻՏԻ ՎԱՐՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՊՂՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԻ
ՀԻՂՈՔԼՈՐԻԴՍՅԻՆ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

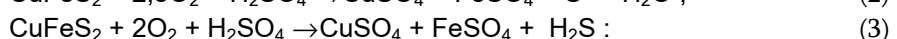
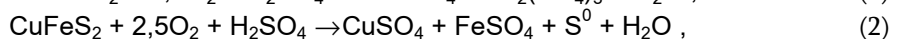
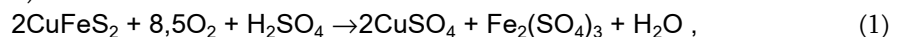
Խալկոպիրիտի վարքը պղնձի երկվալենտ իոններ պարունակող նատրիումի քլորիդի 30%-անոց ջրային լուծույթում հետազոտված է ջերմաժանրաչափական ու դիֆերենցիալ-ջերմային վերլուծության և նորմալ պայմաններում տարրալուծման եղանակներով: Ցույց է տրված, որ խալկոպիրիտը նորմալ պայմաններում ամբողջովին տարրալուծվում է 85°C-ում՝ խլուսի անընդհատ խառնման և օդամղման դեպքում:

Առանցքային բառեր. խտանյութ, խալկոպիրիտ, հիդրոքլորիդային տարրալուծում, դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծություն, քլորիդ-իոն:

Խալկոպիրիտը (CuFeS_2) պղնձի ամենազխավոր միներալն է՝ 34,5% Cu պարունակությամբ: Պղնձի մյուս միներալների՝ բորնիտի (Cu_5FeS_4), խալկոզինի (Cu_2S), կովելինի (CuS), մալախիտի ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), ազուրիտի ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), կուպրիտի (Cu_2O), տենորիտի (CuO) և քրիզոկոլայի ($\text{CuSiO}_3(2\text{H}_2\text{O})$) համեմատությամբ, այն ամենադժվարահալն է ու «համառը» (վերամշակվելիության տեսակետից) [1]: Պղնձի կորզումը դրանից իրականացվում է հիմնականում պիրոմետալուրգիական եղանակով:

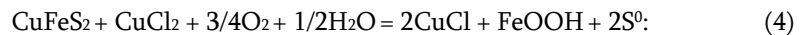
Բովվածքների հիդրոմետալուրգիական վերամշակման (տարրալուծման) մեթոդի կիրառումը խալկոպիրիտային խտանյութերի նկատմամբ, ի տարբերություն ցինկի խտանյութի (հիմնականում ZnS), գործնականում չի կիրառվում, քանի որ խորին («մեռյալ») բովման ժամանակ բարձր ջերմաստիճաններում գոյանում է մեծ քանակությամբ պղնձի ֆերիտ (CuFe_2O_4), որը շատ դժվար է լուծվում թթվային և հիմնային լուծույթներում [2]: Խալկոպիրիտի ուղղակի թթվային կամ հիմնային տարրալուծումը նույնպես կապված է որոշակի դժվարությունների հետ: Այսպես, ծծմբական թթուն չի լուծում խալկոպիրիտին, սակայն պրոցեսն ինտենսիվանում է հիդրոլիզի ընթացքում գոյացած երկաթի աղերով: Լուծույթում նատրիումի քլորիդի ավելացման դեպքում խալկոպիրիտի լուծելիությունը ծծմբական թթվում շատ ավելի զգալի է դառնում [3]: CuFe_2O_4 – ը նույնիսկ 0,1% NaCN – ի ջրային լուծույթում, 45°C – ում տարրալուծվում է ընդամենը 8,2% – ով [4]:

Պղնձի սուլֆիդների օքսիդացման ավտոկլավային գործընթացներն ընթանում են համեմատաբար բարձր ջերմաստիճաններում (մինչև 300°C) և թթվածնի բարձր ճնշման (մինչև 2500 ԿՊա) պայմաններում՝ կիրառելով ծծմբաթթվային և ամոնիակային լուծույթները [5, 6]: Մասնավորապես, խալկոպիրիտի օքսիդացումը ծծմբաթթվային լուծույթում 120...180°C ջերմաստիճաններում, թթվածնի 175...2550 կՊա ավելցուկային ճնշման և լուծույթի $\text{pH} = 0,7...2$ պայմաններում ինտենսիվանում է թթվածնի ճնշման ավելացմանը զուգընթաց, սակայն 180°C-ում ճնշման աճը գրեթե չի ազդում լուծելիության վրա: Բարձր թթվայնության և թթվածնի ավելցուկային ճնշման աճի դեպքում էլեմենտար ծծումբ է անջատվում, մինչդեռ 700 կՊա-ից ցածր ճնշման դեպքում անջատվում է ծծմբաջրածին (H_2S)՝



Նկ.1-ում բերված դերիվատոգրից երևում է, որ խտանյութի տարրալուծման գործընթացը բաղկացած է երկու տարաբնույթ փուլերից, կապված խտանյութի հիմնական բաղադրիչի՝ խալկոպիրիտի փոխարկումների հետ, որոնք ուղեկցվում են համապատասխան ջերմակլանիչ և ջերմաանջատիչ էֆեկտներով և նմուշի զանգվածի փոփոխությամբ (տես DTA, TG և DTG կորերը):

Նմուշի զանգվածի կորուստը 145 *քույե* տևողությամբ առաջին փուլում (25...86 °C), ակնհայտորեն, պայմանավորված է խլուսում առկա H₂O-ի գոլորշիացմամբ, որն ուղեկցվում է համապատասխան ջերմակլանիչ էֆեկտով DTA կորի վրա: Նույն տիրույթում փորձով ապացուցված է նաև խալկոպիրիտային պղնձի անցումը դեպի լուծույթ իր ելային բաղադրության 6,5%-ի չափով, որն ակնհայտորեն պայմանավորված է խալկոպիրիտի հիդրոքլորիդային տարրալուծման ռեակցիայով՝



Չնայած FeOOH-ի թերմոդինամիկական տվյալների բացակայության պատճառով հնարավոր չէ հաշվել (4) ռեակցիայի էնթալպիայի ու էնտրոպիայի փոփոխությունների արժեքները և կազմել Գիբսի ազատ էներգիայի ջերմաստիճանային կախվածության հավասարումը, սակայն, ինչպես կարելի է նկատել T կորի ընթացքից, այդ ռեակցիան ուղեկցվում է շատ մեծ ջերմակլանիչ էֆեկտով, այնքանով մեծ, որ կարողանում է շեղել նմուշի ջերմաստիճանի փոփոխության ֆունկցիան ուղղագծային օրենքից (վառարանի ջերմաստիճանը բարձրանում է 5°C/րոպե հաստատուն արագությամբ, անկախ նմուշի ջերմաստիճանից): Ընդ որում, T կորի շեղումը սկսվում է ~ 65 °C-ից, որը կարելի է համարել խալկոպիրիտի հիդրոքլորիդային տարրալուծման սկզբի ջերմաստիճանը:

Ջրի գոլորշիացման և խալկոպիրիտի տարրալուծման ռեակցիաների հետևանքով DTA կորի 25-ից մինչև 86 °C հատվածում առաջ եկած ընդհանուր ջերմակլանիչ էֆեկտից հետո ի հայտ է գալիս նոր ջերմակլանիչ էֆեկտ 96°C մաքսիմումով, որն ակնհայտորեն պայմանավորված է մնացորդային ջրի եռման ու ինտենսիվորեն գոլորշիացման հետ, ինչը T կորի վրա արտահայտված է 100°C պիկով:

Պրոցեսի մեկնարկից 145 *քույե* անց, նմուշի լրիվ ջրազրկումից հետո (այդ պահից սկսած դադարում է նմուշի զանգվածի կորուստը), խալկոպիրիտի փոխազդեցությունը պղնձի երկվալենտ քլորիդի հետ պայմանավորված կլինի պինդ ֆազային հետևյալ էկզոթերմիկ ռեակցիայով՝



$$\Delta G^0 = -281,8 - 0,122 T \text{ կՋ/մոլ},$$

որի ջերմաանջատիչ էֆեկտն իր մեծությամբ, ինչպես նաև նմուշի զանգվածը մնում են գրեթե անփոփոխ մինչև պրոցեսի ավարտը (տես DTA, TG և DTG կորերը): Այդ փաստը ապացուցված է պրոցեսի վերջում ստացված արգասիքում միավալենտ պղնձի բաղադրության վերլուծության արդյունքներով:

Նմուշի տարրալուծման անհամեմատ ցածր արագությունը դերիվատոգրաֆային պայմաններում պայմանավորված է նրանով, որ մի կողմից հնարավոր չէ խառնել խլուսը և նրանում օդամղում իրականացնել, իսկ մյուս կողմից՝ կանխել ջրի գոլորշիացումը (առկա է մասշտաբային գործոնի դերը, քանի որ փոքրածավալ նմուշը տեղադրված է համեմատաբար շատ մեծ վառարանային տարածքում): Խլուսի անշարժության պատճառով տարրալուծման սկզբնական շրջանում ռեակցիայի հետևանքով անջատված

տարրական ծծումբը, ինչպես հայտնի է [7], աստիճանաբար ծածկելով միներալի մակերևույթը, մեկուսացնում է այն լուծույթի քայքայիչ ազդեցությունից:

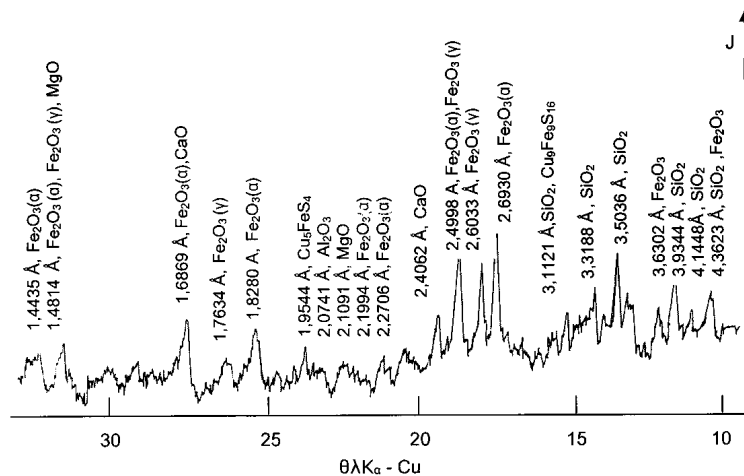
Իրական պայմաններում (առանց դերիվատոգրաֆի), քանի որ խլուսն ինտենսիվորեն խառնվում է և պրոցեսի ընթացքում կատարվում է անընդհատ օդամղում, ծծմբի անջատվածքները չեն կարող պատել միներալի հատիկները (փորձը ցույց է տալիս, որ դրանք նույնիսկ ֆլոտացվում են դեպի լուծույթի մակերես), որի շնորհիվ տարրալուծումն իրականանում է կինետիկական ռեժիմում, բարձր արագությամբ (աղյուսակ 2), իսկ խալկոպիրիտային երկաթն ուղղակիորեն է օքսիդանում մինչև հեմաթիտի (առանց միջանկյալ FeOOH -ի գոյացման):

Աղյուսակ 2

85°C-ում, խլուսի անընդհատ խառնման և ինտենսիվ օդամղման պայմաններում խալկոպիրիտային խտանյութի հիդրոքլորիդային տարրալուծման տվյալները

Տևողությունը, ժամ	2	4	6	8	18
Պղնձի տարրալուծման աստիճանը, %	16,5	28,2	41,1	53,3	96,7

Ռենտգենակառոցվածքային վերլուծության (ժՇԿԾ-2,0 , $\text{CuK}\alpha$ -ճառագայթմամբ) տվյալներով (նկ.2) 18 տևողությամբ կատարված տարրալուծման սորախցուկի հիմնական բաղադրիչը իրոք Fe_2O_3 -ն է:



Նկ.2. Խալկոպիրիտային խտանյութի տարրալուծման սորախցուկի ռենտգենագիրը

Այսպիսով, խալկոպիրիտը հուսալիորեն կարող է տարրալուծվել պղնձի երկվալենտ իոններ պարունակող նատրիումի քլորիդի հազեցած ջրային լուծույթում խլուսի ինտենսիվ խառնման և օդամղման պայմաններում: Որպես տարրալուծման գործընթացի լավարկված ջերմաստիճան երաշխավորվում է 85°C-ը: Պրոցեսի տևողությունը կախված է միներալի հատիկաչափական կազմից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Tranquilla J.M.** Mineral Extraction and the Use of Microwaves // Proceedings of CIM Conference.- Vancouver, British Columbia, Canada, April 27, 1997.
2. **Antonucci V.**, Correa C. Sulfuric Acid Leaching of Chalcopyrite Concentrate Assisted by Application of Microwave Energy // Proceedings of the Copper 95-Cobra 95 International Conference.-1995.-V.3.- P.549-557.
3. **Munoz-Ribadeneiza F.J., Gombert H.J.** // Nucl. Technol.-1971.- V.11, №3.-P. 367-371.
4. **Hedley N., Tabachnick H.** Chemistry of cyanidation. Mineral Dressing Notes 23 / American Cyanamid Company. - New York.-1958.
5. **Warren J.H., Austra I.** // J. Appl. Sci.-1958.-V.9, №1.-P.36-51.
6. **Набойченко С.С., Доржпурев М.** Автоклавное сернокислотное выщелачивание халькозинового концентрата месторождения <<Эрденет>> // Изв. вузов. Цветная металлургия.- 1982.-№6.-С.29-31.
7. **Peters E.** Leaching of sulphides // Advances in Mineral Processing/ Ed. P. Somasundaran. - SME-AGME.- P. 445-462.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.03.2009:

А.М. ОГАНЕСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ХАЛЬКОПИРИТА В ПРОЦЕССЕ ГИДРОХЛОРИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Исследовано поведение халькопирита в 30%-ном водном растворе хлорида натрия, содержащего Cu(II) ионы, методом термогравиметрического и дифференциально-термического анализа в нормальных условиях. Показано, что халькопирит в нормальных условиях полностью выщелачивается при 85 °С с непрерывным перемешиванием пульпы и подачей воздуха.

Ключевые слова: концентрат, халькопирит, гидрохлоридное выщелачивание, дериватограмма, двуххлорид.

A.M. HOVHANNISYAN

CHALCOPYRITE BEHAVIOUR INVESTIGATIONS IN COPPER CONCENTRATE LEACHING PROCESS

The behaviour of chalcopyrite in 30% sodium chloride aqueous solution with Cu(II) ions is investigated by the methods of thermogravimetric and differential-thermic analysis and leaching in normal conditions. It has been shown that chalcopyrite can completely be leached in normal conditions at 85⁰C, with continually pulp agitation and air innings.

Keywords: concentrate, chalcopyrite, hydrochloridation leaching, differential-thermic analysis, chloride-ion.

Ա.Հ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ս.Մ. ԻՍԴԱՅԵԼՅԱՆ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՍԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԵՐՈՒՑ ՄԱՔՈՒՐ ԵՎ ԴԻՄԴԵՐՍ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ԴԻՍՈՒԼՖԻԴԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Մշակվել է մոլիբդենիտային խտանյութերից մաքուր և դիսպերս մոլիբդենի դիսուլֆիդի ստացման տեխնոլոգիա: Հետազոտվել են ֆլոտոռեագենտներից մաքրման և պարզվածքագատման եղանակով շլամագերծման, խառնուրդների ընտրողական տարրալուծման եղանակով մոլիբդենիտային խտանյութերի մաքրման գործընթացները: Ընտրված են տեխնոլոգիական գործընթացների օպտիմալ ռեժիմները:

Առանցքային բառեր. մոլիբդենիտային խտանյութ, ֆլոտոռեագենտ, պարզվածքագատում, տարրալուծում, մոլիբդենի դիսուլֆիդ:

Բնական մոլիբդենիտի բյուրեղն ունի հեքսագոնալ շերտավոր կառուցվածք [1]: Տարրական բջիջն ունի վեց ատոմ ծծումբ, որոնք տեղակայված են մոլիբդենի ատոմների շուրջը՝ եռանկյուն պրիզմայի զագաթներում: Շերտավոր կառուցվածքի շնորհիվ մոլիբդենի դիսուլֆիդը որոշակի պայմաններում տրոհվում է նանոչափերի բյուրեղների:

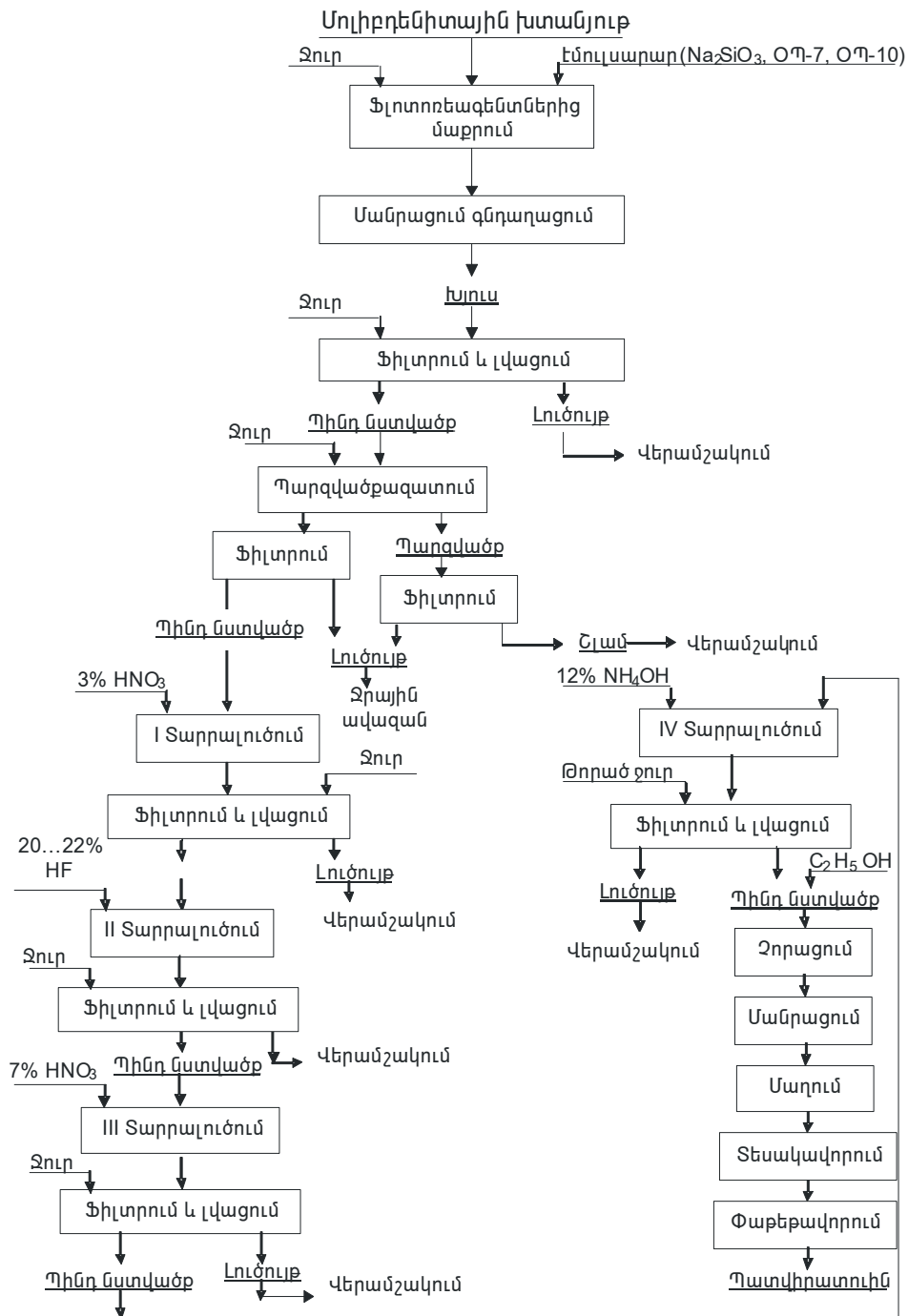
Պինդ մարմինների հալակում մոլիբդենի դիսուլֆիդն առաջացնում է սահմանային շերտեր և ձեռք է բերում յուղման հատկություններ: Տեխնիկայում այն օգտագործվում է որպես պինդ քսանյութ: Կիրառվում է պինդ թաղանթի տեսքով, երկարաժամկետ քսանյութ ճշգրիտ մեխանիկայում, փոշեձև քսանյութ գլոցման և գլանման գերծընթացներում, յուղերում և պլաստմասաներում որպես հավելանյութ, ինչպես նաև մետաղակերամիկական և պոլիմերային հակաշփական նյութերում և այլն [2]:

Հայտնի եղանակներով մաքուր $2H - MoS_2$ -ի ստացումը պահանջում է ռեագենտների մեծ ծախս և երկարաժամկետ մշակում [3-6]:

Աշխատանքի նպատակն է՝ մշակել տեղական մոլիբդենիտային խտանյութերի համալիր վերամշակմամբ նոր, բնապահպանական նորմերին բավարարող տեխնոլոգիա, որը թույլ կտա ստանալ բարձր մաքրության և դիսպերսության մոլիբդենի դիսուլֆիդ:

Մոլիբդենիտային խտանյութերից բարձր մաքրության և դիսպերսության մոլիբդենի դիսուլֆիդի ստացման տեխնոլոգիական սխեման բերված է նկ. 1-ում: Հետազոտությունների համար որպես ելանյութ է ընտրվել Քաջարանի պղնձամոլիբդենային կոմբինատի կողմից թողարկված մոլիբդենիտային խտանյութը: Խտանյութի օրինակելի քիմիական բաղադրությունը բերված է աղյուսակում:

Մոլիբդենիտային խտանյութը պարունակում է 2...4% ֆլոտոռեագենտներ, որոնք արդյունաբերական նավթայուղեր են, կերոսին, բուտիլային քսանթագենատ և այլն: Մյուսը զգալի դժվարություններ են առաջացնում խտանյութերի, խառնուրդներից մաքրման հիդրոմետալուրգիական գործընթացում: Խառնուրդների մասնիկները պատված են յուղերի թաղանթով, և եթե այն չհեռացվի մասնիկի մակերևույթից, ապա ընտրողական տարրալուծման գործընթացում մասնիկները կմնան լուծիչի նկատմամբ մեկուսացված, բացի դրանից, դժվարանում է նաև մայրակ լուծույթներից մոլիբդենի կորզումը: Այդ իսկ պատճառով, առաջնային խնդիր է խտանյութերի մաքրումը այդ յուղերից:



Նկ.1. Մաքուր մոլիբդենի դիսուլֆիդի ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Մոլիբդենիտային խտանյութերի օրինակելի քիմիական կազմը, %									
Mo	Cu	Fe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Re	H ₂ O+ֆլուտո- ռեագենտ
48,4	0,87	2,75	33,1	6,14	1,06	1,02	0,47	0,025	8,0

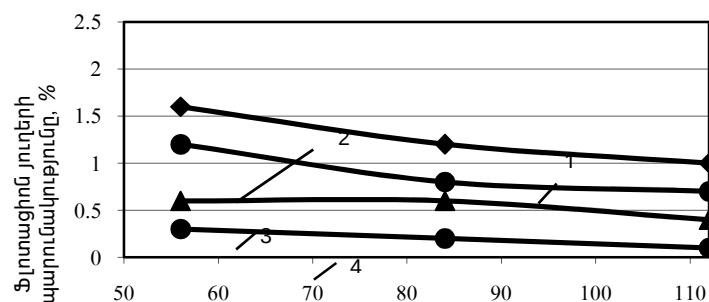
Ֆլուտոռեագենտներից խտանյութի մաքրումը կատարվել է էմուլսարարների ջրային լուծույթներով (նատրիումի մետասիլիկատ, ՕՊ - 7, ՕՊ - 10), որոնք օժտված են լվացող հատկություններով: Դրանք չեզոքացնում են ճարպաթթուները՝ առաջացնելով համապատասխան թթուների լուծվող աղեր, որոնք գտնվում են լուծույթում՝ կախված վիճակում: Փորձարկվել են Na₂SiO₃-ի և ՕՊ-7-ի օգտագործման մի քանի տարբերակներ:

1) խտանյութի նախնական մաքրումը կատարվել է նատրիումի մետասիլիկատի և ՕՊ-7-ի ջրային լուծույթով սենյակային ջերմաստիճանում և 80°C-ում,

2) խտանյութը մանրացվել է աղացում՝ նատրիումի մետասիլիկատի և ՕՊ-7-ի առկայությամբ՝ սենյակային ջերմաստիճանում,

3) այդ խառնուրդի խմորանման զանգվածի մանրացումը աղացում:

Արդյունքների գրաֆիկական պատկերը բերված է նկ. 2-ում: Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ լավ արդյունքներ ստացվում են երկրորդ և երրորդ տարբերակների դեպքում:



Նատրիումի մետասիլիկատի քանակությունը, կգ/տ

Նկ. 2. Ֆլուտացիոն յուղերից խտանյութի մաքրման գործընթացի արդյունքները՝ կախված նատրիումի մետասիլիկատի պարունակությունից (1-սենյակային ջերմաստիճանում առանց մանրացման, 2- 80...85°C-ում առանց մանրացման, 3- սենյակային ջերմաստիճանում 15 րոպե մանրացմամբ, 4- 75 րոպե մանրացմամբ)

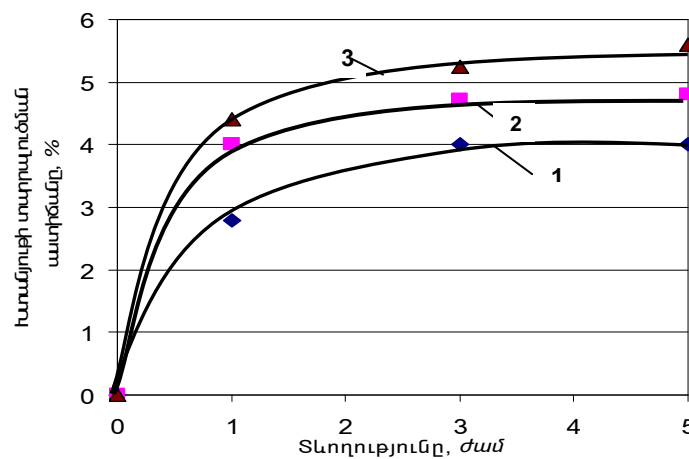
Ֆլուտոռեագենտների մաքրումից հետո հնարավորություն է ստեղծվում մանրացված խտանյութը պարզվածքազատման եղանակով մաքրել նաև շլամից՝ SiO₂-ից և ածխային մասնիկներից: Դրա համար լվացված խտանյութը խառնվում է ջրի հետ: Խառնուրդից երկու-երեք րոպե հետո, կախված տեսակարար կշիռների տարբերությունից (MoS₂ - 4,7...4,8 գ/սմ³, շլամը - 2,1...2,6 գ/սմ³), մոլիբդենի դիսուլֆիդը նստում է, իսկ շլամն այդ ընթացքում չի հասցնում նստել և հեռացվում է:

Այնուհետև ուսումնասիրվել է մոլիբդենիտային խտանյութերի մաքրումը Ca, Mg, Bi և մասնակի Fe, Al խառնուրդներից՝ երեք տոկոսանոց ազոտական թթվով տարրալուծման միջոցով: Ուսումնասիրությունները կատարվել են խառնուրդների

ընտրողական տարրալուծումով, առանց մոլիբդենի դիսուլֆիդի զգալի քայքայման: Փորձերը կատարվել են 20°C , 40°C , 60°C ջերմաստիճաններում և 1, 3, 5 ժամ տևողությամբ:

Նախատեսված ժամանակամիջոցում խառնելուց հետո խյուսը ֆիլտրվում է և ֆիլտրի վրա ջրով լվացվում է մինչև $\text{pH} = 6 \dots 6,5$: Ստացված լուծույթը և լվացման ջրերը հավաքվել և ենթարկվել են վերլուծության: Խտանյույթը չորացվել է և նույնպես ենթարկվել վերլուծության:

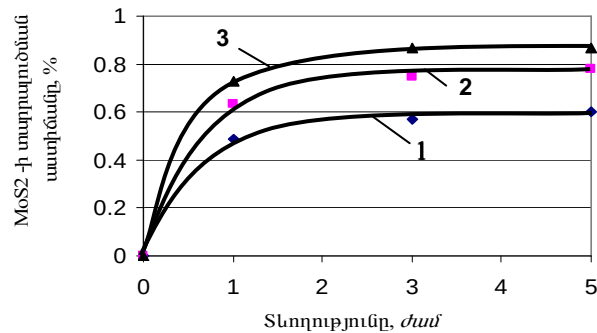
Հետազոտվել է ջերմաստիճանի և տևողության ազդեցությունը խտանյույթի, մոլիբդենիտի և երկաթի տարրալուծման աստիճանի վրա: Նկ. 3-ում բերված գրաֆիկից երևում է, որ խտանյույթի տարրալուծման գործընթացում ջերմաստիճանի ազդեցությունն ակնհայտ է և $1 \dots 2$ ժամ տևողության դեպքում խտանյույթի տարրալուծման աստիճանը զգալի աճում է: Ջերմաստիճանի հետագա բարձրացմամբ մինչև 60°C , ավելի քիչ տարբերություն է նկատվում: Տարրալուծման աստիճանը առաջին $1 \dots 1,5$ ժամվա ընթացքում կտրուկ աճում է, իսկ այնուհետև՝ նվազում:



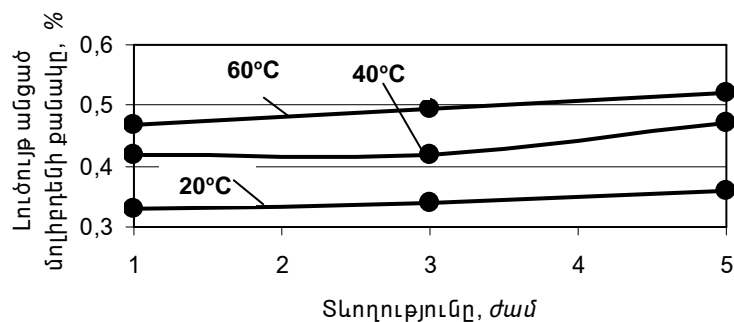
Նկ. 3. 3%- անոց ազոտական թթվով մոլիբդենիտային խտանյույթի տարրալուծման կինետիկան (1- 20°C -ում, 2- 40°C -ում, 3- 60°C -ում)

Մոլիբդենիտի տարրալուծման աստիճանը առաջին մեկ ժամվա ընթացքում աճում է, այնուհետև՝ կապված մոլիբդենաթթվի առաջացման հետ, մոլիբդենիտի տարրալուծման աստիճանը նվազում է, քանի որ մոլիբդենաթթուն արգելք է հանդիսանում՝ նստվածքաշերտ գոյացնելով MoS_2 -ի հատիկների վրա (նկ. 4):

Նկ. 5-ից երևում է, որ տարրալուծման ջերմաստիճանի և ժամանակի բարձրացմանը զուգընթաց մոլիբդենի անցումը լուծույթ (ըստ սկզբնական բաղադրության) աննշան է:



Նկ. 4. Տարրալուծման գործընթացում մոլիբդենիտի լուծման աստիճանի կախվածությունը պահման տևողությունից (1-20°C-ում, 2-40°C-ում, 3-60°C-ում)



Նկ. 5. Տարրալուծման գործընթացում մոլիբդենի լուծման աստիճանի (ըստ սկզբնական բաղադրության) կախումը գործընթացի տևողությունից

Նկ. 6-ում բերված է խտանյութից երկաթի տարրալուծման կինետիկական բնութագիրը: Խտանյութում երկաթի պարունակությունը 3,49%-ից նվազում է և 40°C-ում 5 ժամ տարրալուծելիս ստացվել է 2,98%, իսկ 60°C-ում՝ 2,86%: 40°C-ում 5 ժամ տարրալուծելիս երկաթի լուծելիությունը սկզբնականի համեմատ հասնում է 22,47%-ի, իսկ Ca, Mg, Bi լրիվ անցնում են լուծույթ: Օպտիմալ պայմաններն են՝ ջերմաստիճանը՝ 40°C, տևողությունը՝ 5 ժամ:

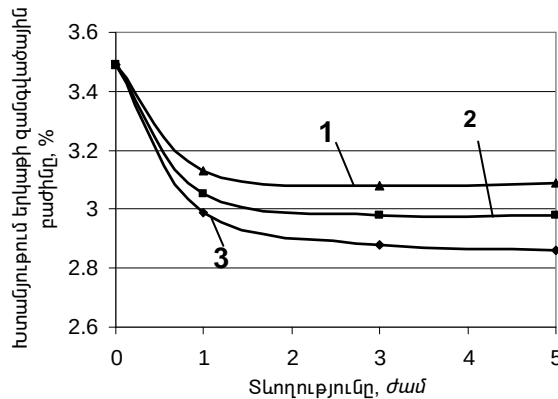
Քանի որ SiO₂-ը (քվարց) կցակապված է Fe-ի ու Cu-ի սուլֆիդների (FeS₂, CuFeS₂) հետ, նախապես ազատվում ենք SiO₂-ից: SiO₂-ից խտանյութի մաքրումը կատարվում է ֆտորաջրածնային թթվով տարրալուծմամբ: Ուսումնասիրվել է 20...22% ֆտորաջրածնային թթվով տարրալուծման գործընթացը 40 և 60°C ջերմաստիճաններում, 2...12 ժամ տևողության պայմաններում:

Տարրալուծումից հետո խյուսը ֆիլտրվել է և լվացվել մինչև pH=6,2...6,7 սահմաններում: Լվացված խտանյութը ենթարկվել է վերլուծության: Արդյունքները բերված են նկ. 7-ում: Գրաֆիկից երևում է, որ տվյալները լավանում են՝ ավելացնելով տարրալուծման ժամանակը և ջերմաստիճանը: Լավագույն տվյալները ստացվել են 60°C ջերմաստիճանում 12 ժամ տևողությամբ տարրալուծելիս: SiO₂-ը կազմել է 0,04...0,006%:

Միլիցիումից մաքրված խտանյութը ենթարկվում է երրորդ տարրալուծման 5...8%-անոց ազոտական թթվով, որի նպատակն է մնացած Al₂O₃ և Fe-ի ու Cu-ի սուլֆիդների (FeS₂, CuFeS₂) հեռացումը: Ուսումնասիրությունները կատարվել են հետևյալ ջերմաստիճաններում. 40 և 60°C, ժամանակամիջոցը՝ 6, 8, 12, 16 ժամ: Օպտիմալ

պայմաններն են. ջերմաստիճանը՝ $55...60^{\circ}\text{C}$, տարրալուծման ժամանակամիջոցը՝ 15...16 ժամ:

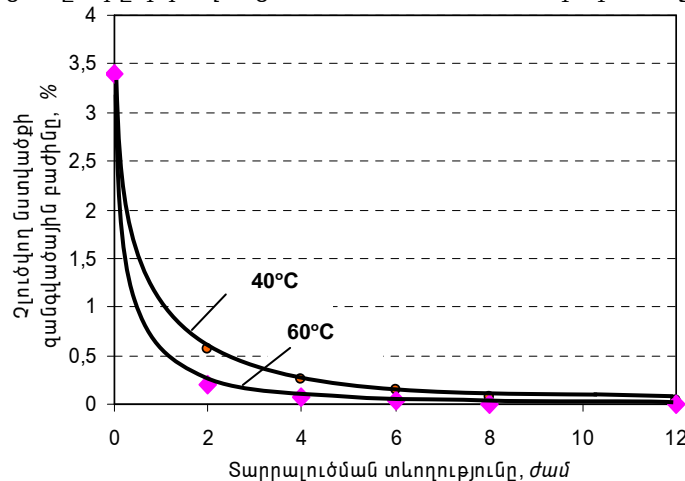
Առաջացած շատ փոքր քանակի մոլիբդենի եռօքսիդի և մոլիբդենաթթվի հեռացման համար խտանյութը լվացվում է 12% -անոց ամոնիակի լուծույթով: Խտանյութը ամոնիակի ջրային լուծույթով տարրալուծումից հետո լվացվել է թորած ջրով, էթիլ սպիրտով և չորացվել վակուումային չորանոցում՝ 120°C ջերմաստիճանում:



Նկ. 6. Խտանյութում երկաթի զանգվածային բաժնի կախվածությունը ժամանակից և ջերմաստիճանից (1- 20°C -ում, 2- 40°C -ում, 3- 60°C -ում)

Խտանյութի հետագա մանրացումը կատարվել է օդա-շիթային ուղղահայաց խողովակային խցիկով աղացում: Նկ. 8-ում բերված է օդա-շիթային աղացում մանրացված մաքուր մոլիբդենի դիսուլֆիդի հատիկների ձևը, որը ստացվել է TS5130MM մակնիշի Tescan էլեկտրոնային մանրադիտակի միջոցով: Մանրալուսանկարում ներկայացված են փոշեհատիկների չափերը:

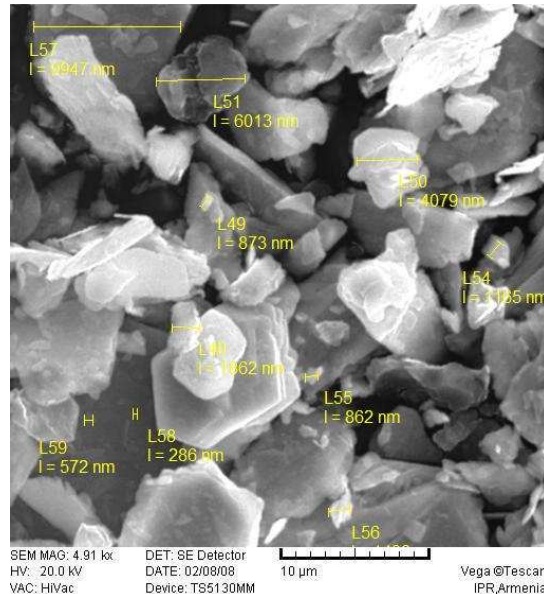
Խտանյութի այսպիսի մշակումն ապահովում է բարձր մաքրության մոլիբդենի դիսուլֆիդի ստացումը, որը գերազանցում է TY - 48-19-133-90 -ի պահանջները:



Նկ. 7. Խտանյութում SiO_2 -ի զանգվածային բաժնի կախումը ժամանակամիջոցից և ջերմաստիճանից

Մոլիբդենիտային խտանյութերի համալիր վերամշակման նպատակով և շրջակա միջավայրի պաշտպանության առումով, ուսումնասիրվել է Mo և Fe պարունակող լուծույթներից երկաթի մոլիբդատի $Fe_2(MoO_4)_3$ ստացումը ամոնիակաջրով չեզոքացման եղանակով:

Գործընթացում օգտագործվող նատրիումի մետասիլիկատի, ազոտական թթվի, ֆտորաջրածնային թթվի, ամոնիումի հիդրօքսիդի վերաօգտագործման նպատակով թթու և հիմնային լուծույթները չեզոքացվում են:

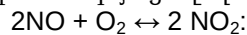


Նկ. 8. Մաքուր մոլիբդենի դիսուլֆիդի մանրալուսանկարը

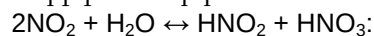
Ազոտական թթվով առաջին և երրորդ տարրալուծման մայրակ լուծույթները միացվել են իրար և չեզոքացվել NH_4OH -ով մինչև $pH \approx 7$, ստացվել է NH_4NO_3 (պարա-րտանյութ):

Ֆտորաջրածնային մայր լուծույթները վնասագերծելու համար լուծույթները չեզոքացվում են մաքուր կալցիումի օքսիդով (97,5%) մինչև $pH=7,5...8$: Նստվածքում առաջանում են CaF_2 և $CaSiO_3$, որոնք էլ ֆիլտրվում են: Նստվածքը ֆիլտրելուց հետո լուծույթը կարելի է լցնել ջրային ավազան: CaF_2 -ից հնարավոր է ստանալ ֆտորաջրածնային թթու և վերադարձնել տարրալուծման գործընթաց:

Ազոտական թթվով տարրալուծման գործընթացում առաջացած գազերը (NO , NO_2) խառնվում են օդի հետ և վերադարձվում գործընթաց՝ փոքրացնելով թթվի ծախսը: Ազոտի ենթօքսիդը փոխազդում է թթվածնի հետ՝ գոյացնելով ազոտի երկօքսիդ՝



Ազոտի երկօքսիդը օժտված է ջրի մեջ բարձր լուծելիությամբ՝ առաջացնելով ազոտային և ազոտական թթուների խառնուրդ.



Տեխնոլոգիական գործընթացը գրեթե անթափոն է, մթնոլորտ արտանետվող և ջրային ավազան լցվող վնասակար տարրերի կոնցենտրացիաները գտնվում են միջազգային բնապահպանական ընդունված նորմերի սահմաններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Зеликман А.Н.** Молибден. –М.: Металлургия, 1970. – 440 с.
2. **Сентюрихина Л. Н., Опарина Е. М.** Твердые дисульфид-молибденовые смазки.-М.: Химия, 1966.- 152с.
3. Технологическая инструкция по производству молибденита высокой чистоты. Скопинский ГМЗ, 1984.
4. United States Patent № 3991156, C01 G 39/00, 1976.
5. Патент России № 2030468. Способ получения дисульфида молибдена, C22 B 34/34, 1995.
6. **Скоров В.А., Кулешов В.А.** Практика получения молибденита высокой чистоты //Цветные металлы. - 1960.- №3. -С. 1-4.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 14.05. 2009:

А.О. ОВСЕПЯН, С.М. ИСРАЕЛЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО И ДИСПЕРСНОГО ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ИЗ МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Разработана технология получения чистого и дисперсного дисульфида молибдена. Исследованы процессы очистки от флотореагентов и обесшламливания способом декантации, очистки молибденитового концентрата от примесей методом выборочного выщелачивания. Выбран оптимальный режим технологического процесса.

Ключевые слова: молибденитовый концентрат, флотореагент, декантация, выщелачивание, дисульфид молибдена.

A.H. HOVSEPYAN, S.M. ISRAYELIAN

RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF OBTAINING PURE AND DISPERSE MOLYBDENUM DISULFIDE FROM MOLYBDENUM CONCENTRATE

The technology of obtaining pure and disperse molybdenum disulfide is worked out. The processes of refinement from the flotoreagents and deslimation by means of decantation, refinement of molybdenite concentrate from impurities by selective leaching methods are studied. The optimal regime of technological process is chosen.

Keywords: molybdenum concentrate, flotoreagent, decantation, leaching, molybdenum disulfide.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ե.Ռ. ՇԱՄԱՄՅԱՆ

**ՋԷԿ-ԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՂՏՈՏՄԱՆ
ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴ**

Առաջարկվում է ՋԷԿ-ի՝ կոնդենսատորի հովացման մակերևույթներում նստվածքազոյացման հետևանքով ջերմային ռեժիմի փոփոխության հաշվարկման մեթոդ: Հաշվի է առնվել նստվածքազոյացման պատճառով հովացնող ջրի արագության փոփոխությունը և նրա ազդեցությունը կոնդենսատորում ջերմափոխանցման գործակցի վրա: Կատարվել է K-200-130 էներգաբլոկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի հաշվարկ, որի արդյունքում որոշվել է էլեկտրական հզորության փոփոխությունը՝ նստվածքազոյացման շերտի հաստությունից կախված, հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի տարբեր արժեքների դեպքում:

Առանցքային բառեր. նստվածքազոյացման ինտենսիվություն, ջերմափոխանցման գործակից, հիդրավլիկական դիմադրություն, նստվածքազոյացման շերտի հաստություն:

ՋԷԿ-երի շահագործման արդյունավետության վրա էական ազդեցություն են ունենում ցածրպոտենցիալային տեղակայանքների աշխատանքային ցուցանիշները և դրանց հիմնական հանգույցը՝ կոնդենսատորը: Կոնդենսատորի խողովակներում շրջանառություն կատարող հովացնող ջուրը որպես կանոն, պարունակում է հանքային և օրգանական միացություններ, որոնք, կախված ջերմաստիճանային պայմաններից, ջրի հոսքի արագությունից, կոշտությունից և կոնդենսատորի շահագործման մեջ գտնվելու ժամանակահատվածից, խողովակների ներքին պատերի վրա առաջացնում են նստվածքազոյացումներ, որոնց հետևանքով.

1. աճում է խողովակի ջերմային դիմադրությունը՝ հանգեցնելով ջերմափոխանցման պրոցեսի ինտենսիվության նվազմանը,
2. կրճատվում է հովացնող ջրի անցման կենդանի կտրվածքի մակերեսը՝ տեղի տալով կոնդենսատորի հիդրավլիկական դիմադրության մեծացմանը:

Վերոհիշյալով պայմանավորված նոսրացման վատացումը կոնդենսատորում հանգեցնում է կայանի շահավետության ցուցանիշների անկման: Մասնավորապես, ճնշման բարձրացումը կոնդենսատորում հանգեցնում է տուրբինում առկա ջերմանկման փոքրացմանը և, հետևաբար, կայանի էլեկտրական հզորության նվազմանը: Տեխնիկական գրականությունում առկա տվյալների հիման վրա կարելի է թվապես գնահատել նոսրացման վատացման հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման չափը: Մասնավորապես նոսրացման 1% փոփոխման դեպքում հզորության փոփոխության չափը կազմում է.

1. շոգու բարձր պարամետրերով ($p_0=130\dots240$ բար) աշխատող տուրբոտեղակայանքների համար՝ 0,8...1 %,
2. հագեցած շոգով աշխատող տուրբինների համար՝ 1,8 ...2 %:

Փորձենք որոշել աղտոտման հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման չափը:

Կոնդենսատորի հովացման մակերևույթի 1 u^2 վրա նստվածքազոյացման քանակությունը (q/u^2) կարելի է որոշել [1]-ում բերված էմպիրիկ բանաձևով, որը վերաբերում է հիմնականում $CaCO_3$ պարունակող նստվածքին.

$$\begin{cases} J = 0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_g} \right)^{0,25} \cdot w^n \cdot \mathcal{K}^k \cdot t^q \cdot \tau^{0,5}, \\ n = 0,13 \cdot \tau^{1/3}; k = 0,02 \cdot \tau^{1/3}; q = 0,05 \cdot \tau^{1/4}, \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ L -ը խողովակի երկարությունն է, d_g -ը՝ խողովակի ներքին տրամագիծը, w -ն՝ հովացնող ջրի կոշտությունը, $\mathcal{K}$ -ն՝ հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանը, t -ն՝ հովացնող ջրի միջին արագությունը, τ -ն՝ կոնդենսատորի երկու հաջորդական մաքրումների միջև ընկած ժամանակահատվածը, $\mathcal{C}$ ։

Նստվածքագոյացման տեսակարար քանակությունը բազմապատկելով կոնդենսատորի խողովակների ներքին մակերևույթի մեծությամբ, կարելի է որոշել նստվածքագոյացման ամբողջ քանակությունը.

$$M = J \cdot S_{\text{միջ}} \cdot n \cdot z, \quad (2)$$

որտեղ M -ը կոնդենսատորի խողովակների ներքին մակերևույթին նստվածքագոյացման զանգվածային քանակությունն է, g , $S_{\text{միջ}}$ -ը՝ մեկ խողովակի ներքին մակերևույթին նստվածքագոյացման միջին մակերեսը, z -ը՝ խողովակների թիվը մեկ քայլում, z -ը՝ քայլերի թիվը կոնդենսատորում:

(2)-ում նստվածքագոյացման ընդհանուր մակերեսը որոշված է ըստ մեկ խողովակի ներքին երևակայական միջին մակերևույթի: Ակնհայտ է, որ նստվածքագոյացման հետևանքով, կախված նստվածքի շերտի բարձրությունից, փոխվում է խողովակի ներքին տրամագիծը, ուստի նստվածքագոյացման ամբողջ քանակությունն անհրաժեշտ է վերագրել խողովակի ներքին միջին երևակայական մակերևույթին՝ որոշված նստվածքի շերտի միջին բարձրությամբ:

Խողովակի ներքին մակերևույթին նստվածքագոյացման շերտի բարձրությունը՝ համաձայն վերը շարադրվածի առաջարկվում է որոշել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\delta_{\text{նստ}} = \frac{J}{\rho_{\text{նստ}}}, \quad (3)$$

որտեղ $\delta_{\text{նստ}}$ -ը նստվածքագոյացման շերտի հաստությունն է, $\rho_{\text{նստ}}$ -ը՝ նստվածքագոյացման խտությունը, $g/\text{մ}^3$:

Կոնդենսատորի ջերմափոխանցման գործակիցը կարելի է որոշել գլանային պատի համար ստացված արտահայտությամբ.

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda_{\text{պ}}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_1}{\alpha_2 \cdot d_2}}, \quad (4)$$

որտեղ α_1 -ը ջերմատվության գործակիցն է շոգուց պատ, $\lambda_{\text{պ}}$ -ն՝ խողովակի պատի ջերմահաղորդականության գործակցի արժեքը, α_2 -ը՝ ջերմատվության գործակիցը պատից հովացնող ջրին, d_1 և d_2 -ը՝ խողովակների ներքին և արտաքին տրամագծերը, մ :

(4)-ըղ արտահայտությունը վերաբերում է մաքուր կոնդենսատորներին:

Քանի որ dz/dt հարաբերությունը շատ մոտ է 1-ին, ապա կարող ենք օգտվել հարթ պատի համար ստացված բանաձևից.

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5)$$

որտեղ δ_w -ն խողովակի պատի հաստությունն է, μ :

Կոնդենսատորի աղտոտման հետևանքով ջերմափոխանցման գործակիցը փոխվում է՝ պայմանավորված նստվածքագոյացման շերտի հաստության և հովացնող ջրի արագության փոփոխության ազդեցությամբ: Այսպիսով, կունենանք.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{\delta_{\text{ստ}}}{\lambda_{\text{ստ}}} + \frac{1}{\alpha_{2\text{ստ}}}}: \quad (6)$$

(6)-ում $\delta_{\text{ստ}}$ -ը և $\lambda_{\text{ստ}}$ -ը նստվածքագոյացման շերտի հաստությունն են (μ) և ջերմահաղորդականության գործակցի արժեքը (ν տ/մ սստ.), իսկ $\alpha_{2\text{ստ}}$ -ը աղտոտման հետևանքով ջերմատվության գործակցի նոր փոփոխված մեծությունն է (ν^2 տ/մ սստ.): Շոգուց պատ ջերմատվության գործակիցը կարելի է ընդունել հաստատուն, քանի որ դրա ազդեցությունը ջերմափոխանցման ինտենսիվության վրա համեմատաբար փոքր է:

(5) և (6) արտահայտությունների համադրման և պարզեցման արդյունքում կունենանք հետևյալ առնչությունը.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k_0} + \frac{\delta_{\text{ստ}}}{\lambda_{\text{ստ}}} + \frac{1}{\alpha_{2\text{ստ}}} - \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7)$$

որտեղ k_0 -ն կարելի է որոշել Լ.Դ. Բերմանի կողմից առաջարկված հետևյալ էմպիրիկ բանաձևով [2].

$$k = 4070 \cdot a \cdot \Phi_w \cdot \Phi_t \cdot \Phi_\delta \cdot \Phi_z: \quad (8)$$

Այստեղ a -ն կոնդենսատորի մաքրության գործակիցն է, որը որոշվում է

$$a = a_l \cdot a_g$$

արտահայտությամբ, որտեղ a_l -ն կախված է հովացման ներքին մակերևույթի սպասվելիք վիճակից, իսկ a_g -ը՝ խողովակի մետաղի նյութից և պատի հաստությունից [2]: Ուղղահանու ջրամատակարարման և թույլ հանքայնացված ջրի դեպքում $a_l=0,85...0,9$, շրջանառու ջրամատակարարման դեպքում՝ $0,75...0,85$: Իսկ a_g -ը՝ 1 մմ հաստությամբ պատեր ունեցող խողովակների համար տատանվում է $0,92...1$ -ի սահմաններում (արույրից պատրաստված խողովակների համար հավասար է 1-ի, ՕժԻ-5-1-ի համար՝ $0,95$, ՕժԻ-30-1-1-ի համար՝ $0,92$):

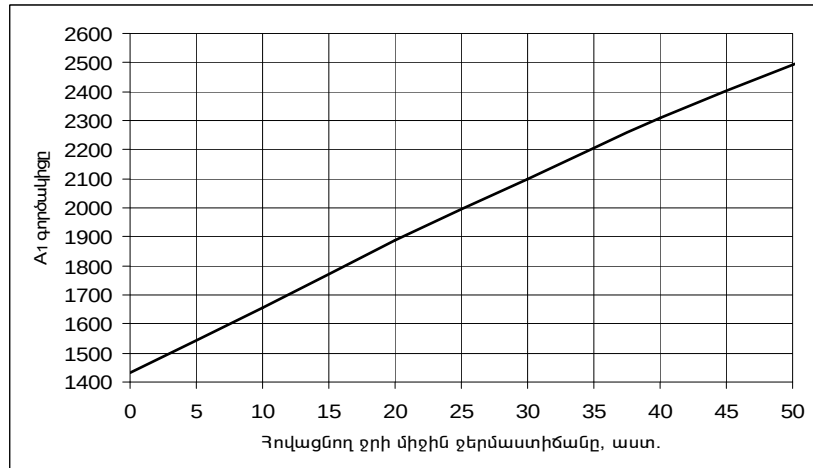
Φ_w -ն, Φ_t -ն, Φ_δ -ն, Φ_z -ը՝ ջերմափոխանցման պրոցեսի ինտենսիվության վրա հովացնող ջրի արագության, ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի, կոնդենսատորի շոգեբեռնվածքի և ջրի քայլերի թվի ազդեցությունները հաշվի առնող գործակիցներ են:

α_2 -ը և $\alpha_{2\text{ստ.}}$ -ը որոշվում են հետևյալ կերպ [3].

$$\alpha_2 = A_1 \cdot \frac{(w_0 \cdot d_g)^{0.8}}{d_g}, \quad (9)$$

$$\alpha_{2\text{աղտ.}} = A_1 \cdot \frac{(w \cdot (d_g - 2 \cdot \delta_{\text{ստ.}}))^{0.8}}{d_g - 2 \cdot \delta_{\text{ստ.}}}, \quad (10)$$

որտեղ A_1 -ը գործակից է, որը հաշվի է առնում հովացնող ջրի միջին ջերմաստիճանով որոշվող ֆիզիկական պարամետրերի ազդեցությունը ջերմատվության պրոցեսի վրա: Այն որոշվում է ստորև ներկայացված գրաֆիկով (նկ.1).



Նկ.1

Այս կորը ոչ մեծ սխալանքով (0,2 %) կարելի է ներկայացնել հետևյալ քառակուսային հավասարման միջոցով.

$$A_1 = -0,0557 \cdot t_{\text{միջ}}^2 + 24,134 \cdot t_{\text{միջ}} + 1426: \quad (11)$$

w_0 -ն և w -ն հովացնող ջրի արագություններն են մաքուր և աղտոտված կոնդենսատորների համար, u/z : Դրանց միջև կապն արտահայտվում է [4].

$$\frac{w}{w_0} = \frac{1}{\left(1 - \frac{2\delta_{\text{ստ.}}}{d_g}\right)^2 \cdot \sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_{\text{ա}}^0} (S_{\text{կ}} - S_{\text{կ}}^0)}}, \quad (12)$$

որտեղ G_0 -ն մաքուր կոնդենսատորի հովացնող ջրի ծախսն է հաշվարկային ռեժիմում, $lq/ψ$: Արմատանշանի տակ գտնվող G_0 -ն արտահայտված է $u^3/ψ$ միավորներով, H_{ω}^0 -ն՝ շրջանառության պոմպի զարգացրած առավելագույն էջքը՝ մղման գծում փակ փականի դեպքում, u , S_{ψ}^0 -ն և S_{ψ} -ն՝ հիդրավլիկական դիմադրությունները մաքուր և աղտոտված կոնդենսատորների համար, $u^3/ψ$:

$$S_{\psi}^0 = \frac{0,11 \cdot k_h^{0,25} \cdot z \cdot l + d_g^{1,25} \cdot \sum \xi}{12,078 \cdot d_g^{5,25} n^2}, \quad (13)$$

$$S_{\psi} = \frac{0,11 \cdot (k_h + \delta)^{0,25} \cdot z \cdot l + (d_g - 2\delta)^{1,25} \cdot \sum \xi}{12,078 \cdot (d_g - 2\delta)^{5,25} n^2}, \quad (14)$$

որտեղ k_h -ն խողովակի ներսի խորդուբորդությունների համարժեք գործակիցն է, z -ը՝ կոնդենսատորում հովացնող ջրի շարժման քայլերի թիվը, l -ը՝ խողովակների երկարությունը մեկ քայլում, u , $\sum \xi$ -ն՝ կոնդենսատորի տեղական դիմադրությունների գործակիցների գումարը, որը հաշվի է առնում ջրային խցերում և խողովակների տրամագծերի փոփոխությամբ պայմանավորված ճնշման էջքի կորուստները, n -ը՝ կոնդենսատորի խողովակների թիվը մեկ քայլում:

Կոնդենսատորում հովացնող ջրի տաքացման չափը որոշվում է ջերմային հաշվեկշռի հավասարումից՝

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t, \quad (15)$$

որտեղ Q -ն կոնդենսատորի ջերմային բեռնվածքն է, $Q_{\text{տ}}$ (շոգու ծախսի միևնույն արժեքի դեպքում, բացարձակ ճնշման լայն տիրույթում՝ $\Delta p_k = 3 \dots 5$ $կՊա$, կարելի է որոշ մոտավորությամբ ջերմային բեռնվածքն ընդունել հաստատուն), c -ն՝ հովացնող ջրի տեսակարար ջերմունակությունը, $Q_{\text{կգ աստ.}}$, G -ն՝ հովացնող ջրի ծախսը աղտոտված կոնդենսատորում, $lq/ψ$:

Ըստ [4]-ում կատարված հետազոտության այդ ծախսը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$G = \frac{G_0}{\sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_{\omega}^0} (S_{\psi} - S_{\psi}^0)}} : \quad (16)$$

Հաշվի առնելով (16) արտահայտությունը՝ Δt -ի համար կարող ենք գրել.

$$\Delta t = \frac{Q \cdot \sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_{\omega}^0} (S_{\psi} - S_{\psi}^0)}}{G_0 \cdot c} : \quad (17)$$

Կոնդենսատորում թերտաքացման չափը կորոշվի

$$\delta t = \frac{\Delta t}{e^{\frac{kF}{Gc}} - 1} \quad (18)$$

արտահայտությամբ, որտեղ F -ը կոնդենսատորի հովացման մակերևույթն է, U^2 : Արդյունքում հազեցման t_s ջերմաստիճանի համար կունենանք.

$$t_s = t_1 + \frac{Q \cdot \sqrt{1 + \frac{G_0^2}{H_u^0} (S_u - S_u^0)}}{G_0 \cdot c} \cdot \frac{1}{1 - e^{\frac{kF}{Gc}}} : \quad (19)$$

Կոնդենսատորում բանաձ շոգու բացարձակ ճնշումը որոշվում է շոգու հազեցման t_s ջերմաստիճանով: Գոյություն ունեցող բանաձևերից, որոնք կապ են հաստատում այս երկու պարամետրերի միջև, առավել հաջողված է հետևյալ արտահայտությունը [5].

$$p_2 = 0,98 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{t_s + 100}{57,66} \right)^{7,46}, \text{ ՄՊա:} \quad (20)$$

ՋէԿ-երի կոնդենսատորների համար գոյություն ունեն նորմատիվային բնութագրեր [6], որոնք կապ են հաստատում կոնդենսատորում շոգու բացարձակ ճնշման փոփոխման և դրա հետևանքով հզորության փոփոխության միջև: Այդ կախվածությունները կոչվում են ունիվերսալ կորեր, քանի որ հնարավորություն են տալիս որոշելու հզորության փոփոխությունը՝ դեպի կոնդենսատոր շոգու ցանկացած ծախսի դեպքում.

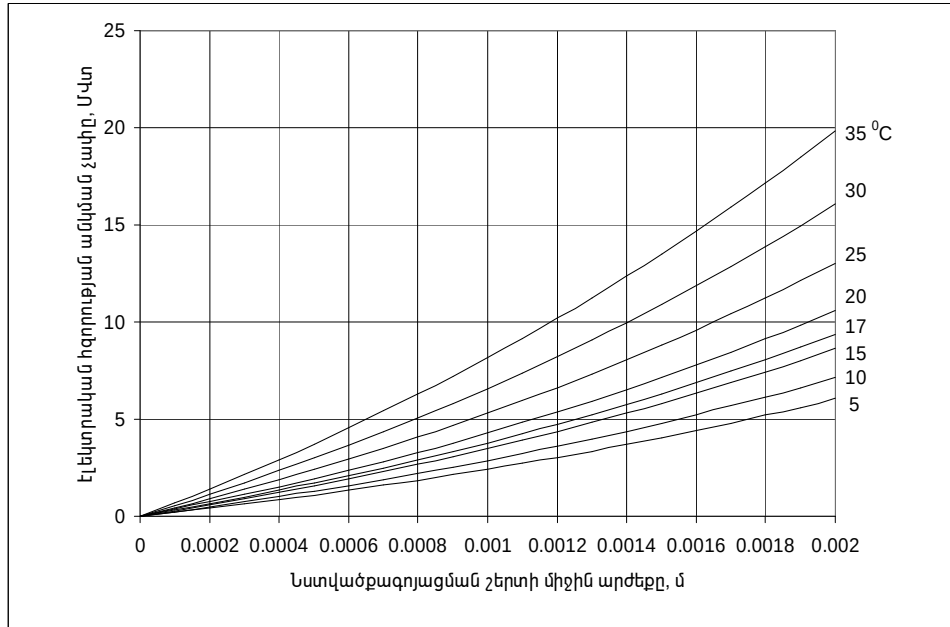
$$\frac{\Delta N_t}{D_u} = f \left(\frac{p_2}{D_u} \right) : \quad (21)$$

Այդ կապը ոչ մեծ սխալներով կարելի է համարել ուղղագծային և, մտցնելով համապատասխան գործակից, ստանալ հզորության փոփոխության չափը՝ կախված $p_2 - p_2^G$ տարբերությունից: (21)-ում D_u -ն շոգու ծախսն է դեպի կոնդենսատոր:

Պետք է նշել, որ այդ ունիվերսալ կորերը ստացվում են հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի որևէ արժեքի համար, հետևաբար նաև անհրաժեշտություն է զգացվում հաշվի առնելու սկզբնական ջերմաստիճանի փոփոխության ազդեցությունը: Հովացնող ջրի տվյալ հաշվարկային ռեժիմ ապահովող ջերմաստիճանից ցածր արժեքների դեպքում բլոկը կգարգացնի նոմինալից բարձր հզորություն: Արդյունքում կունենանք վառելիքի տեսակարար ծախսի նվազում կամ օ.գ.գ.-ի աճ: Հետևաբար, կոնդենսատորի աղտոտման ազդեցությունը պետք է գնահատել՝ ելնելով հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի տվյալ արժեքին համապատասխան էլեկտրական հզորության մեծությունից:

Որպես օրինակ դիտարկվել է K-200-130 մակնիշի էներգաբլոկի կոնդենսացիոն տեղակայանքի աշխատանքը: Էներգաբլոկն աշխատում է հաշվարկային ռեժիմում: Հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի նորմատիվային արժեքը $17^\circ C$ է, իսկ դրան համապատասխան կոնդենսատորում բացարձակ ճնշումը 4,5 կՊա է:

Հաշվարկի ընթացքում որոշվել է արտադրվող էլեկտրական հզորության փոփոխությունը՝ կախված նստվածքագոյացման շերտի հաստությունից՝ հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի տարբեր արժեքների դեպքում ($t_1=5, 10, 15, 17, 20, 25, 30, 35^{\circ}\text{C}$): Գրաֆիկում ներկայացված են ստացված արդյունքները (նկ.2).



Նկ.2

Նկ. 2-ից կարելի է եզրակացնել, որ նստվածքագոյացման շերտի հաստության միևնույն արժեքի դեպքում հովացնող ջրի սկզբնական ավելի բարձր ջերմաստիճանները հանգեցնում են հզորության անկման մեծության աճին: Մասնավորապես նստվածքագոյացման շերտի 0,001 մ հաստության դեպքում և հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի 5°C արժեքին կհամապատասխանի հզորության անկումը 2,4 ՄՎտ-ով, իսկ 0,0015 մ հաստության դեպքում՝ 4 ՄՎտ-ով: Հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի 35°C -ի դեպքում, 0,001 մ հաստությանը կհամապատասխանի 8,4 ՄՎտ անկում, իսկ 0,0015 մ-ին՝ 13,5 ՄՎտ: Այսինքն 0,001...0,0015 մ միջակայքում հզորության անկման չափի փոփոխությունը կազմում է 1,6 ՄՎտ՝ 5°C ջերմաստիճանի դեպքում, և 5,1 ՄՎտ՝ 35°C -ի դեպքում: Հետևաբար հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանի բարձր արժեքների դեպքում ավելի ինտենսիվ է դառնում էլեկտրական հզորության անկման փոփոխությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Буглаев В.Т., Лифшиц М.Н., Татаринцева Т.И.** Некоторые особенности процесса отложений в трубах конденсаторов ПТУ // Известия вузов. Сер. Машиностроение.-1983.- № 7.-С. 56-59.
2. **Берман Л.Д., Зернова Э.П.** Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций.-М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.-105 с.
3. **Шкловер Г.Г., Мильман О.О.** Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин.-М.: Энергоатомиздат, 1985.-240 с.

4. **Մարտիրոսյան Ռ.Ջ., Շամամյան Ե.Ռ.** Կոնդենսատորի խողովակներում նստվածքազրկացման հետևանքով հովացնող ջրի արագության փոփոխության մեծության որոշումը շրջանառության պոմպի անփոփոխ աշխատանքի դեպքում //ՀՊՃՀ(Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր - 76 տար. գիտ. նյութ. ժողովածու.-2009.-Հ1.- էջ 651 - 655:
5. **Рыжкин В.Я., Кузнецов А. М.** Анализ тепловых схем мощных конденсационных блоков.-М.: Энергия, 1972.-271 с.
6. **Коновалов Г.М., Канаев В.Д.** Нормативные характеристики конденсационных установок турбин типа К.-М.: СЦНТИ, 1974.-84 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.03.2009:

В.З. МАРУХЯН, Е.Р. ШАМАМЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ТЭС ВСЛЕДСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Предлагается метод расчета изменения теплового режима конденсатора ТЭС вследствие накипеобразования на охлаждающих его поверхностях. Рассчитано изменение скорости охлаждающей воды и ее воздействие на коэффициент теплопередачи конденсатора. Произведен расчет конденсационной установки энергоблока К-200-130, вследствие чего определено изменение электрической мощности в зависимости от толщины слоя накипи и разных величин начальной температуры охлаждающей воды.

Ключевые слова: интенсивность накипеобразования, коэффициент теплопередачи, гидравлическое сопротивление, толщина слоя накипи.

V.Z. MARUKHYAN, Y.R. SHAMAMYAN

METHOD OF HEATING REGIME CHANGE CALCULATION DUE TO THE POLLUTION OF TPP SURFACE CONDENSERS

A method for defining the heating regime change of TPP condensers due to the scale formation on cooling its surfaces is proposed. The cooling water velocity change and its influence on condensers heat transfer coefficient is calculated. The calculation of the K-200-130 TPP condenser is realized. As a result of it the change of electric power due to the thickness of scale formation and the primary temperature of cooling water is determined.

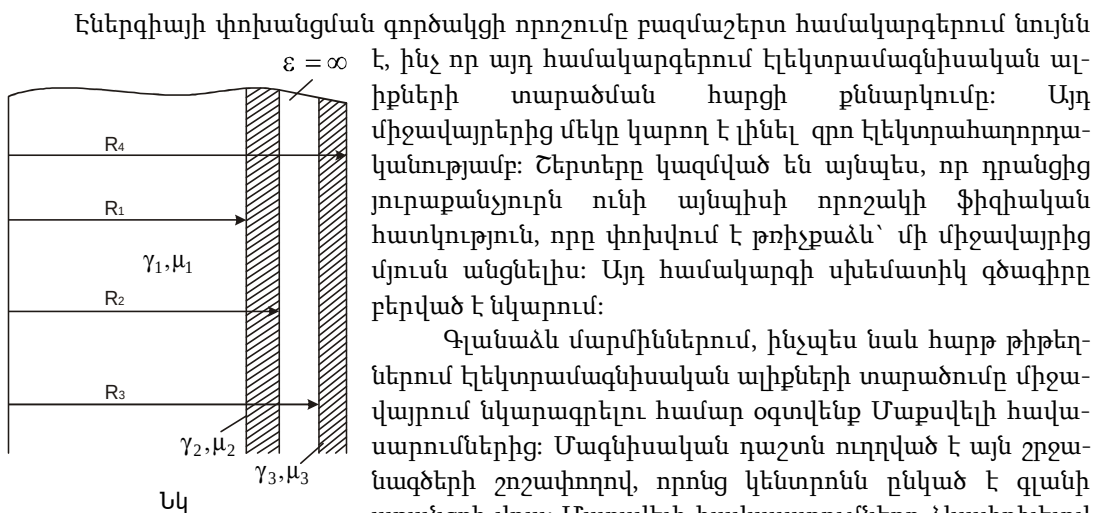
Keywords: scale formation intensity, heat transfer coefficient, pressure loss, scale formation thickness.

Վ.Ա. ՏՈՆՈՑԱՆ

ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՓՈԽԱՆՑՈՒՄԸ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՄԻՋՈՑՈՎ
ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ՏԱՔԱՑՄԱՆ ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ ԳԼԱՆԱՑԻՆ ՄԱՐՄՆՈՒՄ

Դիտարկված է բազմաշերտ համակարգ տարբեր էլեկտրատեխնիկական պարամետրերով (ε, μ), որոնք փոխվում են թռիչքաձև և նման համակարգերում էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածումը: Ստացվում է, որ մի շերտից մյուսը էներգիայի փոխանցման գործակիցը կախված է շերտի հաստությունից, ամբողջ համակարգի պարամետրերից և շերտի էլեկտրատեխնիկական պարամետրերից, ինչպես նաև մագնիսական դաշտի հաճախությունից, ամբողջ համակարգի երկրաչափական չափերից և ձևից:

Առանցքային բառեր. բազմաշերտ համակարգ, մագնիսական թափանցելիություն, Բեսսելի ֆունկցիա, Պոյտինգի վեկտոր, ալիքի թափանցելիություն:



այսպես, ինչպես հարթ ալիքների դեպքում, կստանանք.

$$\nabla^2 \dot{H}_m = j\omega \varepsilon \gamma H_m, \quad (1)$$

որտեղ ∇^2 - ն Լապլասի օպերատորն է, $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$ - ը ցիկլային հաճախությունն է, μ - ն՝ միջավայրի մագնիսական թափանցելիությունը, ε - ն՝ դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը:

Գլանային կոորդինատային համակարգում կստանանք՝

$$\frac{d^2 H_m}{dx^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{dH_m}{dx} - \dot{H}_m = 0, \quad (2)$$

որտեղ H_m - ը մագնիսական դաշտի լարվածության վեկտորի կոմպլեքս լայնույթն է,

Էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորի կոմպլեքս լայնույթի համար կստանանք.

$$\frac{d^2 E_m}{dx^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{dE_m}{dx} - \left(1 + \frac{1}{x^2}\right) \cdot \dot{E}_m = 0 : \quad (3)$$

(2) և (3) - ը Բեսելի հավասարումներն են: Այս հավասարումները պետք է լուծել յուրաքանչյուր միջավայրում՝ օգտվելով եզրային պայմաններից, ըստ որի էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի տանգենցիալ բաղադրիչներն անընդհատ են բաժանման սահմանների վրա, իսկ էլեկտրական դաշտի տանգենսի բաղադրիչները տարբեր միջավայրերում հավասար են: Տարբեր միջավայրերում լուծումներն ունեն հետևյալ տեսքերը

1-ին շերտում՝

$$\begin{aligned} H_{m1} &= A_1 I_0(x_1), \\ \dot{E}_{m1} &= -\sqrt{\frac{j\omega\mu_1}{\gamma_1}} A_1 I_1(x_1) : \end{aligned} \quad (4)$$

2-րդ շերտում՝

$$\begin{aligned} H_{m2} &= A_2 I_0(x_2) + A_3 K_0(x_2), \\ \dot{E}_{m2} &= \sqrt{\frac{j\omega\mu_2}{\gamma_2}} (A_2 I_1(x_2) - A_3 K_1(x_2)) : \end{aligned} \quad (5)$$

3-րդ շերտում

$$\begin{aligned} H_{m3} &= A_4 I_0(x_3) + A_5 K_0(x_3), \\ \dot{E}_{m3} &= \sqrt{\frac{j\omega\mu_3}{\gamma_3}} (A_4 I_1(x_3) - A_5 K_1(x_3)), \end{aligned} \quad (6)$$

որտեղ I_0 - ն զրո կարգի առաջին սեռի Բեսելի ֆունկցիան է, I_1 - ն՝ առաջին սեռի առաջին կարգի Բեսելի ֆունկցիան, իսկ K - ն՝ համապատասխան սեռի և կարգի Բեսելի մոդիֆիկացված ֆունկցիան: H_{m0} - ն, որը իրական մեծություն է, ժամանակից կախված փոխվում է ներդաշնակ օրենքով: Էներգիայի փոխանցման գործակիցը որոշելու համար հաշվենք կոմպլեքս Պոյնտինգի վեկտորը, այնուհետև նրա իրական մասը՝ շերտի արտաքին և ներքին տիրույթում, և կազմենք դրանց հարաբերությունը, որը կլինի տվյալ շերտով էներգիայի փոխանցման գործակիցը: Տվյալ շերտով էներգիայի փոխանցման գործակիցը հավասար է Պոյնտինգի կոմպլեքս վեկտորի իրական մասի և շերտի արտաքին ու ներքին մասերի հարաբերությանը:

Երրորդ շերտով էներգիայի փոխանցման գործակիցը՝

$$\eta_{21} = \frac{R_1}{R_2} V_{21} \left(\frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{AC + BD} \right), \quad (7)$$

որտեղ

$$\begin{aligned}
 A = & - \left(\frac{R_1}{R_2} V_{11} \sqrt{\frac{\gamma_2 \mu_2}{\gamma_1 \mu_2}} \cdot \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{\mu_0 (R_2^2 - R_1^2)}{2R_2} W_{11} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_2 \omega}{\mu_2}} \right) \cdot [Z_{23} (\Phi_{22} Z_{22} V_{23} - \\
 & - X_{22} Z_{22} Z_{23} + X_{22} W_{22} T_{23} - \Phi'_{22} W_{22} W_{23}) - W_{23} (X_{22} Z_{22} T_{23} - \Phi'_{22} Z'_{22} V_{23} - \\
 & - \Phi_{22} W_{22} V_{23} + X_{22} W_{22} S_{23})] - \left(\frac{R_1}{R_2} V_{11} \sqrt{\frac{\mu_1 \gamma_2}{\gamma_1 \mu_2}} \cdot \frac{bc - ad}{c^2 + d^2} + \frac{\mu_0 (R_2^2 - R_1^2)}{2R_2} Z_{11} \sqrt{\frac{\gamma_2 \omega}{\mu_2}} \right) \times \\
 & \times [Z_{23} (X_{22} Z_{22} T_{23} - \Phi'_{22} Z_{22} V_{23} - \Phi_{22} W_{22} V_{23} + X_{22} W_{22} S_{23}) + W_{23} (\Phi_{22} Z_{22} V_{23} - \\
 & - X_{22} Z_{22} S_{23} + X_{22} W_{22} T_{23} - \Phi'_{22} W_{22} W_{23})] - X_{22} [Z_{23} (Z_{11} S_{22} V_{23} - Z_{11} V_{22} S_{23} + \\
 & + W_{11} V_{22} T_{23} - W_{11} T_{22} T_{23}) - W_{23} (Z_{11} V_{22} T_{23} - Z_{11} T_{22} V_{23} - W_{11} S_{22} V_{23} + W_{11} V_{22} S_{23})] :
 \end{aligned}$$

Նման ձևափոխություններ կատարելով՝ կստանանք $A_1, A_2, B, B_1, B, C, D$ գործա-
կիցները:

Կատարելով որոշ գործողություններ (մոտավորություններ)՝ կստանանք.

$$\eta_{21} = \frac{(1 - m^2) e^{\frac{2\tau_2}{\Delta_2}}}{1 - m^2 e^{\frac{4\tau_2}{\Delta_2}} - 2me^{\frac{2\tau_2}{\Delta_2}} \sin \frac{2\tau_2}{\Delta_2}}, \quad (8)$$

որտեղ

$$m = \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_2 \mu_1}{\gamma_1 \mu_2}} \right) / \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_2 \mu_1}{\gamma_1 \mu_2}} \right) :$$

$\tau_2 = R_2 - R_1$, Δ_2 - ը ալիքի թափանցման այն տիրույթն է, որտեղ այն փոքրանում է
I անգամ: Ալիքի թափանցման տիրույթը կախված է միջավայրի մագնիսական թափանցե-
լիությունից և ալիքի հաճախությունից: Նմանատիպ եղանակով կարող ենք որոշել η_{23} -
ը: Նույնպիսի խնդիր դիտարկվել է հարթ թիթեղի համար [1-4], դրանց արդյունքները
համընկնում են նշված արտահայտությունների հետ, եթե կորության շառավիղը
ձգտեցնենք անվերջության:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Немков В.С.** Индукционный нагрев цилиндрических оболочек с произвольной толщиной стенки // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. -1979. -N3. -С. 109-114.
2. **Круминь Ю.К.** Основы теории и расчета устройств с бегущим магнитным полем.- Рига, 1983.- 278с.
3. **Сарапулов. Ф.Н.** Расчет мощностей и электромагнитных сил в установках индукционного нагрева.- Екатеринбург, 1998.- 90 с.
4. **Фандрова Л.П.** Полупроводниковые комплексы для индукционного нагрева (анализ и компьютерное моделирование).- Уфа, 2003.- 181 с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրության 10.04.2009:

В.А. ТОНОЯН

ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МНОГОСЛОЙНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ТЕЛЕ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Изучена многослойная система для различных электротехнических параметров (ϵ, μ), изменяющихся скачкообразно. Рассмотрено распространение электромагнитных волн в такой системе. Показано, что коэффициент передачи энергии из одного слоя в другой зависит от толщины и электротехнических параметров слоя, параметров общей системы, а также от частоты магнитного поля, геометрических размеров и форм общей системы.

Ключевые слова: многослойная система, магнитная проницаемость, функция Бесселя, вектор Пойтинга, проницаемость волн.

V.A. TONoyAN

ENERGY TRANSMISSION BY MAGNETIC FIELD IN MULTILAYER CYLINDRICAL BODY WITH INDUCTION HEATING

A multilayer system for different electrical engineering parameters (ϵ, μ) changing stepwise is studied. In such a system electromagnetic wave propagation is discussed. It is shown that energy transmission coefficient from one layer into another depends on thickness and electrical engineering parameter layer, general system parameters as well as magnetic field frequency, geometric dimensions and general system forms.

Keywords: multilayer system, magnetic permeability, Bessel function, Poiting vector, wave permeability.

Ս. Ն. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

**ԲԱՐԴ ԴԻՐՔԱՅԻՆ ԿՈՆՍԵՐՎԱՏԻՎ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՍՏԱՏԻԿ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՏԵՄՔԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԻՉ ՀԱՎԱՍԱՐՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Առաջարկվում է բարդ դիրքային կոնսերվատիվ համակարգի ստատիկ կայունության ուսումնասիրություն՝ մատիցային տեսքի քառակուսի հավասարման միջոցով: Ստացված բնութագրիչ հավասարման մատրիցների յուրաքանչյուր կարգի գլխավոր անկյունագծային միներների գումարի նշանների և սեփական արժեքների ուսումնասիրության արդյունքում հետևություններ են արվում համակարգի կայունության վերաբերյալ: Հանրահաշվական տվյալ չափանիշի կիրառությունը կոնսերվատիվ համակարգերի ստատիկ կայունության հետազոտման ժամանակ հնարավորություն է տալիս որոշել համակարգի կայունության անվտանգ կամ վտանգավոր սահմանին գտնվելը:

Առանցքային բառեր. ստատիկ կայունություն, բարդ դիրքային կոնսերվատիվ համակարգ, մատրից, միներ, բնութագրիչ հավասարում:

Գերէներգամիավորումների սեղծման պահանջի հետ մեկտեղ, անհրաժեշտություն է առաջանում մշակել էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (ԷԷՀ) ստատիկ կայունության խնդրի ուսումնասիրության նոր չափանիշներ:

Ի տարբերություն գոյություն ունեցող չափանիշների, առաջարկվում է բարդ ԷԷՀ-ի ստատիկ կայունության ուսումնասիրությունը իրականացնել ոչ թե աստիճանային, այլ մատրիցային տեսքի բերված բնութագրիչ հավասարման միջոցով, որը հնարավորություն է տալիս առանց աստիճանային բազմանդամը կառուցելու, արդեն իսկ մատրիցների սեփական արժեքների ուսումնասիրության միջոցով հետևություն անել համակարգի կայունության վերաբերյալ: Դուրս են բերվել նաև այն անհրաժեշտ առնչությունները մատրիցային բնութագրիչ հավասարման մատրիցների միներների և աստիճանային բազմանդամի գործակիցների միջև, որոնց ուսումնասիրությունների միջոցով նույապես կարող ենք հետևություն անել համակարգի կայունության վերաբերյալ:

Անցումային պրոցեսների ուսումնասիրությունը փոքր զրգոումների (շեղումների) դեպքում կարող է բնութագրվել հետևյալ երկրորդ կարգի դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգով.

$$[A] \frac{d^2 x}{dt^2} + [B] \frac{dx}{dt} + [C]x = 0: \quad (1)$$

Բնութագրիչ հավասարումը գրված մատրիցային տեսքով.

$$[A]p^2 + [B]p + [C] = 0,$$

որտեղ $[A], [B], [C]$ – ն հաստատուն գործակիցներից կազմված մատրիցներն են, իսկ p – ն՝ բնութագրիչ հավասարման արմատը:

Մատրիցների կառուցման համար դիտարկենք բարդ դիրքային, կոնսերվատիվ համակարգ:

Կոնսերվատիվ դիրքային են կոչվում այն համակարգերը, որտեղ հզորությունները (մոմենտները) կախված են միայն սինքրոն մեքենաների ռոտորների դիրքերից՝ պայմանավորված փոխադարձ անկյան տեղաշարժով (սահքով): Այս համակարգում ավտոմատ կառավարման սարքերի ազդեցությունն ընդունվում է որպես իդեալական և հանդես է գալիս անբացահայտ տեսքով: Առաջնային շարժիչի արագության կարգավորումն այս դեպքում արտահայտվում է այնպես, որ պտտող մոմենտները (հզորությունները) և հաճախությունը կայունացված ռեժիմում ընդունվում են որպես հաստատուն մեծություններ՝ անկախ անվերջ հզորության դողի առկայությունից: Տվյալ տեսակի համակարգերի դիտարկման ժամանակ ռեժիմի ցանկացած զրգռում բերում է չմարդ տատնումների՝ հաստատուն (կայունության անվտանգ սահման) կամ աճող (կայունության վտանգավոր սահման) ամպլիտուդով:

Դիտարկենք բարդ դիրքային, կոնսերվատիվ համակարգ, որտեղ յուրաքանչյուր կայանի էլեկտրական հզորությունը կախված է միայն տվյալ կայանի հաստատուն էլ.շ.ու-ի և մյուս կայանների էլ.շ.ու-ների միջև կազմված փոխադարձ անկյունից (δ_{ij}), իսկ հզորության աճը կախված է միայն փոխադարձ անկյան փոփոխությունից ($\Delta\delta_{ij}$):

Փոխադարձ անկյունների քանակը կայանների քանակից մեկով քիչ է՝ $(n-1)$, որովհետև կայաններից մեկը (տվյալ դեպքում առաջին կայանը) ընտրված է որպես բազիսային:

Ուսումնասիրվող համակարգում անկայունության պատճառ կարող է հանդիսանալ փոխադարձ անկյունների ($\Delta\delta_{ij}$) պրոգրեսային աճը, և ոչ թե բացարձակ անկյունների ($\Delta\delta_i$) աճը, որը կարող է տեղի ունենալ նաև կայուն համակարգում:

i – թղ կայանի ակտիվ (էլեկտրամագնիսական) հզորության արտահայտությունն ունի հետևյալ տեսքը.

$$P_i = E_i^2 y_{ii} \sin \alpha_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_i U y_{ik} \sin(\delta_i - \alpha_{ik}); P_i = E_i^2 y_{ii} \sin \alpha_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_i E_k y_{ik} \sin(\delta_{ik} - \alpha_{ik}): (2)$$

i – թղ կայանի հզորության աճը, ըստ փոխադարձ անկյունների փոփոխության կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ [1,2].

$$\Delta P_i = \frac{dP_i}{d\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \frac{dP_i}{d\delta_{13}} \Delta\delta_{13} + \dots + \frac{dP_i}{d\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n}, ; \Delta P_i = \sum_{j=2}^n \frac{dP_i}{d\delta_{1j}} \Delta\delta_{1j}, (3)$$

որտեղ $dP_i/d\delta_{1j}$ – ն անվանում են փոխադարձ սինքրոնացնող հզորություն՝ վերցված i – թղ կայանի համար, ըստ δ_{1j} – թղ փոխադարձ անկյան: Հետագա ուսումնասիրությունների ընթացքում սինքրոնացնող հզորությունը առաջարկվում է նշանակել հետևյալ կերպ.

$$dP_i/d\delta_{1j} = S_i^{1j}, (4)$$

որտեղ $i = 1, \dots, n$; $j = 2, \dots, n$:

Այսպիսով, i – թղ կայանի գեներատորի ռոտորի շարժման հավասարումը փոքր տատանումների դեպքում կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$T_{ji} p^2 \delta_i + \Delta P_i = 0: (5)$$

i – թղ կայանի գեներատորի ռոտորի հարաբերական շարժման հավասարումը փոքր տատանումների դեպքում կլինի՝

$$T_{ji} p^2 \Delta \delta_i + \Delta P_i = 0: \quad (6)$$

i –րդ կայանի փոխադարձ սինքրոնացնող հզորությունը, վերցված ըստ δ_{ij} –րդ փոխադարձ անկյան, կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ.

1. Երբ ուսումնասիրվող համակարգում առկա են միայն անբացահայտ բևեռներով մեքենաներ $P_i = f(\delta_i, U)$.

$$S_i^{1j} = \frac{dP_i}{d\delta_{1j}} = \frac{dP_i}{d\delta_i} \frac{d\delta_i}{d\delta_{1j}} + \frac{dP_i}{dU} \frac{dU}{d\delta_{1j}}: \quad (7)$$

2. Երբ ուսումնասիրվող համակարգում առկա են նաև բացահայտ բևեռներով մեքենաներ $P_i = f(\delta_i, E_{gi}, U)$.

$$S_i^{1j} = \frac{dP_i}{d\delta_{1j}} = \frac{dP_i}{d\delta_i} \frac{d\delta_i}{d\delta_{1j}} + \frac{dP_i}{dE_{qi}} \frac{dE_{qi}}{d\delta_{1j}} + \frac{dP_i}{dU} \frac{dU}{d\delta_{1j}} : \quad (8)$$

Սինքրոնացնող հզորության արտահայտության (7)-ի, ինչպես նաև (8)-ի մեջ մտնող ածանցյալները հաշվելի են, որը կատարվում է՝ կայանների և բեռնային հանգույցների ակտիվ ու ռեակտիվ հզորությունների արտահայտությունների վրա: Հաշվարկների ժամանակ կազմվում են նաև բեռնային հանգույցների հաշվեկշռի (բալանսի) հավասարումները: Բեռնային հանգույցների հզորության ֆունկցիաները միայն կիրառված լարման ֆունկցիաներ են $P_k, Q_k = f(U)$, որտեղ $k=1,..,m$, m -ը համակարգում առկա բեռնային հանգույցների թիվն է: Ստացված հավասարումների համակարգին ավելացվում են նաև սեփական անկյունների ածանցյալների արտահայտությունները, ըստ փոխադարձ անկյան (9) և լուծում հավասարումների համակարգը [1-4]:

$$\frac{d\delta_i}{d\delta_{i_j}} - \frac{d\delta_j}{d\delta_{i_j}} = 1; \delta_{i_j} = \delta_i - \delta_j; \Delta\delta_{i_j} = \Delta\delta_i - \Delta\delta_j: \quad (9)$$

Դիրքային համակարգերի համար (6) բնութագրիչ հավասարումը, գրված $[A], [B], [C]$ – մատրիցաների միջոցով, կընդունի հետևյալ տեսքը ($[B] = 0$, քանի որ ղեմաֆեերային (հանդարտիչ) փաթույթների ազդեցությունը հաշվի չի առնված).

$$[A]p^2 + [C] = 0: \quad (10)$$

Մատրիցները ստացվում են հարաբերական շարժման հավասարումները բացված տեսքով՝ սեփական (բացարձակ) և փոխադարձ անկյան փոփոխությամբ ներկայացնելու միջոցով.

[illegible]

կամ ներկայացնենք միայն ըստ սեփական անկյան փոփոխության.

(12)-հավասարումների համակարգը կընդունի հետևյալ մատրիցային տեսքը.

Այնուհետև հաշվի առնելով, որ բացարձակ անկյունների ($\Delta\delta_i$) աճը հավասար չէ զրոյի, կատանանք.

Դիտարկված մատրիցները $n \times n$ չափողականության են և $c = 2, \dots, n$, որտեղ $[A] - [T_{ji}]$ մատրիցն անկյունագծային է և կազմված է համակարգում առկա մեքենաների մշտական իներցիաներից (ժամանակային հաստատունների), իսկ $[C] - [S_i^{ij}]$ մատրիցը հատուկ մատրից է և կազմված է փոխադարձ սինքրոնացնող հզորություններից՝ վերցված ըստ փոխադարձ անկյան:

$$p^2(a_0 p^{2(n-1)} + a_2 p^{2(n-2)} + \dots + a_{2(n-2)} p^2 + a_{2(n-1)}) = 0, \quad (14)$$
$$a_0 p^{2(n-1)} + a_2 p^{2(n-2)} + \dots + a_{2(n-2)} p^2 + a_{2(n-1)} = 0: \quad (15)$$

178

(15)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը, որը կոչվում է օժանդակ հավասարում.

$$a_0 \lambda^{n-1} + a_1 \lambda^{n-2} + \dots + a_{n-2} \lambda + a_{n-1} = 0: \quad (16)$$

Տվյալ արտահայտության գործակիցների քանակը հավասար է համակագում առկա կայանների (մեքենաների) թվին, քանի որ հանդարտեցնող փաթույթների գործակիցների մատրիցը զրոյական է:

Հուրվիցը ցույց է տվել, որ եթե բնութագրիչ հավասարման $a_n = 0$ ազատ գործակիցը հավասար է զրոյի, մնացած բոլոր գործակիցները մեծ են զրոյից մինչև $a_0, a_1, \dots, a_{n-1} > 0$, ապա համակարգը գտնվում է ոչ պարբերական կայունության սահմանին (մեկ իրական արմատ գտնվում է համալիր (կոմպլեքս) հարթության կեղծ առանցքի վրա): Այսպիսով, տվյալ դեպքում համակարգի կայունությունը ուսումնասիրվում է ոչ պարբերական կայունության պայմանների միջոցով: Ոչ պարբերական կայունության համար անհրաժեշտ և բավարար պայման է բնութագրիչ հավասարման բոլոր գործակիցների դրական լինելու փաստը, այն տվյալ դեպքում կունենա միայն բացասական իրական արմատներ [6]:

Մատրիցային տեսքով գրված բնութագրիչ (13) հավասարման ուսումնասիրման ժամանակ դուրս են բերվել հետևյալ առնչությունները՝ կապված (16) բնութագրիչ հավասարման գործակիցների նշանների հետ: Դրանք են.

1. a_0 – գործակիցը ժամանակային հաստատունների (մշտական իներցիաների) արտադրյալն է, և այն կլինի դրական, եթե $[A]$ – մատրիցը դրական որոշյալ է, որն իրական համակարգում կազմված է դրական մեծություններից:

$$a_0 = \prod_{i=1}^n T_{ji}: \quad (17)$$

2. Եթե $a_0 = 1$, ապա a_1 – գործակիցն ունենում է հետևյալ տեսքը.

$$a_1 = \sum_{j=2}^n S_1^{1j} / T_{j1} - \sum_{j=2}^n \frac{S_1^{1j}}{T_{jj}}: \quad (18)$$

Եթե հաշվարկների արդյունքում պարզվի, որ $a_1 \leq 0$, ապա կարող ենք փաստել, որ համակարգն անկայուն է կամ գտնվում է կայունության վտանգավոր սահմանին: Այսպիսով, տվյալ պայմանի ստուգման միջոցով կարելի է հստակ եզարկացություն անել համակարգի անկայունության վերաբերյալ:

3. Մյուս բոլոր գործակիցների $a_2, a_3, \dots, a_{n-1}$ նշանները կախված են ազատ մատրիցի գլխավոր անկյունագծային երկրորդ և մինչև $(n-1)$ -րդ կարգի միներների գումարի նշանից, իսկ n – րդ կարգի միները կոչվում է մատրիցի որոշիչ (դետերմինանտ): Դրական նշանների դեպքում ազատ մատրիցի սեփական արժեքները կլինեն դրական, հետևաբար գործակիցները կստացվեն դրական:

Գլխավոր անկյունագծային յուրաքանչյուր կարգի միներների գումարի դրական լինելու պայմանը կարելի է արտահայտել հետևյալ կերպ [7].

$$\sum_{i=1}^n c_{ii} = \sum_{c=2}^n S_1^{1c} + \sum_{i=2}^n (-S_1^{1i}) > 0; \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n M^2 = \left[\begin{array}{c|c} c_{ii} & c_{i,i+1} \\ \hline c_{j,j-1} & c_{jj} \end{array} \right]_{2 \times 2} > 0; \sum M^{n-1} > 0: \quad (19)$$

Այժմ ներկայացնենք a_{n-1} – ի իրական արժեքի ստացման մի պարզեցված դեպք, երբ շատ արագ կարելի է կառուցել բլոկային մատրիցը և հաշվել նրա որոշիչը: Եթե այն բացասական է կամ հավասար զրոյի, ուրեմն ուսումնասիրվող համակարգը անկայուն է կամ գտնվում է կայունության վտանգավոր սահմանին $a_{n-1} \leq 0$: Բլոկային մատրիցը 2×2 չափողականության է, իսկ ենթամատրիցները՝ $n \times n$ չափողականության:

$$a_{n-1} = \det \begin{bmatrix} G & H \\ M & N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/T_{j_1} & 0 & 0 \\ 0 & 1/T_{j_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1/T_{j_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_2^{12} & S_2^{1j} & S_2^{1n} \\ S_j^{12} & S_j^{1j} & S_j^{1n} \\ S_n^{12} & S_n^{1j} & S_n^{1n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/T_{j_2} & 0 & 0 \\ 0 & 1/T_{j_j} & 0 \\ 0 & 0 & 1/T_{j_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1^{12} & S_1^{1j} & S_1^{1n} \\ S_l^{12} & S_l^{1j} & S_l^{1n} \\ S_i^{12} & S_i^{1j} & S_i^{1n} \end{bmatrix} > 0: \quad (20)$$

Օժանդակ հավասարման ազատ անդամը՝ a_{n-1} – գործակիցը կամ (20)-րդ բլոկային մատրիցի որոշիչը կլինի դրական:

Այսպիսով, եթե օժանդակ հավասարման գործակիցները բավարարում են (18), (19) և (20) արտահայտությունների պայմաններին, որոնք նաև հանդես են գալիս որպես փոխլրացնող պայմաններ, ապա բոլոր գործակիցները կլինեն դրական և կբավարարեն ոչ պարբերական կայունության պայմանին՝ բոլոր արմատները կլինեն իրական և բացասական $\lambda_i = -\alpha; \alpha > 0$, հակառակ դեպքում կարող են ի հայտ գալ բացասական կամ զրոյական արմատներ, այդ դեպքում ուսումնասիրվող համակարգը կլինի անկայուն կամ կգտնվի կայունության վտանգավոր սահմանին:

Իրական և բացասական արմատների դեպքում բարդ դիրքային համակարգի բնութագրիչ հավասարման արմատները կլինեն միայն կեղծ $p_i = \sqrt{\lambda_i}$, որը նշանակում է, որ համակարգը կգտնվի կայունության անվտանգ սահմանին (տատանողական կայունության սահմանին), և համակարգում փոքր գրգռումներից հետո ի հայտ կգան հաստատուն ամպլիտուդով չմարող տատանումներ, իսկ այն դեպքերում, երբ օժանդակ հավասարման արմատներում գոյություն ունենան զրոյական արմատներ, իսկ մնացած բոլոր արմատները լինեն բացասական, ապա համակարգը կգտնվի կայունության վտանգավոր սահմանին, և փոքր գրգռումներից հետո ի հայտ կգան աճող ամպլիտուդով տատանումներ (ինքնաճոճք) [8,9]:

Վերոնշյալ օրինաչափություններին կարելի է հանգել նաև ուսումնասիրելով (1) շարժման հավասարումը և ներկայացնելով հետևյալ կերպ [10].

$$[A] \frac{d^2 x}{dt^2} + [C]x = 0: \quad (21)$$

Տվյալ հավասարման ընդհանուր լուծումն ունի տատանողական (սինուսոիդային) տեսք.

$$x(t) = qe^{j\omega t}, \text{ որտեղ } q - \text{ն կախված է } t - \text{ից, իսկ } \omega - \text{ն իրական է, այդ դեպքում}$$

$$x'' = -\omega^2 qe^{j\omega t} \text{ և ընդունելով, որ } \mu = \omega^2, \text{ կստանանք.}$$

$$(-\mu A + C)q = 0; (\mu E - A^{-1}C)q = 0: \quad (22)$$

(22)-ից բխում է, որ μ – ն $[A^{-1}C]$ մատրիցի n հատ սեփական արժեքներն են, և q – ն աջ սեփական վեկտորն է, որի միջոցով որոշվում է տատանումների տեսակը: Որպեսզի

համակարգը լինի կայուն, և ի հայտ չգան աճող ամպլիտուդով տատանումներ, անհրաժեշտ է, որ $[A^{-1}C]$ մատրիցի բոլոր սեփական արժեքները լինեն իրական և ոչ բացասական (դրական), հակառակ դեպքում այն չի ունենա պահանջվող տեսքի իրական ω արժեք:

Պարզ է, որ $[A^{-1}C]$ մատրիցի սեփական արժեքները կլինեն նույնպես հետևյալ որոշիչի $\det(A\mu - C) = 0$ արմատները:

Թեորեմ 1: Եթե $[A]$ և $[C]$ մատրիցները համապատասխանաբար դրական և ոչ բացասակն են, ապա $\det(A\mu - C) = 0$ որոշիչի արմատները իրական են և ոչ բացասական:

Թեորեմից բխում է, որ արմատները կլինեն միայն իրական և դրական այն դեպքում, երբ $[A^{-1}C]$ մատրիցի սեփական արժեքները լինեն իրական և դրական, որի համար անհրաժեշտ է, որ նրա բնութագրիչ հավասարման բոլոր գործակիցները լինեն դրական, և տեղի ունենա ինդեքսից կախված համապատասխան $(-1)^i$ նշանափոխությունը:

$$\sigma(\mu) = |A^{-1}C - \lambda E| = \mu^n - \sigma_1 \mu^{n-1} + \sigma_2 \mu^{n-2} - \dots + (-1)^{n-1} \sigma_{n-1} \mu + (-1)^n \sigma_n = 0: \quad (23)$$

Թեորեմի ապացույցը հիմնված է այն փաստի վրա, որ դրական որոշյալ մատրիցի բոլոր արմատները դրական են: Այսպիսով, կայունության խնդրի լուծման համար պետք է ցույց տալ նաև այն, որ $[A^{-1}C]$ մատրիցի բոլոր սեփական արժեքները դրական են: Սեփական արժեքների իրական լինելու փաստը ստուգվում է Շտուրմի պայմանների միջոցով:

Ընդհանուր դեպքի համար σ_i – գործակիցը մատրիցի i – րդ կարգի գլխավոր անկյունագծային միտրների հանրահաշվական գումարն է, և $i = 1, \dots, n$:

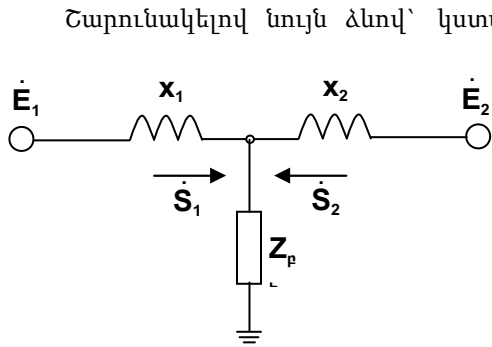
Այսպիսով, էլեկտրաէներգետիկական համակարգի ստատիկ կայունության համար անհրաժեշտ և բավարար պայմանն է $[A^{-1}C]$ մատրիցի առաջինից մինչև $(n-1)$ – րդ կարգի գլխավոր անկյունագծային միտրների գումարի դրական լինելը:

Իրական դեպքում բարդ դիրքային կոնսերվատիվ համակարգի կայունության անվտանգ սահմանին գտնվելը նշանակում է, որ իրական համակարգը ստատիկ կայուն է, քանի որ հաշվարկները կատարվել են իդեալականացված դեպքի համար, որի ընթացքում հաշվի չեն առնվել դեմաֆերային փաթույթների ազդեցությունները և այլ գործակիցներ:

Դիտարկենք վերջավոր հզորության երկու էլեկտրակայանների փոխարինման սխեման (սխեմա-1), որոնց հաշվարկային (բերված հարաբերական միավորներով) տվյալներն են՝ $T_1 = 9$ վ, $T_2 = 10$ վ, $x_1 = 0,735$; $x_2 = 0,0606$; $\dot{E}_1 = 1,54 \angle 28,5^\circ$; $\dot{E}_2 = 1,21 \angle 13,1^\circ$; $z = 0,1312 + j0,0815$; $\dot{S}_1 = 1 + j0,485$; $\dot{S}_2 = 4,5 + j2,93$; անրաժեշտ է նախ հաշվել սեփական և փոխադարձ հաղորդականությունները և որոշել դիմադրությունների լրացուցիչ անկյունները՝ α_{ik} : Օրինակ հաշվենք z_{11} – ը.

$$z_{11} = x_1 + \frac{x_2 \cdot z}{x_2 + z} = j0,735 + \frac{j0,0606 \cdot (0,1312 + j0,0815)}{j0,0606 + 0,1312 + j0,0815} = 0,0129 + j0,7816,$$

$$\alpha_{11} = 90^\circ - \arctg \frac{x_{11}}{r_{11}}; Z_{11} = 0,7818 \angle 89^\circ:$$



Շարունակելով նույն ձևով՝ կատանանք մյուս բոլոր սեփական և փոխադարձ դիմադրությունների արժեքները: Այնուհետև կգտնենք հզորության ածանցյալները, ըստ սեփական անկյան, բեռնային հանգույցում բերված լարման, և բեռի սինքրոն բնութագրերը.

$$\frac{dP_1}{d\delta_1} = E_1 U y_{1H} \cos(\delta_1 - \alpha_{1H}) = 0,5958,$$

$$\frac{dP_1}{dU} = E_1 y_{1H} \sin(\delta_1 - \alpha_{1H}) = -0,1614:$$

Նկ. Փոխարինման սխեմա

Լուծելով ստացված հավասարումների համակարգը (Կրամերի մեթոդով)՝ ստանում են անհայտ մեծությունները, որից հետո, տեղադրելով սինքրոնացնող հզորության արտահայտության մեջ, հաշվում այն:

$$\frac{d\delta_1}{d\delta_{12}} = 1,0357; \frac{dU}{d\delta_{12}} = -0,1573; S_1^{12} = \frac{dP_1}{d\delta_{12}} = \frac{dP_1}{d\delta_1} \frac{d\delta_1}{d\delta_{12}} + \frac{dP_1}{dU} \frac{dU}{d\delta_{12}} = 0,6424:$$

Ստացված մեծությունները տեղադրելով մատրիցային բնութագրիչ հավասարման մեջ՝ կստացվի.

$$[A]p^2 + [C] = 0; \begin{bmatrix} 9 & 0 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} p^2 + \begin{bmatrix} 0,6424 & -0,6424 \\ 0,6511 & -0,6511 \end{bmatrix} = 0,$$

որը բազմապատկելով $[A]^{-1}$ -ով՝ դիտարկենք համակարգը բնութագրող վիճակի մատրիցի յուրաքանչյուր կարգի գլխավոր անկյունագծային միտրների գումարի նշանը $[A^{-1} \cdot C]$, տվյալ դեպքում.

$$[E]p^2 + [A^{-1} \cdot C] = 0; \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} p^2 + \begin{bmatrix} 0,0714 & -0,0714 \\ 0,0651 & -0,0651 \end{bmatrix} = 0:$$

Որպես գլխավոր անկյունագծային միտրների գումար դիտարկվում է տվյալ մատրիցի գլխավոր անկյունագծային տարրերի գումարը.

$$M = c_{11} + c_{22} = 0,0714 - 0,0651 = 0,0063 > 0:$$

Ըստ ստացված արդյունքների՝ կարող ենք փաստել, որ համակարգը ստատիկ կայուն է, և հավելել, որ այն կայուն է մեքենաների մշտական իներցիաների հաշվին:

Եթե մեքենաների մշտական իներցիաները լինեին իրար հավասար (ենթադրենք $T_1 = T_2 = 10$), ապա համակարգը կլիներ անկայուն.

$$M = c_{11} + c_{22} = 0,0624 - 0,0651 = -0,0027 < 0:$$

Այս հաշվարկային օրինակը ցույց է տալիս մշակված չափանիշի առավելությունը, որն ավելի ակնհայտ է դառնում մեծ թվով կայանների դեպքում:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Բարդ դիրքային կոնսերվատիվ համակարգի ստատիկ կայունության ուսումնասիրությունը մատրիցային տեսքի բերված բնութագրիչ հավասարման միջոցով ավելի արդյունավետ է:

Ստացված բնութագրիչ հավասարման մատրիցների յուրաքանչյուր կարգի գլխավոր անկյունագծային միտրների գումարի նշանների ուսումնասիրությունների և դրանց մեծությունների առնչությունների միջոցով կարող ենք հետևություն անել համակարգի կայունության մասին:

Ստացված օրինաչափությունների կիրառությունը կոնսերվատիվ համակարգերի ուսումնասիրության ժամանակ հնարավորություն է տալիս որոշել համակարգի կայունության՝ անվտանգ կամ վտանգավոր սահմանին գտնվելը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Voltage Stability of Electric Power Systems (Power Electronics and Power Systems) by Thierry Van Cutsem and Costas Vournas. – Paperback. – May 23, 2008.
2. **Веников В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1970.-472с.
3. Power Generation, Operation, and Control / **Allen J. Wood** and **Bruce F. Wollenberg**. – Hardcover, Jan 1996.
4. **Портной М.Г., Рабухович Р.С.** Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. – М.: Энергия, 1978.-352с.
5. **Демидович Б.П., Марон И.А.** Основы вычислительной математики. – М., 1981. – 288 с.
6. **Веников В.А., Зуев Э.Н.** Математические задачи электроэнергетики. – М.: Высшая школа, 1970.-472с.
7. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. – М.: Физматлит, 1967. – 433с.
8. **Lee B.H. and Lee K.Y.** Dynamic and Static Voltage Stability Enhancement of Power Systems // IEEE Transactions on Power Systems.- 1993. – Vol. 8, No. 1.- P. 231-238.
9. **Овсянников Л.В.** Групповой анализ дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1978. – 400с.
10. **Ланкастер П.** Теория матриц. – М.: Наука, 1973. – 280с.

ՀՊԸՀ (Պոլիտեխնիկ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.03.2009:

С.О. ОГАННИСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ПОЗИЦИОННЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ СИСТЕМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЕМ В МАТРИЧНОЙ ФОРМЕ

Исследуется статическая устойчивость сложных позиционных консервативных систем характеристическим уравнением в матричной форме. В результате исследования собственных величин и знаков суммы каждого порядка миноров матриц матричных характеристических уравнений делаются выводы об устойчивости системы. Применение данного алгебраического критерия при исследовании статической устойчивости сложных консервативных систем позволяет определить положение системы на опасной или неопасной границе устойчивости.

Ключевые слова: статическая устойчивость, сложные позиционные консервативные системы, миноры матриц, характеристическое уравнение.

S.H. HOVHANNISYAN

COMPLEX POSITION CONSERVATIVE SYSTEM STATIC STABILITY INVESTIGATION BY CHARACTERISTIC EQUATION IN MATRIX FORM

Static stability of complex position conservative systems by the characteristic equation in the matrix form is studied. As a result of investigating value expressions and minors signs of characteristic equation matrices, conclusions are made about the stability system. The application of this algebraic criterion for static stability investigation of complex conservative systems allows to define the position of the system on safety and nonsafety stability boundary.

Keywords: static stability, complex position conservative system, minors of matrices, characteristic equation.

Э.В. АБРАМЯН, С.П. ДАВТЯН, С.Н. ЕНГИБАРЯН, В.К. АБРАМЯН

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ГЕНЕРАТОР АЭРОИОНОВ С
ВЫСОКОТОЧНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ И КОНТРОЛЕМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Разработана конструкция высокоэффективного генератора аэроионов с высокоточной регулировкой и контролем производительности.

Ключевые слова: аэроион, ионизатор, электризация, нейтрализация, аспирационный конденсатор, коронный разряд, соленоид.

Известно, что при интенсификации технологических процессов переработки и транспортировки твердых, жидких и порошкообразных диэлектрических материалов имеет место так называемое явление “технологической” электризации физического агента и изолированных от земли частей технологического оборудования. При этом возникающие разряды “статического электричества” (СЭ) могут инициировать воспламенение горючей среды или привести к нарушению нормального режима технологического процесса вследствие адгезионных явлений.

В то же время при необходимости создания искусственного климата в жилищных, производственных и бытовых помещениях в соответствии с санитарными нормами требуется наличие в окружающей воздушной среде отрицательных аэроионов со строго определенной концентрацией (Санитарные нормы и правила 2.2.2.546-96, Россия).

Существующие в настоящее время конструкции генераторов аэроионов в качестве нейтрализаторов СЭ не обладают достаточно высокой производительностью [1-6], а в качестве ионизаторов воздушной среды (разновидности так называемой “люстры Чижевского”) не обеспечивают строгое регулирование и контроль концентрации аэроионов для приведения ее в соответствие с санитарными нормами.

Отличие предлагаемой конструкции генератора аэроионов от существующих заключается в использовании действия магнитного поля на движущийся заряд (силы Лоренца) для увеличения производительности генератора (в случае его использования в качестве нейтрализатора СЭ), а также для регулирования концентрации аэроионов (в случае его использования в качестве ионизатора воздушной среды). При этом с целью контроля концентрации аэроионов используется высокоточное измерительное устройство с аспирационным конденсатором в качестве первичного преобразователя [7].

Схематический вид предлагаемого генератора с устройством для регулирования производительности аэроионов путем воздействия магнитного поля соленоида на траекторию движения аэроионов в промежутке коронного разряда в системе (игла-соосный цилиндр) показан на рис.1.

Выбор базового варианта коронирующей системы “острие - соосный цилиндр” обусловлен характерным распределением напряженности электрического поля коронного разряда в межэлектродном расстоянии при различных диаметрах закругления

коронирующего острия (рис. 2) [8], что позволяет с помощью потока воздуха и “электрического ветра” увеличить вынос ионов из области вблизи некоронирующего электрода и, тем самым, повысить производительность генератора.

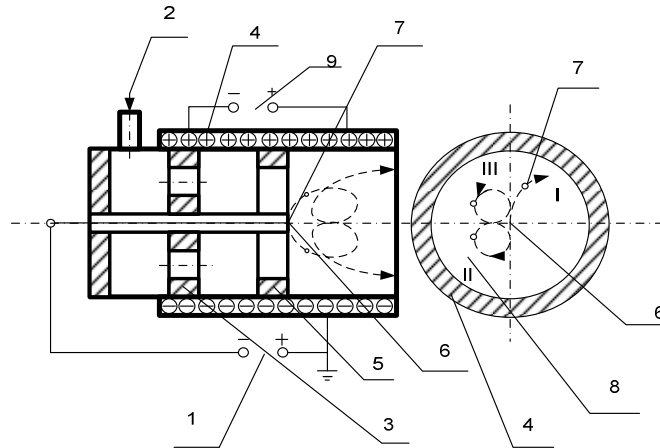


Рис. 1. Генератор аэроионов: 1- источник высокого напряжения; 2 - воздушный поток; 3 - держатель коронирующего острия; 4 - соленоид; 5 - некоронирующий электрод в форме металлического кольца; 6 - коронирующий электрод – острие; 7 - аэроион; 8 - траектория движения аэроиона внутри соленоида; 9 - источник питания соленоида; (I), (II), (III) – формы траектории движения аэроиона

В предлагаемой конструкции генератора под действием магнитного поля (силы Лоренца) соленоида изменяется направление скорости движения аэроиона, и он движется по спирали. При этом, изменяя индукцию магнитного поля B , изменяем радиус кривизны траектории движения аэроиона (случаи I, II, III, рис.1), который существенно влияет на вынос (фокусировку пучка) аэроионов и, тем самым, на производительность генератора. Максимальная производительность генератора обеспечивается при условии непадения аэроионов на некоронирующий электрод в области наименьшего значения вертикальной составляющей напряженности поля коронного разряда, что способствует максимальному выносу аэроионов из генератора,

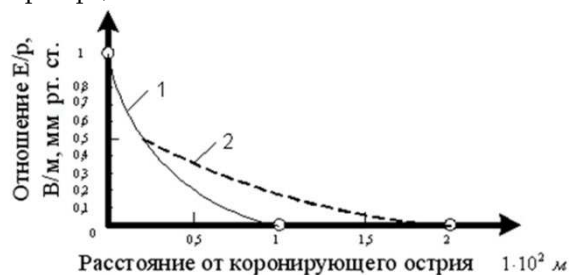


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля E на расстоянии от коронирующего острия: 1- диаметр закругления острия $d_1=3.10^{-5}$ (м); 2- $d_2=4.7.10^{-3}$ (м);
 $P = 1,0$ атм.; положительная корона

Следует отметить, что регулировать производительность генератора технически гораздо удобнее с помощью низкого напряжения питания соленоида.

Для упрощения расчетов электрических, магнитных и конструктивных параметров генератора пренебрегаем столкновением аэроионов с другими аэроионами и нейтральными молекулами воздуха в межэлектродном пространстве (условия магнетрона).

Из рис. 2 следует, что при d_k и d (где d_k – диаметр закругления коронирующего электрода, d – диаметр некоронирующего электрода) основное изменение скорости аэроиона происходит вблизи коронирующего электрода, т. е. приближенно считаем, что в пространстве между электродами аэрион движется с постоянной скоростью, которая определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{2qu}{m}}, \quad (1)$$

где u – напряжение короны; q – заряд аэроиона; m – масса аэроиона.

На аэрион, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца F_L :

$$\vec{F}_L = q [\vec{v} \vec{B}], \quad (2)$$

где $\vec{B}$ – вектор магнитной индукции поля соленоида.

Сила Лоренца в соответствии с системой электродов генератора “игла – соосный цилиндр” и выражением (2) является центробежной силой, действующей на заряженную частицу, т. е.

$$F_L = F_u = \frac{mv_y^2}{R_c}, \quad (3)$$

где v_y – вертикальная составляющая скорости аэроиона; R_c – радиус траектории движения аэроиона (спирали).

Перемещение аэроиона по горизонтальному направлению определяется по формуле

$$h = v_x T, \quad (4)$$

где h – шаг спирали (траектории движения аэроиона); v_x – горизонтальная составляющая скорости движения аэроиона; T – период обращения аэроиона по окружности, который определяется по формуле

$$T = 2\pi R_c / v_y. \quad (5)$$

Из соотношений (2), (3) следует, что максимальная производительность генератора при заданной напряженности поля коронного разряда обеспечивается выражением

$$q v_y B_{кр} = \frac{m v_y^2}{R_c}, \quad (6) \quad \text{где } R_c - \text{радиус}$$

траектории, равный половине радиуса некоронирующего электрода R ; $B_{кр}$ – критическое значение индукции магнитного поля, при котором $R_c = R/2$. $B_{кр}$ в зависимости от напряжения коронного разряда и конструктивных размеров генератора определяют опытным путем в соответствии с рис. 3.

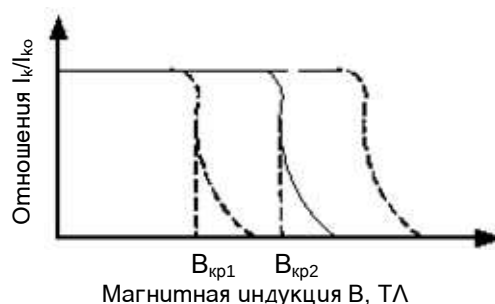


Рис. 3. Зависимость отношения I_k/I_{k0} от магнитной индукции B : I_k – ток короны; I_{k0} – базовое значение тока короны

Очевидны следующие соотношения для расчета:

$$B_{кр} = \mu_0 H_{кр}, \quad (7)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; $H_{кр}$ – критическое значение напряженности магнитного поля, $H_{кр} = k \cdot n \cdot I_{кр}$, k – коэффициент, учитывающий конечность длины соленоида; n – число витков на единицу длины соленоида; $I_{кр}$ – ток соленоида.

Приведенные формулы позволяют рассчитать траекторию движения аэроионов в генераторе, тем самым определить степень фокусировки пучка аэроионов на выходе генератора.

Таким образом, выбирая значения тока соленоида $I_s \leq I_{кр}$, можно регулировать вынос аэроионов из генератора, т.е. изменять производительность генератора в широком диапазоне.

При практическом использовании генератора аэроионов важное значение приобретает контроль производительности генератора. Такой контроль можно проводить с помощью устройства (рис. 4), позволяющего с достаточной для практики точностью измерять концентрацию аэроионов [5].

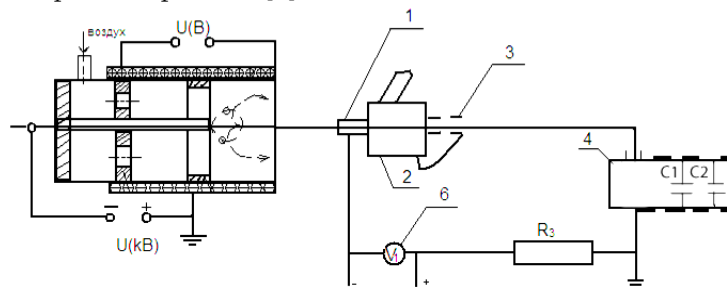


Рис. 4. Генератор аэроионов с устройством для контроля производительности генератора: 1 – аспирационный конденсатор; 2 – камера К; 3 – наружная обкладка с оплеткой кабеля; 4 – электростатический вольтметр V_1 ; 5 – источник питания аспирационного конденсатора; 6 – вольтметр для измерения напряжения на аспирационном конденсаторе

Устройство содержит следующие основные узлы: генератор аэроионов; аспирационный конденсатор коаксиальной конструкции с устройством перемещения по оси X и в плоскости $Y-Z$; электрическая схема для измерения малых токов приемного электрода аспирационного конденсатора.

Для измерения ионного тока через аспирационный конденсатор используется метод зарядки образцового конденсатора. Основным элементом измерительной части является электростатический вольтметр. Измерительная схема позволяет измерять токи порядка $(10^{-11} \dots 10^{-12})$ А.

При больших концентрациях аэроионов ($10^{14} \dots 10^{15}$) м^3 и скорости потока воздуха в аспирационном конденсаторе измерение сопряжено с некоторыми трудностями, которые необходимо учитывать: влияние взаимного расталкивания аэроионов одинакового знака, диффузия, флуктуация концентрации аэроионов, наложение внешнего электрического поля. Эти факторы действуют в совокупности, что затрудняет математический анализ этих явлений. Однако при рассмотрении нейтрализации СЭ в конечном счете вопрос сводится к сравнению плотности зарядов на материале с плотностью потока аэроионов из генератора. В этом случае производится лишь оценочный контроль производительности генератора.

Длина собирающего электрода аспирационного конденсатора является определяющим фактором. Ее можно рассчитать по формуле [5]

$$L = \frac{v(R^2 - r^2) \ln(R/r)}{2kU}, \quad (8)$$

где k – подвижность аэроионов.

Концентрация аэроионов в выбранном сечении пространства вне генератора измеряется косвенным методом – по известному расходу воздуха W через аспирационный конденсатор и по току I_k собирающего электрода (коллектора) аспирационного конденсатора в предположении, что коллектор улавливает все аэроионы, вошедшие в сопло наружной обкладки.

Сущность метода измерения заключается в том, что в результате прохождения ионизированного потока воздуха через обкладки заряженного конденсатора на изолированном электроде улавливаются аэроионы, подвижность которых больше некоторой заданной. Измеряя заряд, полученный одной из обкладок конденсатора, и зная напряженность поля, скорость и объем продуваемого воздуха между обкладками конденсатора, можно определить концентрацию аэроионов.

Аспирационный конденсатор состоит из приемного электрода с радиусом r , вторичного цилиндрического электрода с радиусом R , камеры, через которую производится отсасывание воздуха, и наружной обкладки, которая вместе с оплеткой кабеля образует охранную (эквипотенциальную) систему для приемного электрода. В этом случае концентрация аэроионов n при выходе из генератора по направлениям определяется по формуле

$$n = I_k / eW = 3,75 \cdot 10^{23} I_k / W \text{ м}^{-3}. \quad (9)$$

В приведенном выражении расход воздуха W в л/мин (согласно градуировке ротаметра ротационного аспиратора) $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – заряд аэроиона (однозарядного).

Ток приемного электрода определяется также косвенным методом – по времени зарядки суммарной емкости C :

$$I_k = C[(dU)/(dt)] \approx C[(\Delta U)/(\Delta t)]. \quad (10)$$

Чтобы пользоваться последней формулой, желательно исключить влияние напряжения собирающего электрода на скорость заряда, что можно обеспечить соответствующим выбором ΔU и C .

Напряжение между электродами аспирационного конденсатора равно

$$U_c = U_k - U_v, \quad (11)$$

где U_k - напряжение источника; U_v - напряжение, измеренное электростатическим вольтметром, т. е. на емкости C . Так как $U_k = \text{const}$, то по мере зарядки конденсатора C и повышения напряжения U_v , напряжение U_c соответственно понижается.

Для исключения влияния U_c предусматривается следующее. На шкале электростатического вольтметра заранее избираются два значения напряжения; разность между ними входит в формулу (10). Напряжение вольтметра U_v устанавливается так, чтобы $U_v = 0,5 (U_{v1} + U_{v2})$.

В результате первый этап заряда (от U_{v1} до U_{vk}) протекает несколько быстрее, а второй этап (от U_{v1} до U_{v2}), соответственно, несколько медленнее. Общая продолжительность заряда от U_{v1} до U_{v2} занимает практически столько же времени, сколько было бы затрачено на зарядку емкости тем же количеством электричества, но при постоянном U_v . Тогда в формуле (10) значение ΔU заменяется выбранным напряжением U_v . За счет добавочных образцовых конденсаторов C_d можно установить желательную скорость зарядки. Испытания разработанного генератора аэроионов позволили получить концентрацию аэроионов от $0,6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ до 10^{16} м^{-3} на выходе генератора, что на несколько порядков больше по сравнению с производительностью существующих в настоящее время нейтрализаторов "статического электричества" [1, 2, 4-6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Method and composition for neutralizing static electricity. United States Patent, Brown. et al., December 22, 1998.
2. Jonizer static electricity neutralization, United States Patent, Botez, September 7, 1999.
3. **Абрамян В.К., Терян С.А.** Статическая электризация сыпучих материалов при их промышленной обработке.- Ереван: Айастан, 1976.- 127 с.
4. **Абрамян В.К.** Защита от статического электричества.- Ереван: Айастан, 1990.- 290 с.
5. **Шиморда И., Староба И.** Статическое электричество в промышленности.- М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.- 240 с.
6. **Попов Б.Г.** Статическое электричество в химической промышленности.- М.: Химия, 1971.- 208 с.
7. **Имянитов И.М.** Приборы и методы для измерения электричества атмосферы. - М.: Гос. изд. техн.-теорет. лит., 1957.- 483 с.
8. **Мик Дж., Крегс Дж.** Электрический пробой в газах. - М.: ИЛ, 1954.- 605 с.

Государственный электротехнический ун-т (СПб), Государственный инженерный университет Армении, Ин-т общей и неорганической химии НАН РА, Военная Академия связи (СПб). Материал поступил в редакцию 20.03.2009.

Է.Վ. ԱԲՐԱՄՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Վ.Դ. ԱԲՐԱՄՅԱՆ
ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ԲԱՐՁՐ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ
ՀՍԿՈՒՄ ԱՊԱՀՈՎՈՂ ԲԱՐՁՐ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԱԵՐՈԻՈՆԱՅԻՆ
ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ

Դիտարկվում են փոքր չափեր ունեցող, կայծաանվտանգ և բարձր արդյունավետություն ունեցող կայծային պարպման աերոիոնային գեներատորի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը, որը կարող է ծառայել որպես ստատիկ էլեկտրականության չեզոքացուցիչ, իոնիզատոր՝ տարբեր տեխնոլոգիական պրոցեսների ինտենսիվությունը մեծացնելու, որպես օդափոխանակիչի կցորդ՝ արհեստական եղանակ ստեղծելու համար: Գեներատորի կառուցվածքը թույլ է տալիս կարգավորել աերոիոնների բաղադրությունը շրջապատող միջավայրում՝ $0,6 \cdot 10^8$ մ⁻³... $5,0 \cdot 10^{16}$ մ⁻³ տիրույթում: Առաջարկվում է նաև շրջապատող միջավայրում աերոիոնների բաղադրության հսկման սարք:

Առանցքային բառեր, աերոիոն, իոնարար, էլեկտրականացում, չեզոքացում, ասպիրացիոն կոնդենսատոր, կայծային պարպում, սոլենոիդ:

E.V. ABRAMYAN, S.P. DAVTYAN, S.N. YENGIBARYAN, V.K. ABRAMYAN
SUPERFINE-ADJUSTABLE AND PERFORMANCE-CONTROLLABLE
HIGH-EFFICIENCY AERO ION GENERATOR

The design and the principle of operation of a small-sized, spark– safe and high–performance corona–discharge aero ion generator are discussed. The device can be used as either a static electricity neutralizer, an independent–operating ionizer or a climatizing attachment to air conditioners. The generator is designed so as to allow the environmental aero ion concentration to be adjusted between the limits $0,6 \cdot 10^8$ m⁻³ and $5,0 \cdot 10^{16}$ m⁻³. A tester for environmental aero ion concentration is also presented.

Keywords: aero ion, ionizer, electrization, neutralizer, aspiration condenser, corona-discharge, solenoid.

Ж.М. МИРЗАБЕКЯН

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В КАБЕЛЕ С ПЛОСКИМИ ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ

Рассматриваются методы расчета магнитного поля и индуктивности кабеля с плоскими токопроводящими жилами. Дается анализ расчетов с применением θ -функции. Для плоских жил сечением $1,13 \text{ мм}^2$ рассчитываются активное сопротивление и емкость при частоте 20 кГц .

Ключевые слова: плоский кабель, тета-функция, индуктивность, симметричное поле относительно экрана.

В [1] приведено интегральное уравнение для расчета токов в длинных цилиндрических немагнитных проводниках, которые создают в окружающем пространстве плоское электромагнитное поле. Поперечное сечение этих проводников обозначено через S_k ($k = 1, 2, 3, \dots, n$):

$$\delta_j(Q) + \frac{ik^2}{2\pi} \sum_{k=1}^n \int_{S_k} \delta_k(M) \ell n \frac{1}{r_{QM}} dS_M = \gamma E_{Qj}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где $\delta_j(Q)$ – плотность тока в точке Q проводника S_j ($j = 1, \dots, n$); E_{Qj} – некоторая константа на проводнике S_j (падение напряжения на единицы длины j -го проводника).

При рассмотрении ленточных экранированных проводов можно без существенной ошибки считать, что магнитное поле H на экране параллельно экрану (рис. 1). Поэтому это поле может быть продолжено симметрично относительно экрана во всех направлениях, и после многократного повторения этой операции, как и при расчете электрического поля, приходим к периодической картине с тем же полем, но без экрана. Для учета влияния экрана исходная система была заменена на эквивалентную из бесконечного числа проводов (рис. 2) с горизонтальным $4B$ и вертикальным $2A$ периодами. В уравнение (1) для такой системы входила бесконечная сумма ($n = \infty$). Однако, проследив за выводом уравнения (1) [1], нетрудно заключить, что если заменить $\ell n \frac{1}{r}$ двояко-периодической функцией $k(x, y)$ с

периодами $4B$ и $2A$, гармонической всюду, и такой, что $k(x, y) - \ell n \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ ограничена

в нуле, то будет справедливым уравнение, аналогичное (1), с $n = 4$ (число проводов в периоде). То есть, будем иметь

$$\delta_j(Q) + \frac{ik^2}{2\pi} \sum_{j=1}^4 \iint_{S_j} \delta_k(M) k(x_Q - x_M, y_Q - y_M) dx_M dy_M = \gamma E_{Dj} \quad (2)$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 – провода I, II, III, IV; $\delta_j(Q)$ – плотности токов на этих проводах ($j = 1, 2, 3, 4$).
Используя свойства функции $\theta_1(V)$ [4], нетрудно показать, что описанным выше условиям удовлетворяет функция

$$k(x, y) = \ell n \left| \theta_1 \left(\frac{x + iy}{4B} \right) \right|, \quad (3)$$

где $\theta_1(V) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^n q^{n(n-1)} e^{i\pi(2n-1)V}$; $V = (x + iy)/2B$; $q = e^{-\pi A/2B}$.

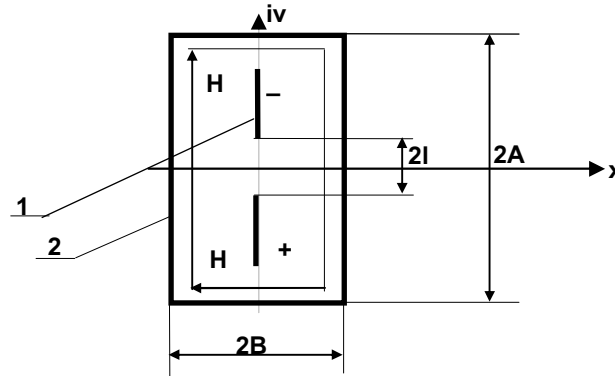


Рис. 1. К расчету активного сопротивления экранированного кабеля с плоскими токопроводящими жилами: 1- токопроводящая жила, 2- экран;
знак "–" – ток течет от нас; знак "+" – ток течет к нам

Построенная нами функция $k(x, y)$ является периодической по X с периодом $4B$, однако она непериодична по y . Согласно таблице в [4], можно записать $k(x, y + 2A) = k(x, y) + \pi A/2B$.

Так как сумма токов в периодах I и II равна нулю, то сумма интегралов в (2) периодична по y , и уравнение (2) можно переписать в виде

$$\delta_1(Q) + \frac{ik^2}{2\pi} \iint_{S_1} \delta_1(M) \left[k(x_Q - x_M, y_Q - y_M) - k(x_Q - x_M + 2B, y_Q - y_M) - \right. \quad (4) \\ \left. - k(x_Q - x_M, y_Q + y_M) + k(x_Q - x_M + 2B, y_Q + y_M) \right] dx_M dy_M = \gamma E_{01}.$$

С учетом (3) это выражение эквивалентно:

$$\delta_1(Q) + \frac{ik^2}{2\pi} \iint_{S_1} \delta_1(M) \left[\ell n \left| \frac{\theta_2 \left(\frac{(x_Q - x_M) + i(y_Q - y_M)}{4B} \right)}{\theta_2 \left(\frac{(x_Q - x_M) + i(y_Q - y_M)}{4B} \right)} \right| + \ell n \left| \frac{\theta_1 \left(\frac{(x_Q - x_M) + i(y_Q + y_M)}{4B} \right)}{\theta_2 \left(\frac{(x_Q - x_M) + i(y_Q + y_M)}{4B} \right)} \right| \right] dx_M dy_M = C, \quad (5)$$

где $C = \text{const.}$

Уравнение (5) можно переписать в виде

$$\delta_1(Q) + \frac{ik^2}{2\pi} \int_{-b/2}^{b/2} \int_{\ell}^{\alpha+\ell} k_0(x_M, x_Q; y_M, y_Q) \delta(M) dx_M dy_M = C. \quad (6)$$

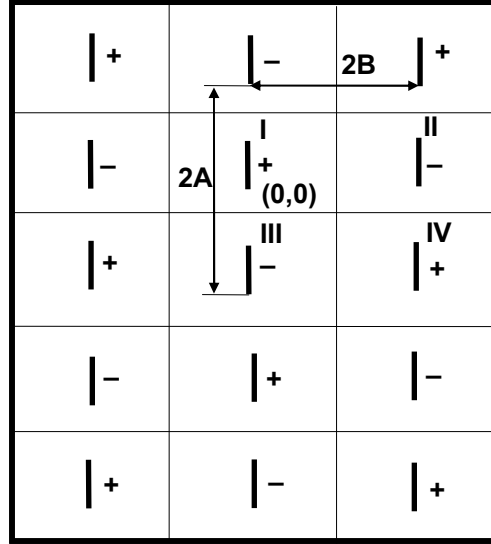


Рис. 2. К рассмотрению магнитного поля кабеля методом зеркального отображения

Подберем такое число λ чтобы выражение (6) оказалось минимальным. Очевидно,

$$\lambda = \frac{1}{\alpha^2 b^2} \iint_{S_1} \iint_{S_1} k_0 dx_M dy_M dx_Q dy_Q. \quad (7)$$

Тогда выражение (7) примет вид

$$\|A\|^2 = \frac{k^4}{4\pi^2} \left(\iint_{S_1} \iint_{S_1} k_0^2 dx_M dy_M dx_Q dy_Q - \frac{\lambda^2}{\alpha^2 b^2} \right). \quad (8)$$

Уравнение (6) можно переписать в виде

$$\delta_1(Q) + \frac{ik^2}{2\pi} \iint_{S_1} (k_0 - \lambda) \delta_1(M) dx_M dy_M = C_1, \quad (9)$$

где $C_1 = \text{const}$; k_0 – сумма логарифмов в выражении (5).

Так как нас интересует лишь распределение тока $\delta_1(Q)$, то можно принять $C_1 = 1$.

Уравнение (9) решаем по схеме, указанной в [5]. Это возможно, так как ядро уравнения (9) симметрично.

Схема решения следующая:

$$\begin{aligned} \delta_0(Q) &= \alpha, \\ \delta_1(Q) &= (1 - \alpha) \delta_0 - \frac{ik^2 \alpha}{2\pi} \iint_{S_1} k_0 \delta_0(M) dx_M dy_M + \alpha, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\delta_2(Q) = (1 - \alpha)\delta_1 - \frac{ik^2\alpha}{2\pi} \int_{S_1} \int k_0 \delta_1(M) dX_M dY_M + \alpha,$$

$$\text{где } \alpha = \frac{1}{1 + \frac{k^4}{4\pi^2} \|A\|^2}.$$

Расчеты проводятся двумя этапами.

Первый этап. Примем толщину проводов равной нулю (т.е. интегрируем по оси провода в ширину). Тогда уравнение (9) можно заменить следующим выражением:

$$\sigma(y) + \frac{ik^2b}{2\pi} \int_{\ell}^{\ell+\alpha} \sigma(y_m) [k_0(0, y, 0, y_m) - \lambda_1] dy_m = 1, \quad (11)$$

где σ - поверхностная плотность тока.

Если $b \ll \alpha$, то уравнение (11) является достаточным. В этом случае

$$\lambda_1 = \frac{1}{\alpha} \int_{\ell}^{\ell+\alpha} \int_{\ell}^{\ell+\alpha} k_0(0, y_m, 0, y_q) dy_m dy_q, \quad (12)$$

тогда будем иметь

$$\|A\|^2 = \int_{\ell}^{\ell+\alpha} \int_{\ell}^{\ell+\alpha} k_0^2(0, y_m, 0, y_q) dy_m dy_q - \frac{\lambda^2}{\alpha}. \quad (13)$$

Полагая $\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{k^4 b^2}{4\pi^2} \|A\|^2}$, применяем итерационную схему:

$$\sigma_0(Q) = \alpha,$$

$$\sigma_1(Q) = (1 - \alpha)\sigma_0 - \frac{ik^2b\alpha}{2\pi} \int_{\ell}^{\ell+\alpha} [k_0(0, y_q, 0, y_m) - \lambda_1] \sigma_0(y_m) dy_m + \alpha,$$

$$\sigma_{j+1}(Q) = (1 - \alpha)\sigma_j - \frac{ik^2b\alpha}{2\pi} \int_{\ell}^{\ell+\alpha} [k_0(0, y_q, 0, y_m) - \lambda_1] \sigma_j(y_m) dy_m + \alpha.$$

Определив отсюда σ , находим предварительное распределение тока. При этом считаем, что в силу поверхностного эффекта этот ток намного быстрее меняется вдоль X , чем вдоль Y , т.е.

$$\frac{d^2 \delta(x, y)}{dx^2} - k^2 \delta(x, y) = 0, \quad (14)$$

$$\int_{-b/2}^{b/2} \delta(x, y) dy = \sigma(y), \quad (15)$$

Кроме того, этот ток симметричен по X , т.е.

$$\delta(x, y) = \mu(y) \operatorname{ch} \sqrt{k} x, \quad (16)$$

тогда согласно (15) имеем

$$\mu(y) = \frac{\sigma(y)}{\int_{-b/2}^{b/2} \operatorname{ch} \sqrt{i} k x \, dx} = \frac{\sigma(y) \sqrt{i} k}{2 \operatorname{sh} \sqrt{i} k \frac{b}{2}}. \quad (17)$$

Второй этап. Для толстых проводов, взяв за начальное приближение функцию (15) $\delta_0(x, y)$, можно использовать итерационную схему (10), которая сходится быстро, так как δ мало отличается от решения уравнения (9).

Алгоритм решения задачи по определению активного сопротивления кабеля с плоскими токопроводящими жилами имеет следующий вид:

1. Для тонких проводов:

1. Вводим две функции

$$k(x, y) = \ln \left| \frac{\theta_2 \left(\frac{x + iy}{4B} \right)}{\theta_1 \left(\frac{x + iy}{4B} \right)} \right|.$$

2. Развиваем интервал $(\ell, \ell + \alpha)$ на n частей точками,

$$y_r = \ell + r \alpha / n, \quad r = 0, 1, \dots, n.$$

3. Составляем функции k_r^-, k_r^+ :

$$k_r^- = k \left(0, \frac{(r-1)\alpha}{n} \right), \quad r = 2, \dots, n+1$$

при $r = 1, \quad k_r^- = 2k_2^- - k_3^-$,

$$k_r^- = k \left(0, 2\ell + \frac{(r-1)\alpha}{n} \right), \quad r = 1, 2, \dots, 2n+1.$$

4. Рассчитываем число λ_1 , заменяя уравнение (12) выражением

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{1}{\alpha^2} \sum_{r=0}^n \sum_{r_1=0}^n x_{r,r_1} \left(k_{|r-r_1|+1}^- + k_{r+r_1+1}^+ \right) = \\ &= \frac{1}{\alpha^2} \frac{h^2}{9} \sum_{r=0}^n X_r \left[\sum_{r_1=0}^n X_{r_1} \left(k_{|r-r_1|+1}^- - k_{r+r_1+1}^+ \right) \right], \end{aligned}$$

где $X_{r-r_1} = X_r X_{r_1}$ - коэффициент двумерной формулы Симпсона; X_r - коэффициент одномерной формулы Симпсона.

5. Рассчитываем число A , заменяя уравнение (13) выражением

$$A_1 = \frac{h^2}{9} \sum_{r=0}^n \sum_{r_1=0}^n X_{r-r_1} \left(k_{|r-r_1|+1}^- - k_{r+r_1+1}^+ \right)^2 - \alpha^2 \lambda_1^2.$$

6. Полагаем $\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{k^4 b^2}{4\pi} A_1}$.

7. Начало итерации $\sigma_{0,r} = \alpha_1, \quad r = 0, 1, \dots, n.$

8. Проводим итерацию:

$$\sigma_{j+1,r} = (1 - \alpha_1) \sigma_{j,r} - \frac{ik^2 b \alpha_1 h}{2\pi} \frac{1}{3} \sum_{r_1=0}^n X_r \left(k |r - r_1| + 1 - k_{r+r_1+1}^+ - \lambda_1 \right) \sigma_{j,r_1} + \alpha_1.$$

9. Критерий остановки:

$$\sum_{r=0}^n X_r \left| \sigma_{j+1,r} - \sigma_{j,r} \right|^2 (\varepsilon^2 \sum X_r |\sigma_{j,r}|^2).$$

10. Находим предварительный ток по последней итерации:

$$I = \frac{bh}{3} \sum_{r=0}^n X_r \sigma_r,$$

где h - длина отрезка разбиения, $h = \alpha/n$.

11. Определяем предварительные потери P_{np} :

$$P_{np} = \frac{h}{3} \frac{\sqrt{2}}{4\gamma} \frac{k b^2}{\text{ch} \frac{\sqrt{2}}{2} k b} \frac{\text{sh} \frac{\sqrt{2}}{2} k b + \sin \frac{\sqrt{2}}{2} k b}{\text{ch} \frac{\sqrt{2}}{2} k b - \cos \frac{\sqrt{2}}{2} k b} \sum_{r=0}^n X_r \sigma_r^2.$$

12. Определяем предварительное активное сопротивление:

$$R_{np} = P_{np} / (I_{np})^2.$$

2. Для тонких проводов

1. Выбираем разбиение:

$$\gamma_r = \ell + \frac{\alpha}{n} r, \quad X_s = -\frac{b}{2} + \frac{b}{m} s, \quad r = 0, 1, \dots, n, \quad s = 0, 1, \dots, m.$$

2. Составляем матрицы $L_{r,s}^-, L_{r,s}^+$:

$$L_{r,s}^- = k \left[\frac{(s-1)b}{m}, \frac{(r-1)\alpha}{n} \right], \quad s = 1, \dots, m+1, \quad r = 1, \dots, n+1,$$

кроме $s = r = 1 \quad L_{1,1}^- = 2L_{1,2}^- - L_{1,3}^-$:

$$L_{r,s}^+ = k \left[\frac{(s-1)b}{m}, 2\ell + \frac{(r-1)\alpha}{n} \right], \quad s = 1, \dots, m+1, \quad r = 1, \dots, 2n+1.$$

3. Рассчитываем число λ :

$$\lambda = \frac{1}{\alpha^2 b^2} \sum_{r=0}^n \sum_{s=0}^m X_{r,s} \left[\sum_{r_1=0}^n \sum_{s_1=0}^m X_{r_1,s_1} \left(L_{|r-r_1|+1,|s-s_1|+1}^- - L_{r+r_1+1,|s-s_1|+1}^+ \right) \right].$$

4. Рассчитываем поле A :

$$A = \sum_{r=0}^n \sum_{s=0}^m X_{r,s} \left[\sum_{r_1=0}^n \sum_{s_1=0}^m X_{r_1,s_1} \left(L_{|r-r_1|+1,|s-s_1|+1}^- - L_{r+r_1+1,|s-s_1|+1}^+ \right)^2 \right] - \alpha^2 b^2 \lambda^2,$$

$$X_{r,s} = X_r X_s.$$

5. Полагаем $\alpha = \frac{1}{1 + \frac{k^4}{4\pi} A}$.

6. Начало итерации: $\delta_{0,r,s} = \frac{\sigma_r b \sqrt{i} k \operatorname{ch} \sqrt{ik} X_s}{2 \operatorname{sh} \sqrt{i} k \frac{b}{2}}$.

7. Проводим итерацию:

$$\delta_{j+1,r,s} = (1-\alpha)\delta_{j,r,s} - \frac{ik^2\alpha}{2\pi} \sum_{r_1=0}^n \sum_{s_1=0}^m X_{r_1,s_1} \left(L_{|r-r_1|+1,|s-s_1|+1}^- - L_{|r+r_1|+1,|s-s_1|+1}^+ - \lambda \right) \cdot \delta_{j,r,s} + \alpha \cdot$$

8. Критерий остановки:

$$\sum_{r=0}^n \sum_{s=0}^m X_{r,s} |\delta_{j+1,r,s} - \delta_{j,r,s}|^2 \leq \varepsilon^2 \sum_{r=0}^n \sum_{s=0}^m X_{r,s} |\delta_{j,r,s}|^2.$$

9. Определяем активное сопротивление:

$$R = \frac{\frac{1}{\gamma} \sum_{r=0}^n \sum_{s=0}^m X_{r,s} |\delta_{r,s}|^2}{\frac{h}{9} \frac{h_1}{\left| \sum_{r=0}^n \sum_{s=0}^m X_{r,s} \delta_{r,s} \right|^2}}, \quad h_1 = \frac{b}{m}.$$

Заключение. Анализ результатов расчета электромагнитных параметров кабелей с плоскими токопроводящими жилами показывает возможность получения активного сопротивления кабельной цепи с плоскими жилами при сечении, эквивалентном диаметру цилиндрических жил сечения круглого провода с диаметром 1,2 мм ($S=1,13 \text{ мм}^2$), и частоте проводимого тока $f=120 \text{ кГц}$.

В случае плоских жил сечением 1,13 мм² активное сопротивление при частоте 120 кГц равно 48 Ом/км, тогда как при эквивалентном сечении круглых жил оно доходит до 95 Ом/км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. – М.: Энергия, 1975. – 295 с.
2. Берс Л., Джон М., Шахтер М. Элементы функционального анализа. – М.: Наука, 1965.
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функции комплексного переменного. – М.: Наука, 1972. – 736 с.
4. Тимм И.Е. Основы теории электричества. – 3-е изд. – М.: ОГИЗ, 1946.
5. Бейтман Г. Эрдейн А. Высшие трансцендентные функции. – М.: Наука, 1966. – 295 с.
6. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 331 с.
7. Иоссель Ю.Я. Расчет электрической емкости. – М.: Энергоиздат, 1997. – 240с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 12.07.2007.

Ժ.Մ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ

**ՀԱՐԹ ՀՈՍԱՆՔԱՀԱՂՈՐԴԻՉ ՋՂԵՐՈՎ ՄԱԼՈՒԽՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ
ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ**

Դիտարկվում են հարթ հոսանքահաղորդիչ լարերով մալուխի մագնիսական դաշտի և ինդուկտիվության հաշվարկի մեթոդները: Տրվում է հաշվարկների վերլուծությունը՝ Π ֆունկցիայի կիրառմամբ: $1,13 \text{ մմ}^2$ կտրվածքով հարթ ջղերի դեպքում հաշվարկվում է ակտիվ դիմադրություն և ունակություն՝ 20 կՀց - ի դեպքում:

Առանցքային բառեր. հարթ մալուխ, թետա-ֆունկցիա, ինդուկտիվություն, էկրանի նկատմամբ սիմետրիկ դաշտ:

Zh.M. MIRZABEKYAN

**ELECTROMAGNETIC FIELD CALCULATION OF HIGH-FREQUENCY CABLES
WITH FLAT CURRENT-CARRYING CORES**

Calculation methods of magnetic field and inductance of the cable with flat current-carrying cores are considered. The analysis of these calculation with θ - function application is given. For flat cores with section of $1,13 \text{ mm}^2$ the active resistance and capacities with 20 kHz frequency are calculated.

Keywords: flat cable, theta-function, inductance, symmetric field relative to the screen.

М.К. БАГДАСАРЯН, С.М. МУРАДЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ

Предложен способ оптимизации электропотребления процесса измельчения руды на основе комплексного рассмотрения усовершенствованной конструкции мельниц с целью повышения ее производительности и оптимизации управляемых параметров. Предложенный способ позволяет при заданных исходных данных разработать электромеханическую систему мельница-двигатель, которая обеспечит минимальный расход электроэнергии.

Ключевые слова: электропотребление, наклон оси, оптимизация, удельный расход, управляемые параметры, усовершенствованная конструкция.

Энергетические затраты на измельчение руды непрерывно растут в связи с расширяющимся освоением новых месторождений бедных руд и необходимостью переработки отходов, а также с развитием процессов порошковой и других малоотходных технологий. Доля энергетических затрат на измельчение большинства использующих этот процесс предприятий составляет более 40% их экономического баланса. В этой связи разработка способа для снижения расходов электроэнергии измельчительных процессов становится все более актуальной [1].

Революция на рынке измельчительного оборудования – явление редкое. Подавляющее большинство предприятий для измельчения используют стержневые и шаровые мельницы, принцип действия которых не претерпел изменения за много лет. Существующие конструкции обеспечивают не более 40% активного участия мелющих тел в процессе измельчения из числа находящихся в барабане мельницы. Остальные частицы в виде плотного компактного слоя перемещаются в центральной части загрузки, никак не воздействуя на измельчаемый материал. Из вышесказанного следует, что оптимизацию режимов электропотребления процесса измельчения можно обеспечить комплексным рассмотрением возможности активизирования действия мелющих тел внутри барабана, т.е. определением оптимальных конструктивных параметров усовершенствованной мельницы и определения управляемых параметров, обеспечивающих эффективный расход электроэнергии.

Целью настоящей работы является оптимизация режимов электропотребления процесса измельчения руды для разработанной нами усовершенствованной конструкции мельницы, обеспечивающей активизирование действия мелющих тел внутри барабана [2].

Отличительной особенностью усовершенствованной мельницы является то, что за счет наклона оси вращения барабана под углом α активизируются действия мелющих тел, так как при каждом обороте барабана они перемещаются не только в поперечном сечении, но и вдоль оси вращения мельницы. При таком измельчении положение центра масс загрузки изменяется, что, в свою очередь, вызывает изменение величины потребляемой полезной мощности мельницы.

Исследования показали, что полезная мощность потребляемой мельницы, а также производительность мельницы в большей степени зависят от длины, внутреннего радиуса и угла наклона оси вращения барабана мельниц. Решение задачи разбито на два этапа.

На первом этапе необходимо найти оптимальные значения конструктивных параметров мельницы, обеспечивающие максимальную эффективность измельчения для различных значений производительности мельниц, плотности загрузки, а также угла поворота барабана.

Математическая формулировка задачи первого этапа имеет вид

$$\begin{cases} \varepsilon(x) = \frac{Q(\beta - \beta_0)}{P_0} \rightarrow \max, \\ x = \begin{pmatrix} R \\ L \\ \alpha \end{pmatrix}, \quad R_{\min} \leq R \leq R_{\max}, \quad L_{\min} \leq L \leq L_{\max}, \quad \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где β_0, β - соответственно содержание расчетного класса в исходном и измельченном продуктах; L, R - соответственно длина и внутренний радиус барабана мельницы; P_0 - полезная мощность, расходуемая на приведение в движение мелющей среды, определяемая с учетом того, что при каждом обороте барабана мелющие тела перемещаются как в поперечном сечении, так и вдоль оси вращения мельницы [3]:

$$P_0 = Vfg\gamma \frac{0.105 * 30 * \sqrt{g}}{\pi\sqrt{R}} \Psi \left(\sqrt{\ell_x^2 + \ell_z^2 + \ell_y^2} \right). \quad (2)$$

Здесь f - коэффициент трения; V - объем заполнения мельницы; Ψ - скорость вращения барабана в относительных единицах; γ - плотность внутримельничной загрузки; ℓ_x, ℓ_y, ℓ_z - расстояние центра тяжести от оси координат x, y, z .

Величина объема заполнения мельницы для конструкции рудоразмольной мельницы с углом наклона оси вращения барабана определяется в виде

$$V = V_1 + V_2 + V_3,$$

где

$$V_1 = \frac{2L}{f_4} \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right],$$

$$V_2 = \frac{2L}{f_4} \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right],$$

$$V_3 = \frac{L}{f_4} \left(2Lf_1(-a_3 + a_1) - \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \\ & + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \\ & - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] + \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] \right).$$

Использованы следующие обозначения:

$$a = (f_2^2 - 2f_4f_5), \quad b = (2Lf_3f_4 + 2Lf_2f_1), \quad c = L^2f_1^2 - 2f_6f_4, \quad a_1 = R - \frac{L}{2} \sin \alpha,$$

$$a_2 \equiv \frac{-Lf_3 + \sqrt{f_3^2 - 4f_5f_6}}{2f_6}, \quad a_3 \equiv \frac{Lf_3 - \sqrt{f_3^2 - 4f_5f_6}}{2f_6},$$

$$f_1 = \cos \alpha \sin \alpha \sin \varphi, \quad f_2 = 2 \cos \varphi \sin \varphi \sin^2 \alpha, \quad f_3 = \cos \alpha \sin \alpha \cos \varphi,$$

$$f_4 = 2(\cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha), \quad f_5 = \sin^2 \alpha \sin^2 \varphi + \cos^2 \alpha, \quad f_6 = \frac{L^2}{4} \sin^2 \alpha - R^2,$$

$$\ell_x = \sqrt{y_c^2 + z_c^2}, \quad \ell_y = \sqrt{x_c^2 + z_c^2}, \quad \ell_z = \sqrt{y_c^2 + x_c^2},$$

где φ - угол поворота барабана; x_c, y_c, z_c - координаты центра массы с загрузкой, определяемые в виде

$$x_c = \frac{x_{c1}x_1 + x_{c2}x_2 + x_{c3}x_3}{x_1 + x_2 + x_3}, \quad y_c = \frac{y_{c1}x_1 + y_{c2}x_2 + y_{c3}x_3}{x_1 + x_2 + x_3}, \quad z_c = \frac{z_{c1}x_1 + z_{c2}x_2 + z_{c3}x_3}{x_1 + x_2 + x_3}.$$

Здесь $x_1 = \sqrt{(x_{c2} - x_{c1})^2 + (y_{c2} - y_{c1})^2 + (z_{c2} - z_{c1})^2},$

$$x_2 = \sqrt{(x_{c3} - x_{c2})^2 + (y_{c3} - y_{c2})^2 + (z_{c3} - z_{c2})^2},$$

$$x_3 = \sqrt{(x_{c1} - x_{c3})^2 + (y_{c1} - y_{c3})^2 + (z_{c1} - z_{c3})^2},$$

$(x_{c1}, y_{c2}, z_{c3}), (x_{c1}, y_{c2}, z_{c3}), (x_{c1}, y_{c2}, z_{c3})$ - соответственно координаты центра массы с загрузкой для объемов V_1, V_2, V_3 .

$$x_{c1} = \frac{L^2}{V_1 f_4} \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right],$$

$$\begin{aligned}
y_{c1} &= \frac{2L}{V_1 f_4} \left[\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_2^2 + ba_2 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ &-\frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right], \\
z_{c1} &= \frac{2Lf_2}{V_1 f_4^2} \left(\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_2^2 + ba_2 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ &-\frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right) - \\
&- \frac{2L^2 f_1}{V_1 f_4^2} \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right], \\
x_{c2} &= \frac{L^2}{V_2 f_4} \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right], \\
y_{c2} &= \frac{2L}{V_2 f_4} \left[\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_3^2 - ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ &-\frac{1}{3a} (aa_1^2 - ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right],
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z_{c2} &= \frac{2Lf_2}{f_4^2} \left(\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_3^2 + ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ &-\frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right) + \\
&+ \frac{2L^2f_1}{f_4^2} \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right], \\
x_{c3} &= \frac{L^2}{2V_3f_4} \left(\begin{aligned} &2Lf_1(-a_3 + a_1) - \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \\ &+ \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \\ &-\frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] + \\ &+ \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_{c3} &= \frac{L}{V_3 f_4} \left[2L f_1 \left(\frac{a_3^2}{2} - \frac{a_1^2}{2} \right) - \left[\frac{1}{3a} (aa_3^2 + ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \right] + \right. \\
&\quad \left. + \left[\frac{1}{3a} (aa_3^2 - ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{1}{3a} (aa_1^2 - ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \right] \right] \\
z_{c3} &= \frac{L}{2f_4^2} \left[4L f_1 f_2 (-a_3 + a_1) + 2b \left(\frac{a_3^2}{2} - \frac{a_1^2}{2} \right) - 2f_1 L \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \left(\arcsin \frac{-2aa_2 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right) - \frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} \right] + \right. \\
&\quad + 2f_2 \left[\frac{1}{3a} (aa_3^2 - ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{1}{3a} (aa_1^2 - ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \right] - \right. \\
&\quad - 2f_1 L \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] + \right. \\
&\quad + 2f_2 \left[\frac{1}{3a} (aa_3^2 + ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \right] \right]
\end{aligned}$$

В результате решения первого этапа задачи получены оптимальные величины конструктивных параметров R , L , α , обеспечивающие повышенную эффективность измельчения по готовому классу для конструкции рудоразмольной мельницы с углом наклона оси вращения барабана. По этим конструктивным параметрам можно оптимизировать режим электропотребления в процессе измельчения руды.

На втором этапе поставлена задача минимизации удельного расхода электроэнергии в процессе измельчения при ограничениях нагрузочного коэффициента, характеризующего эффективность использования приводного двигателя, и избыточного динамического момента системы электропривода.

Анализ расчетных результатов удельного расхода электроэнергии w , нагрузочного коэффициента и динамического момента системы электропривода для мельниц с наклоном оси вращения барабана показал, что на эти величины наибольшее влияние имеют такие управляемые параметры, как относительная скорость движения мельницы ψ , производительность подачи измельчаемого материала Q , плотность внутримельничной загрузки γ , коэффициент заполнения мельницы K . Исходя из вышесказанного, в качестве оптимизируемых параметров выбраны относительная скорость движения мельницы ψ , производительность подачи измельчаемого материала Q , уровень загрузки h , в барабане мельницы.

Математическая формулировка задачи второго этапа имеет вид

$$\begin{cases} W(\bar{x}) \rightarrow \min, \\ D: \{\bar{x} \in S^3; \quad k = \frac{P_0(\bar{x})}{P_H} \geq 0,45; \quad M_{дв} - M_M(\bar{x}) \leq M_{доп}, \\ x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, \quad j = 1, \dots, 3. \end{cases} \quad (3)$$

Удельный расход электроэнергии определяется в виде

$$w = \frac{P_0 + P_{хол} + P_{доп}}{Q\eta\eta_s}.$$

Использованы следующие обозначения: x_j^- , x_j^+ - нижнее и верхнее предельные значения для j -го управляемого параметра; η - коэффициент полезного действия передач; η_s - КПД электродвигателя; $P_{хол}$ - мощность холостого хода, расходуемая на вращение барабана при отсутствии в нем мелющих тел; $P_{доп}$ - мощность, расходуемая на дополнительные потери в подшипниках цапф, появляющаяся под действием веса внутримельничной загрузки; P_0 - полезная мощность, расходуемая на приведение в движение мелющей среды.

Момент сопротивления M_M , создаваемый мельницей, и электромагнитный момент $M_{дв}$, развиваемый двигателем [4], определяются в виде

$$M_M(x) = \frac{1000V\gamma g \left(\sqrt{\ell_x^2 + \ell_z^2} + \ell_y \right) \omega_M}{0,105\omega_{ДВ}\eta\eta_s}, \quad M_{ДВ} = \frac{3U_c E_f}{\omega_{ДВ} X_d} \sin \theta,$$

где $\omega_M, \omega_{ДВ}$ - соответственно угловая скорость вращения барабана мельниц и двигателя; U_c - фазное напряжение, приложенное к обмотке статора двигателя; E_f - ЭДС возбуждения, индуцируемая потоком возбуждения ротора; X_d - синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси; θ - внутренний угол двигателя между основной ЭДС и напряжением U_c .

Учитывая, что угол поворота барабана физически изменяется при изменении скорости движения мельницы, а ψ является оптимизируемым параметром при минимизации удельного расхода электроэнергии при измельчении руды, для определения угла поворота барабана использована полученная нами эмпирическая формула

$$\varphi = 0,35 + 0,4\psi.$$

Для решения задачи, изложенной в двух этапах, на основе вышеприведенной математической модели с использованием алгоритма случайного метода составлена компьютерная программа, позволяющая для вводимых исходных данных определить сначала оптимальные параметры усовершенствованной конструкции мельницы, а затем управляемые параметры, обеспечивающие ее оптимальный электропривод. Диалоговый сервис данной программы рассчитан на пользователей, не имеющих специальной подготовки программиста.

Сравнительный анализ предложенного и известных способов оптимизации режимов электропотребления процесса измельчения показал несомненное преимущество предложенного способа, так как он позволяет одновременно повысить производительность измельчения и снизить удельный расход электроэнергии. Кроме того, на основе предложенного способа при заданных исходных данных можно разработать электромеханическую систему мельница-двигатель, которая обеспечит повышенную эффективность расхода электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуляков А.Д., Спиридонов П.А. В новый век – с новым оборудованием/ Федеральный строительный рынок. <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6525>. 2006.
2. Kheifets A.S., Lin I.J. Energetic approach to kinetics of batch ball milling // Int. J. Miner. Process.- 1998.-54, N2. – P. 81-97.
3. Багдасарян М.К., Мурадян С.М. Модель исследования полезной мощности, потребляемой усовершенствованной рудоразмольной мельницей // Вестник ГИУА. Серия “Моделирование, оптимизация, управление”. – 2008. -Вып 11, т. 2. - С. 35-40.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. - М.: Мелго, 2004.- 532 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 04.02.2009.

Մ.Ք. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ս.Մ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱՍՊԱՌՄԱՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ
ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

Աղացի արտադրողականության մեծացման և կառավարվող պարամետրերի օպտիմալացման նպատակով վերջինիս կատարելագործված կոնստրուկցիայի համալիր դիտարկման միջոցով առաջարկվել է հանքաքարի մանրացման գործընթացի օպտիմալ էլեկտրասպառման միջոց, որը հնարավորություն է ընձեռում ապահովել արդյունավետ էլեկտրաբանեցում: Առաջարկվող միջոցը թույլ է տալիս հանձնարարված էլակետային տվյալների համար մշակել էլեկտրաէներգիայի արդյունավետ ծախս արահովող աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգ:

Առանցքային բառեր. էլեկտրասպառում, անկյան շեղում, օպտիմալացում, տեսակարար ծախս, կառավարվող պարամետրեր, կատարելագործված կոնստրուկցիա:

M.K. BAGHDASARYAN, S.M. MURADYAN

ELECTROCONSUMPTION REGIME OPTIMIZATION OF
ORE REDUCTION PROCESS

An electroconsumption optimization method of the ore reduction process based on complex consideration of updated mill construction to increase its productivity and optimization of controlling parameters providing an effective electrodrive is proposed. The suggested method allows to develop with the given initial data an electromechanical system "mill-energy" providing increased effectiveness of electric energy.

Keywords: electroconsumption, axis slope, optimization, specific consumption, parameter control, updated construction.

PAVLUSH S. MARGARIAN

AN APPROACH FOR AUTOMATED ASSERTION GENERATION IN TEMPLATE-BASED RTL COMPILERS

An approach for assertion generation which can be used for functional verification of RTL instances generated by a template-based RTL compiler is presented. The suggested approach provides automatic generation of assertions during a RTL compiler development and maintenance. An application of the approach for specific RTL compilers for illustrating the effectiveness of the approach is presented.

Keywords: RTL compiler's output verification, formal verification, symbolic simulation, functional verification, model checking, hardware verification.

1. Introduction. An approach for automated generation of assertions to be used in functional verification of Register Transfer Level (RTL) instances [1] is presented for the case when these instances are generated by a RTL compiler [2-4]. A subset of RTL compilers - template based RTL compilers are considered. They usually consist of templates that describe a parameterized hierarchy of modules and interfaces (interconnections) between them and a generation engine. A typical example of a RTL generating template in Tcl is shown in *Fig 1*. The template input is a vector of input parameter values which defines features and a structure of design instances to be generated, and the output of the template is a RTL description with functionality corresponding to the given input.

Input parameters can be categorized by the following three types:

- **Functional** (P_{Func}^i in Fig. 1)

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

- **External interface** (P_{Extf}^i in Fig. 1)

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

- **Scalability** (P_{Scal}^i in Fig. 1).

These parameters affect the design structure by increase or decrease of certain design characteristics including but not limiting the register bit-width, number of words (in memories), number of cores (e.g. in SoCs), etc.

It is difficult to perform the separation of parameters formally. Meantime a compiler developer without extra efforts can perform that during the compiler design.

To accelerate the separation, a special tool, which parses the templates of a RTL compiler, then extracts and roughly pre-categorizes all template parameters via analysis of templates logic and RTL fragments, has been developed. Further, this categorization can be revised by a compiler developer to provide more accurate separation. This can be considered as a step in the design process, and we assume further that such a separation already exists.

Actually, these parameters are the basis on which the set of compiler templates is built. Control of the design hierarchy and the design features from a template space is performed via them.

The process of functional verification for the built compiler outputs comprises two steps:

- RTL instances generation,
- RTL instances functional verification.

A big number of output RTL instances for all possible input vector values and, correspondingly, unacceptable total time of functional verification for generated instances (either via simulation or formal verification) brings a real challenge to reach a 100% coverage of functional verification for compiler outputs within a reasonable verification time.

The paper considers a possible solution of the problem focusing on two issues: reduce of the number of generated instances and a common input for both simulation and formal verification methods during the functional verification step.

The list of input parameters for a given RTL compiler contains parameters which do not influence directly on the functionality of the generated instance. A way is discussed below how to exclude them from consideration during the functional verification of a RTL compiler outputs.

Simultaneously, the key factor at the functional verification step of a given RTL instance is a choice of a verification method.

Usually, it is a simulation of the generated instance. This approach is time consuming and can take weeks to complete the verification [5, 6]. Besides, the traditional simulation can explore only a small percentage of the reachable design state space due to the fact that the number of values of input vectors required for exhaustive state coverage rises exponentially with the number of input bits and state bits in the design [7].

The other used method is a formal verification [7]. It does not rely on traditional logic simulation or test vectors and utilizes a symbolic simulation and symbolic values instead of the logic zero and one values used by traditional logic simulators [8, 10] for increasing the considered state coverage of the design [9, 11].

Meantime, the formal verification also has time and resource consuming steps, specifically, assertion formulation and, finally, does not replace simulation – it rather complements it.

The suggested input in a form of automatically generated assertions can be used both in simulation and formal verification and, thus, it will mutually reduce time consuming steps as well as will stimulate usage of any flexible combination for these verification methods.

2. Methodology. Paths in a given compiler template which do not affect directly functionality of output RTL instances are redundant for considerations connected with functional verification of these instances and can be eliminated from the consideration, e.g., by assigning fixed values to parameters which activate these paths.

Specifically, per the characterization above, the whole set P_{Exif}^i of external interface parameters is redundant and can be eliminated from the template logic by assigning fixed values to them. This can be considered as a first step of our approach. The elimination means an assignment of constant values from their value set to all external interface parameters. The step is illustrated in *Fig 2* via assigning the constant value **MemWrapper** to the parameter *wrapper_name*.

The second step is unrolling loops related to scalability parameters from the P_{Scal}^i list in the template logic.

Each of these parameters has its own value set which is specific for a given compiler. During the unrolling an assignment of the list of possible values to the considered parameter is performed replacing the corresponding loop. An example of a loop unrolling for the parameter *wr_read_portid_list* is adduced in *Fig 2*.

Both two steps can be completely automated.



Fig. 1. A compiler template in Tcl

The third step is a separation of the RTL description fragments from the template logic. This process results in RTL fragments which become a subject of verification for the compiler developers and a “pure” template logic which does not contain RTL descriptions. It is not difficult to automate the mentioned separation too.

The fourth step is the development of assertions for RTL fragments obtained at the previous step. This process is manual and should be performed by the compiler developers. This is not difficult because these fragments are usually self-developed, small and, thus, it is easy to formulate the corresponding assertions for mentioned fragments. These assertions also can be obtained independently from separate items of initial requirements for the considered compiler.

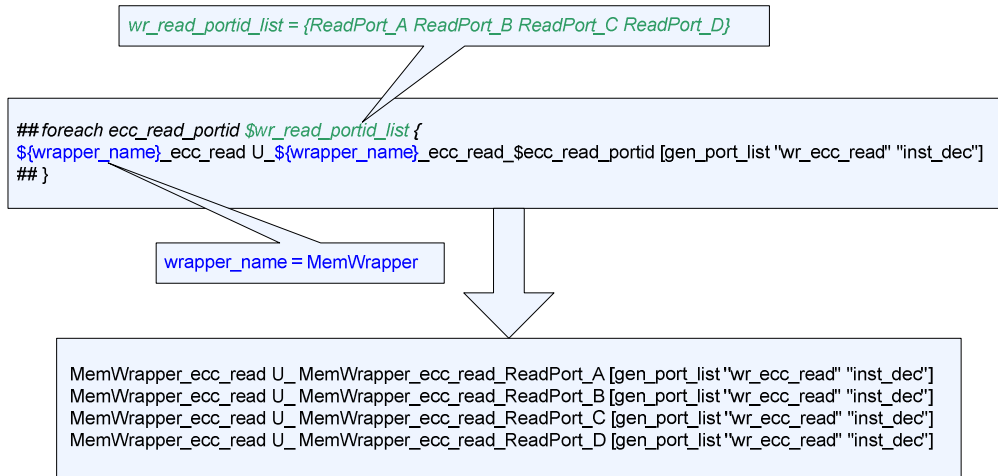


Fig. 2. Assigning constant values and unrolling loops in the template

The next step is the construction of a *Multidirectional Decision Diagram* (MDD) for description of the template logic. The MDD nodes corresponding to variables controlling the template logic and the edges originating from such a node correspond to the value set for the corresponding variable.

The implementation in a form of a MDD leads to an automatic generation of input vectors covering all paths of the template. This can be used to provide 100% path coverage of the template. Each path in MDD starting from the root to one of the MDD end nodes corresponds to an input vector for a given RTL template and an output RTL instance. The MDD for the input template in Fig. 1 is adduced in Fig. 3.

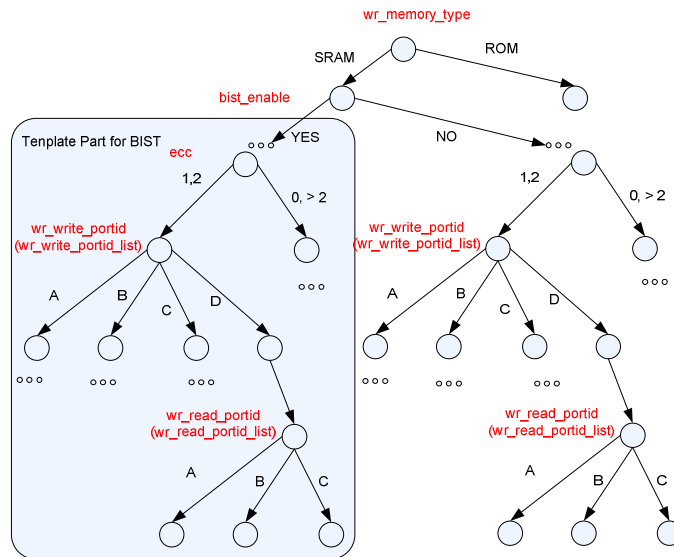


Fig. 3. A MDD for building an assertion generation template

At the last step a new template should be developed per already built assertions for RTL fragments and the built MDD. This template provides generation of complete assertions for RTL output instances generated by the compiler. The generation of an assertion occurs simultaneously with the generation of a RTL instance.

Main steps of the proposed solution are summarized in *Fig. 4*.

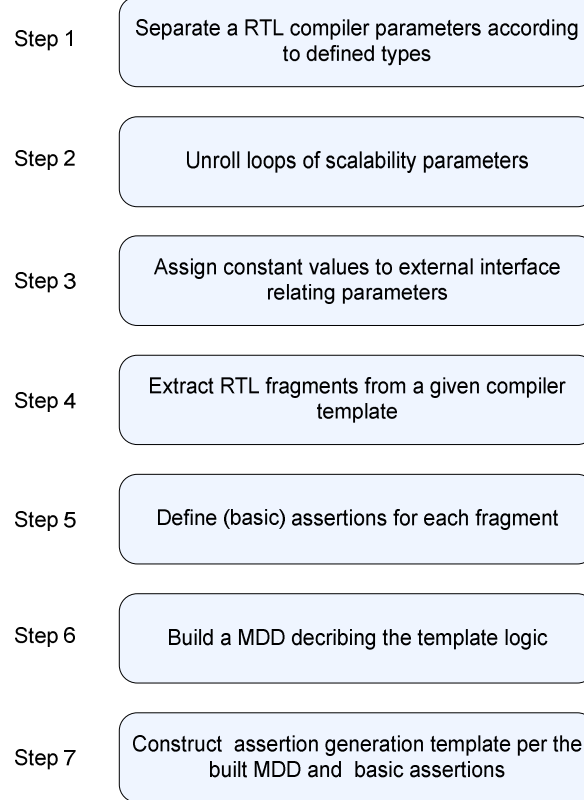


Fig. 4. A flow of the approach

In order to double check the correctness of hand-written basic assertions the following way can be used. A verification of a RTL design should ensure that a built RTL instance behaves according to a set of requirements (a specification) which contains a set of specific properties to be satisfied. These specific properties correspond to assertions for fragments outputs. Thus the double check can be in comparison of constructed basic assertions with mentioned properties described in the specification.

There are several languages for assertion description, which are supported by various tools. The CTL language was chosen in our case for the implementation of the approach due to many advantages [7, 13, 15]. The construction of CTL assertions is usually a major part of efforts in the formal verification of RTL instances [12]. The suggested approach avoids time consuming process of assertion construction for every design instance due to the assertion generation template described above.

3. A model for effectiveness estimation. As it was mentioned in the introduction, a functional verification of outputs of a RTL compiler is a verification of all instances generated by a RTL compiler. This is time consuming process and it requests essentially both computer and

human resources because generated instances should be verified using a formal verification tool on manually written verification assertions or simulation on multiple input vectors. The number of output instances is usually close to thousands.

A total verification time can be expressed by the formula:

$$T_{Ver} = \sum_{i=1}^N (T_{asser}^{(i)} + T_{ver}^{(i)} + T_{analys}^{(i)})$$

where: T_i is a verification time for the instance i , N is number of all instances generated by a RTL compiler. It is clear that N has an exponential dependence on the number of input parameters and the resulting verification time is unacceptable for verification of RTL compilers.

Verification time for the instance i can be expressed as:

$$T_i = T_i^{(asser)} + T_i^{(ver)} + T_i^{(analys)}$$

$$T_{Ver} = \sum_{i=1}^N (T_i^{(asser)} + T_i^{(ver)} + T_i^{(analys)})$$

Possible ways of reducing the verification time are the following:

a decrease of the number of considered paths in templates;

a decrease of the number of manually written assertions.

Per considerations in the methodology section the decrease of the number of paths depends on a power of the P_{Descr} set. Similarly the decrease of the number of manually written assertions depends on a power of the P_{Scal} set.

Some applications of the suggested methodology to specific RTL compilers are adduced in the next section. They illustrate an essential decrease of the verification time for the considered cases.

Meantime it is clear that a representation of a compiler for a given design in a form of compiler hierarchy could also reduce the verification time of the compiler. The issues connected with it will be considered in our further publications.

4. Application for specific RTL compilers. A software system which provides a development and integration flow for a critical component of systems-on-chip (SoC) implemented as hierarchical silicon aware IP is described below.

The case is a multi-layer Embedded Memory Test and Repair Infrastructure (EMTRI) based on a special standardized knowledge model covering:

- memory functionality, its structure, fault and repair models;
- adaptation of test and repair algorithms to customer specific peculiarities;
- basic operations and operations pipeline for test and repair, implemented in a form of processors for specific memories;
- mechanisms of building a network in the case of different processors;
- system testing of the built network;
- mechanisms of the infrastructure insertion in an existing RTL level functional design and its effectiveness evaluation;
- silicon debug, yield analysis and yield estimation for the infrastructure within the considered SoC.

Implementation of the infrastructure is done in a form of a hierarchy of RTL compilers and software tools exploring the database generated by the hierarchy. Each

specific instance of the infrastructure is defined via assignment specific values to parameters of compilers and generates of components and subcomponents for each level. The hierarchy has both hardware and software levels. Hardware levels will be considered further. They include wrapper, processor and server levels.

The Wrapper Compiler for memory component operates as an interface between processor and memory instance. Processor is aimed to perform different BIRA/BIST and related actions. Server compiler is assigned to build the top-level design infrastructure utilizing the generated low level processor, wrapper, and memory modules [13,14].

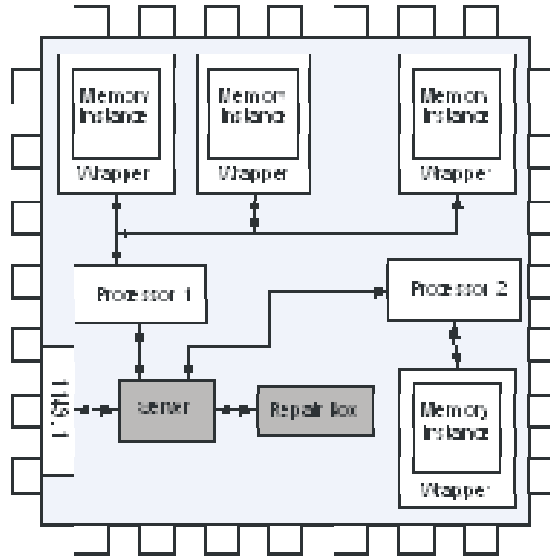


Fig. 5. EMT&RI infrastructure

This brings additionally a scalability and parameterization of the approach. The standardization of the knowledge leads to utilization of the approach for a broad range of memories satisfying the appropriate requirements.

A special process flow will be described briefly to illustrate building of the mentioned infrastructure with a possibility of independent development of separate components. Corresponding verification and characterization steps of the flow will be added too to demonstrate technology-wise advantages of the approach reducing time-to-market.

4.1 EMT&RI verification example. A verification of one level of the hierarchy, the processor level will be considered below.

For formal verification of the Processor we have to generate a set of assertions for all its instructions and then to justify that a given assertion holds for any value of parameters.

Assertion generation process via the template built according to the methodology above and further verification of the obtained assertion will be considered below for one of the Processor instructions: BIST_RUN which tests the memory array for faults. This instruction does not have operands and its binary code is 001010. A CTL assertion for verification of the functional behavior of Processor during interpretation of BIST_RUN should be connected with a status register of the Processor which holds information about the current state. Specifically, it should be connected with values of bits *fail* and *ready* of the status register, reflecting the following. *Fail* indicates that BIST_RUN instruction has detected faults in the memory array. *Ready* indicates that the Processor has finished the

execution of the last instruction and is ready to execute the next instruction. A part of assertion generation template relating to the generation of the assertion for BIST_RUN instruction is adduced in *Fig. 1* and the resulting assertion is adduced in *Fig. 5*.

```

Check_BIST: SPEC AG ((
    !U_SMS.U_proc_stp_p1500.WIR_r[0] &
    !U_SMS.U_proc_stp_p1500.WIR_r[1] &
    U_SMS.U_proc_stp_p1500.WIR_r[2] &
    !U_SMS.U_proc_stp_p1500.WIR_r[3] &
    U_SMS.U_proc_stp_p1500.WIR_r[4] &
    !U_SMS.U_proc_stp_p1500.WIR_r[5] =>
    AG (U_SMS.U_proc_stp.status_reg[3] =>
    !U_SMS.U_proc_stp.status_reg[4]));

```

Fig. 6. Generated assertion

Generated CTL assertion in *Fig. 6* can be read as: it is always the case that if BIST_RUN instruction is loaded into Instruction Register, then for all computation paths there should be state, where *ready* is true (test always is finite, all FSM paths starting from current state should lead to the ready state) then eventually *fail* will be false (memory array should be fault-free). We need two verification models for this test case, one with fault injected memory model, and the other for fault-free memory model. For correct functioning design we must get false with fault injected memory model and, true for fault-free memory model.

All assertions targeted to functional verification of output RTLs should be implemented in the same way and according flow presented in *Fig. 4* combine in a single template.

The application results for the EMTRI are presented in *Table*.

Table

ER&R application results								
Total Number of RTL Instances	T _(assertion formulation) (Hours)		T _(verification) (~5 min per instance)	T _(analysis)		Total (Hours)		Ratio %
	Before (~1.5 per instance)	Our Approach		Before (~6 min per instance)	Our Approach (~3 min per instance)	Before	Our Approach	
16	24	80	1.44	1.6	0.8	27	82.24	304
32	48	80	2.88	3.2	1.6	54	84.48	156
64	96	80	5.76	6.4	3.2	108	88.96	82
128	192	80	11.52	12.8	6.4	216	97.92	45
256	384	80	23.04	25.6	12.8	432	115.84	27
512	768	90	46.08	51.2	25.6	865	161.68	19
1024	1536	90	92.16	102.4	51.2	1730	233.36	13
2048	3072	100	184.32	204.8	102.4	3461	386.72	11

Note: Assertion generation time is not considered in the Table because it is too small (1,2 seconds) related to other time periods.

To improve analyzing cost of obtained results, a special tool which reads symbolic simulation trace files, checks results for predefined constraints and results displays in user friendly way has been developed.

5. Conclusion. The presented approach can be used not only for assertion based verification, but also for simulation based verification: instead of verification assertions parameterized verification tasks with input vectors will be used.

Results presented in the *Table* show that the application of the approach to RTL compilers is acceptable when the total numbers of verification instances are more than 50. In industrial RTL compilers this number is thousands, so for most of cases the approach can reduce the verification period.

It is planned to extend the suggested approach in four directions.

First, it is to increase the range of the application of the suggested approach by applying it to parameters which were not engaged into the consideration in this paper.

Second, it is to define some standard requirements to compilers which can successfully be passed and effectively through the suggested flow.

Third, it is to optimize time duration of the suggested verification steps. One point of improvement is to increase the accuracy of the parameters consideration, i.e. do not consider parameters which are not in the mentioned group but meantime their changes do not influence the verification process.

Fourth, it is to consider directly the impact of a hierarchy of compilers on the verification time.

REFERENCES

1. **Douglas J.S.** HDL Chip Design. Doone Publications 1996. ISBN 0-9651934-3-8.
2. **Cummings C.E.** Fsm_perl: A Script to Generate RTL Code for State Machines and Synopsys Synthesis Scripts.- SNUG, 1999.
3. **Horstmannshoff J., Meyr H.** Efficient Building Block Based RTL Code Generation form Synchronous Data Flow Graphs // Annual ACM IEEE Design Automation Conference: Proceedings of the 37th Conference on Design automation. - 2000. - P. 552 – 555.
4. **Kejariwal A., Mishra P., Astrom J., Dutt N.** HDL Generation Method for Configurable VLIW processor // CECS Technical Report #03-04, Center for Embedded Computer Systems/ University of California.- February, 2003.
5. **Bening L. A** Two-State Methodology for RTL Logic Simulation, Hewlett-Packard// Proceedings of the 36th ACM/IEEE conference on Design automation.- New Orleans, Louisiana, United States, 1999.- P. 672 - 677, ISBN:1-58133-109-7.
6. **Evans A., Silburt A., Vrckovnik G., Brown T., Dufresne M., Hall G., Ho T., Liu Y.** Functional Verification of Large ASICs // Proceedings of the 35th annual conference on Design automation. -San Francisco, California, United States, 1998.- P. 650 – 655, ISBN:0-89791-964-5.
7. **Katoen J.-P.** Concepts, Algorithms, and Tools for Model Checking, 1999.
8. **Narasimhan N., Kalyanaraman R., Vemuri R.** Validation of Synthesized Register Transfer Level Designs Using Simulation and Formal Verification // High Level Design Validation and Test Workshop.- 1996.
9. **Bavonparadon P., Chongstitvatana P.** RTL Formal Verification of Embedded Processors // Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT '02. 2002 IEEE International Conference. ISBN: 0-7803-7657-9. -2002. -Vol.1.- P. 667- 672.
10. **Kropf T.** Introduction to Formal Hardware Verification, Springer, 1999.
11. **Barjaktarovic M.** The State-of-the-Art in Formal Methods AFOSR Summer Research Technical Report for Rome Research Site // Formal Methods Framework-Monthly Status Report, F30602-99-C-0166, WetStone Technologies, 1998.
12. **Nguyen H. N.** Hierarchical Assertion-Based Verification, Bull S.A. – METASymbiose S.A.S. IP-Based SoC Design Intl. Workshop, 2004.

13. **Zorian Y., Shoukourian S.** Embedded-Memory test and repair: Infrastructure IP for SoC yield. IEEE Design and Test of Computers, May-June 2003.
14. **Shoukourian S., Vardanian V., Zorian Y.** SoC yield optimization via embedded-memory test and repair infrastructure // IEEE Design and Test of Computers.- May, 2004.
15. **McMillan K.** Symbolic Model Checking: Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University.

SEUA. The material is received 15.03.2009.

Պ.Ս. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՊԵՐԿԻՄԱՆԵՐ ԳԵՆԵՐԱՑՆԵԼՈՒ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՄՈՏԵՑՈՒՄ ՇԱԲԼՈՆՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾ RTL ԿՈՄՊԻԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ներկայացված է RTL կոմպիլյատորների ելքային RTL նկարագրությունների վերիֆիկացիայի մի մոտեցում: Ներկայացված մոտեցումը թույլ է տալիս ավտոմատ կերպով գեներացնել տվյալ RTL նկարագրության վերիֆիկացիայի համար անհրաժեշտ պնդումների բազմությունը: Մոտեցման արդյունավետությունը լուսաբանելու համար հատուկ RTL կոմպիլյատորների համար ներկայացված է կիրառության օրինակ:

Առանցքային բաներ. RTL կոմպիլյատոր, RTL նկարագրությունների ֆունկցիոնալ վերիֆիկացիա, սիմվոլիկ սիմուլյացիա, ձևական վերիֆիկացիա, ձևական վերիֆիկացիայի պնդումների գեներացիա:

П. С. МАРГАРЯН

ПОДХОД К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ УТВЕРЖДЕНИЙ ДЛЯ RTL КОМПИЛЯТОРОВ, ОСНОВАННЫХ НА ШАБЛОНАХ

Рассматривается подход к генерации утверждений, которые используются для функциональной верификации RTL описаний, сгенерированных RTL компилятором, основанным на шаблонах. Представлено применение этого подхода к специальным RTL компиляторам, иллюстрирующим эффективность этого метода.

Ключевые слова: RTL компилятор, функциональная верификация RTL описаний, символическая симуляция, функциональная верификация, формальная верификация.

**Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Մ.Ն.ԻՇԽԱՆՅԱՆ, Ա.Ա.ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ա.Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Դ.Լ. ՄԻՐՉՈՅԱՆ, Ա.Ն. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ**

**ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՓՈԻԼԱՑԻՆ ԻՆՔՆԱԵՆԹԱԼԱՐՔԻ (ՀՓԻ)
ՀԱՄԱԼԱՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ՓՈՔՐԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴ**

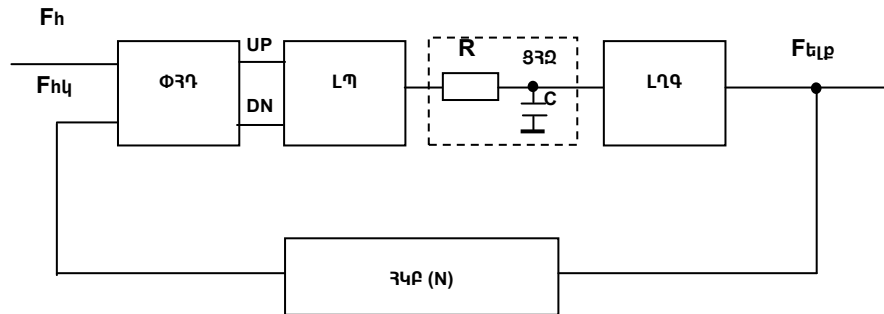
Դիտարկված է հաճախականության փուլային ինքնաենթալարքի համալարման ժամանակի նվազեցման մեթոդ: Առաջարկված է նոր լուծում, որը թույլ է տալիս համալարման ժամանակի փոքրացում՝ միաժամանակ հաստատուն պահելով համակարգը բնութագրող մնացած պարամետրերը:

Առանցքային բառեր. հաճախականության փուլային ինքնաենթալարք , համալարման ժամանակ:

Նախաբան: Դասական հաճախականության փուլային ինքնաենթալարքը (ՀՓԻ) [1-4] բաղկացած է նկ.1-ում պատկերված հանգույցներից, որտեղ՝ ՓՀԴ-ն փուլա-հաճախականային դետեկտորն է: Այն համեմատում է հենակային և հետադարձ կապի ազդանշանների փուլերը և ելքում գեներացնում այդ ազդանշանների փուլային տարբերությունը համապատասխանող ազդանշաններ: ՄՄ-ը նախատեսված է հետադարձ կապի ազդանշանի հաճախականության աճեցման համար: DN-ը նվազեցնում է հետադարձ կապի ազդանշանի հաճախականությունը: ՓՀԴ-ն կարելի է իրագործել զրոյացման մուտքով երկու D տրիգերների հիման վրա [2] (նկ. 2): ՓՀԴ-ի կողմից գեներացված ազդանշանները տրվում են ԼՊ լիցքերի պոմպին, որը դեպի ցածր հաճախականային գոյիչ (ՑՀԶ) ներարկում կամ այնտեղից վերցնում է ՓՀԴ-ի ելքում գեներացված ազդանշաններին համապատասխանող հոսանք: ՑՀԶ-ի միջոցով նշված հոսանքի ֆիլտրումից ձևավորվում է ղեկավարող լարումը: ԼՂԳ-ն լարումով ղեկավարվող գեներատորն է, որի ելքում ձևավորվում է ղեկավարող լարմանը համապատասխանող հաճախականությամբ ազդանշան: ՀԿԲ-ն հետադարձ կապի բաժանիչն է, որը ելքային ազդանշանի հաճախականությունը բաժանում է N-ի և հենակային ազդանշանի հաճախականության հետ համեմատման նպատակով տալիս ՓՀԴ-ին: Fh-ն ՀՓԻ-ի հենակային, Fhկ-ն՝ հետադարձ կապի ազդանշանի, իսկ Fելք-ը՝ ՀՓԻ-ի ելքային ազդանշանի հաճախականությունը:

Օգտագործված ՀՓԻ-ում $Fh=10$ ՄՀց, $Fելք=100$ ՄՀց, հետևաբար ՀԿԲ-ի բաժանման գործակիցը վերցված է $N=10$, օգտագործված է երկրորդ կարգի ՑՀԶ և շրջիչների հիման վրա կառուցված ԼՂԳ:

ՀՓԻ-ի համալարում ասելով հասկացվում է համակարգի այն վիճակը, երբ հետադարձ կապի (Fhկ) և հենակային ազդանշանի (Fh) հաճախականությունները հավասարվում են: Այդ դեպքում ՑՀԶ-ի կոնդենսատորի լարումը կամ, այսպես կոչված, համակարգի ղեկավարող լարումը [1-2] կայունանում է, ԼՂԳ-ն սկսում է գեներացնել այդ լարմանը համապատասխան կոնկրետ հաճախականությամբ ազդանշան: Այն N անգամ մեծ է Fh-ից: Համալարման վիճակում հետադարձ կապի և հենակային ազդանշանների փուլային տարբերությունը մնում է որոշակի միջակայքում, և Fhկ հավասարվում է Fh-ին:



Նկ.1. Դասական հաճախականության փուլային ինքնաենթալարքի կառուցվածքը

Համալարման ժամանակը ՀՓԻ-ն բնութագրող կարևոր պարամետրերից է: Այն կախված է մի շարք գործոններից և որոշվում է

$$T_L = \frac{2\pi}{\omega_n}, \quad (1)$$

արտահայտությամբ [2], որտեղ ω_n -ը ՀՓԻ-ի սեփական հաճախականությունն է [1-3]: Այդ հաճախականությամբ է պայմանավորված նաև մեկ այլ կարևոր պարամետր՝ համակարգի մարման գործակիցը (ζ) [1-4]: Մարման գործակիցը և համալարման ժամանակը գտնվում են փոխադարձ կախվածության մեջ:

ω_n -ը կախված է համակարգը բնութագրող մի շարք պարամետրերից և որոշվում է

$$\omega_n = \sqrt{\omega_{LPF} \cdot K_{PFD} \cdot K_{VCO}}, \quad (2)$$

արտահայտությամբ, որտեղ ω_{LPF} ականությունն է, K_{PFD} K_{PFD} -ն և K_{VCO} ՓՀԴ-ի և ԼՂԳ-ի ուժեղացման գործակիցները: Տեղադրելով ω_{LPF} ω_{LPF} -ի և K_{PFD} -ի արժեքները [1-2]՝ ստացվում է

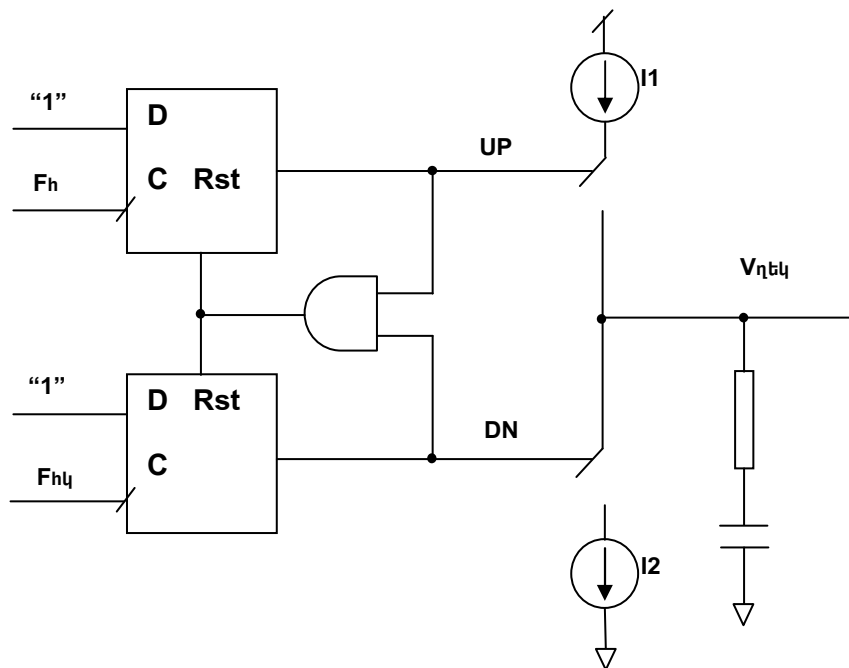
$$\omega_n = \sqrt{\frac{I_p \cdot K_{VCO}}{2\pi \cdot C \cdot R}}, \quad (3)$$

որտեղ I_p -ն ԼՊ-ից ՅՀԶ-ին տրվող հոսանքն է, C -ն և R -ը՝ ՅՀԶ-ի համապատասխանաբար կոնդենսատորի ու ռեզիստորի դիմադրությունը:

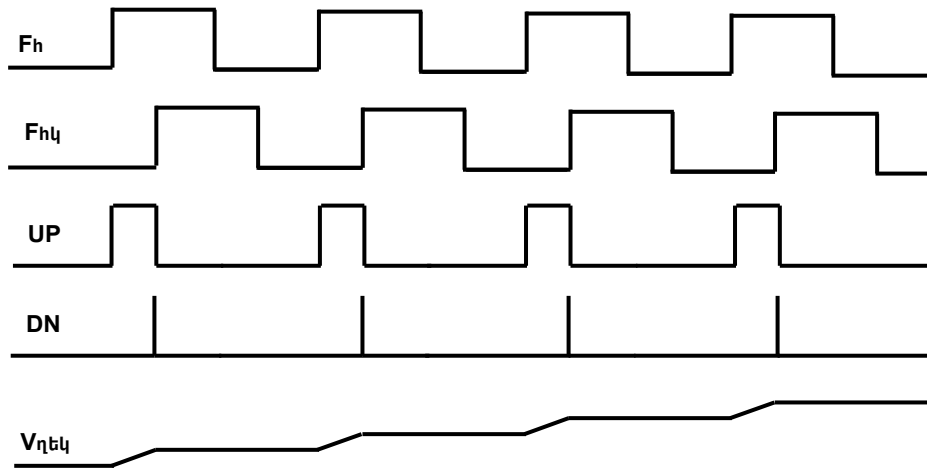
ՀՓԻ-ի դասական ՓՀԴ-ԼՊ-ՅՀԶ հանգույցի հատկությունները: ՀՓԻ-ի՝ դեպի համալարում ընթացքի ժամանակ F_{h1} -ն ձգտում է հավասարվել F_h -ին: Հնարավոր են երկու դեպքեր՝ 1) երբ F_{h1} -ն փոքր է F_h -ից, և համակարգը ձգտում է աճեցնել այն (ակտիվ է UP ազդանշանը), 2) երբ F_{h1} -ն մեծ է F_h -ից, և համակարգը ձգտում է նվազեցնել այն (ակտիվ է DN ազդանշանը): Պարզության համար դիտարկված է նշված դեպքերից միայն մեկը, օրինակ՝ այն դեպքը, երբ ակտիվ է UP ազդանշանը: Մյուս դեպքը նման է

առաջինին՝ միայն այն տարբերությամբ, որ պետք է դիտարկել DN ազդանշանի ակտիվությունը:

Ենթադրենք, համակարգը գտնվում է համալարումից դուրս, և հետադարձ կապի ազդանշանի Fh կ հաճախականությունը փոքր է հենակային ազդանշանի Fh հաճախականությունից, այսինքն՝ համակարգը ձգտում է աճեցնել Fh-ն: Այդ դեպքում ՓՀԴ-ի DN ելքում տրամաբանական “0” մակարդակ է, իսկ ավելի ստույգ՝ շատ նեղ իմպուլսներով ազդանշան (նկ.3): Այդ դեպքում ՓՀԴ-ի UP ելքում Fh-ն աճեցնող ազդանշան է: UP ազդանշանը ԼՊ-ին ստիպում է հոսանք ներարկել դեպի ՑՀԶ, ինչը իր հերթին բերում է դեկավարող լարման, հետևաբար նաև ելքային ազդանշանի հաճախականության աճի: ՑՀԶ-ի կոնդենսատորը լիցքավորվում է ԼՊ-ից եկող ոչ թե հաստատուն, այլ իմպուլսային հոսանքով, ինչը բերում է դեկավարող լարման աստիճանաձև աճի (նկ.3): Դրա պատճառը դասական ՓՀԴ-ի (նկ.2) աշխատանքի սկզբունքն է. հետադարձ կապի ազդանշանի հաճախականության փոքր լինելու դեպքում UP ելքում ոչ թե հաստատուն բարձր մակարդակ է, այլ որոշակի տևողությամբ իմպուլսային ազդանշան [1-2]: Այդ պատճառով հաճախականությունների հավասարեցումը տեղի է ունենում բավական ուշ, այսինքն՝ համալարման ժամանակը ստացվում է մեծ: Եթե աստիճանաձև փոփոխվող դեկավարող լարման փոխարեն հնարավոր լինի գծային օրենքով աճող լարման ստացումը, ապա Fելք-ը ավելի շուտ կհասնի իր արժեքին, Fh-ն ավելի շուտ կհավասարվի Fh-ին, հետևաբար՝ կփոքրանա համալարման ժամանակը: Առաջարկվող տարբերակում դա իրագործվել է՝ ՓՀԴ-ի աշխատանքի մեջ կատարելով համապատասխան փոփոխություն:



Նկ.2.Դասական հաճախականության փուլային ինքնաենթալարքի փուլահաճախականային դետեկտոր-լիցքերի պոմպ-ցածր հաճախականային գոյիչ հանգույցը

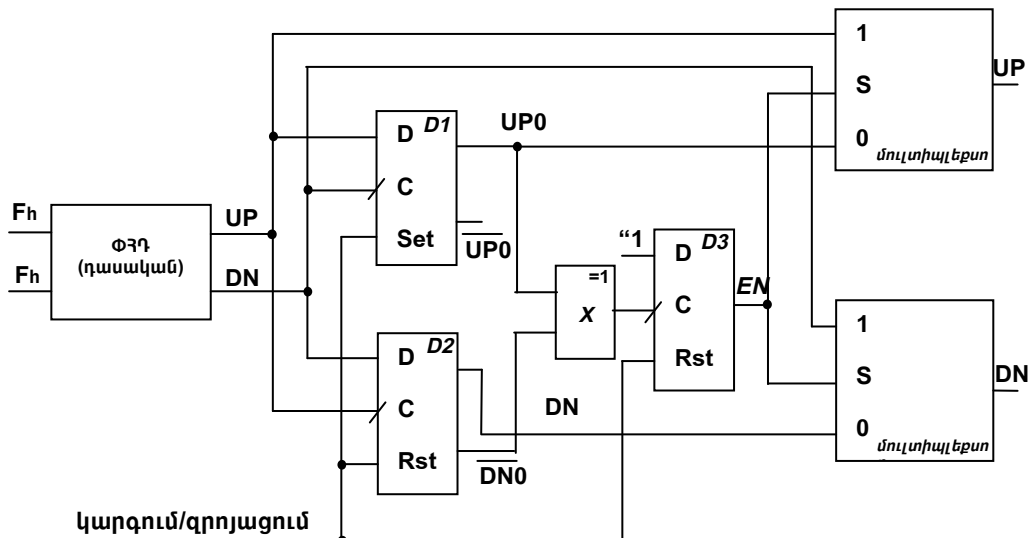


Նկ.3. Դասական հաճախականության փուլային ինքնանթալարքի փուլահաճախականային դետեկտոր-լիցքերի պոմպ-ցածր հաճախականային զտիչ հանգույցի աշխատանքը

Առաջարկվող լուծումը: Առաջարկվող տարբերակի հիմնական նպատակը համալարման ժամանակի փոքրացումն է: Դա հաջողվել է իրագործել՝ մտցնելով փոփոխություն ՀՓԻ-ի, մասնավորապես՝ ՓՀԴ-ԼՊ հանգույցի աշխատանքում: Առաջարկվում է ՓՀԴ-ի այնպիսի սխեմա, որի շնորհիվ հնարավոր է դառնում համակարգի աշխատանքի սկզբնական մասում, երբ հետադարձ կապի ազդանշանի հաճախականությունը շատ հեռու է հենակայինի հաճախականությունից, UP էլքում ձևավորել հաստատուն բարձր մակարդակ, ինչի շնորհիվ ՑՀԶ-ի կոնդենսատորը կլիցքավորվի ավելի արագ, դեկավարող լարումն էլ կփոխվի ոչ թե աստիճանաձև, այլ գծայնորեն: Երբ Fhկ-ն բավական մոտենա Fh-ին (մոտ 10% ճշտությամբ), հաստատուն բարձր մակարդակի փոխարեն նախատեսվում է ունենալ ճիշտ այնպիսի ազդանշան, ինչ որ պետք է լինեք ամբողջ ընթացքում համակարգի՝ դասական ՓՀԴ-ով աշխատանքի դեպքում: Նկ. 4-ում բերված է առաջարկվող ՓՀԴ-ի բլոկ-սխեման:

Ինչպես երևում է նկ.4-ից, դասական ՓՀԴ-ը [1-4] առաջարկվող սխեմայի բաղկացուցիչ մասն է կազմում: Համակարգի աշխատանքի ողջ ընթացքում այն շարունակում է գործել: Բացի դասական ՓՀԴ-ից, առաջարկվող սխեմայի մեջ մտնում են երեք D տրիգեր, ըստ մոդուլ երկուսի գումարման տարր և երկու մուլտիպլեքսոր: Դասական ՓՀԴ-ի էլքային UP1 և DN1 ազդանշանները համեմատվում են D1 և D2 տրիգերների միջոցով: Երբ հաճախականությունները հեռու են միմյանցից, տրիգերներից մեկի էլքում տրամաբանական “1” մակարդակ է, իսկ մյուսում՝ “0” (կախված այն բանից, թե Fhկ-ն մեծ է Fh-ից, թե փոքր): Երբ հաճախականությունները բավական մոտենում են, ըստ մոդուլ երկուսի գումարման X տարրի էլքում հաստատուն բարձր մակարդակի փոխարեն հայտնվում են իմպուլսներ: Հենց առաջին հայտնված իմպուլսը D3 տրիգերը փոխանջատում է տրամաբանական բարձր մակարդակի (EN ազդանշան): EN-ը տրված է էլքային մուլտիպլեքսորներին որպես դեկավարող ազդանշան: Մուլտիպլեքսորների միջոցով կատարվում է ընտրություն դեպի էլք փոխանցել դասական ՓՀԴ-ի էլքային, թե UP0 և DN0 հաստատուն ազդանշանները: Մինչև EN-ի տրամաբանական “1” դառնալը

դեպի էլք անցնում են UP0 և DN0 հաստատուն ազդանշանները: Դա նշանակում է, որ Fh-ն բավական հեռու է Fh-ից: Հենց որ UP0 և DN0 ազդանշանները սկսում են փոփոխվել (EN ազդանշանը փոխանջատվում է տրամաբանական “1” մակարդակի), UP էլքում հաստատուն բարձր մակարդակը վերանում է, և դասական ՓՀԴ-ը հենց այդ նույն աշխատանքային կետից շարունակում է հաճախությունների ավելի նուրբ հավասարեցումը: Դա տեղի է ունենում առաջին DN ազդանշանի հայտնվելու պահին:

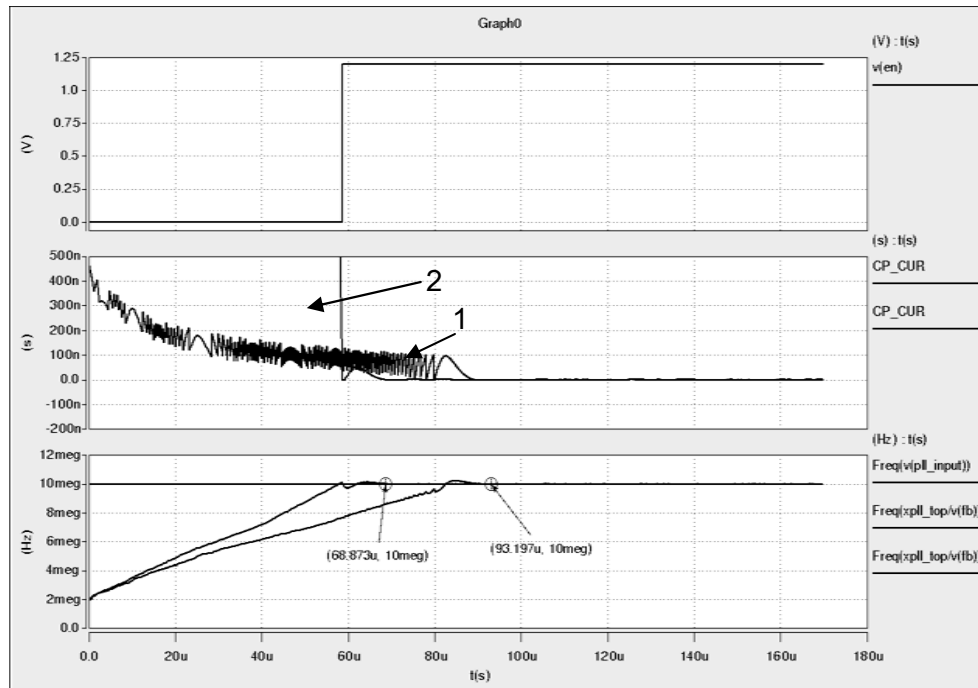


Նկ.4. Ձևափոխված փուլահաճախականային դետեկտորի բլոկ-սխեման

Այսպիսով, համակարգի աշխատանքի սկզբում, երբ հենակային ազդանշանի և հետադարձ կապի ազդանշանի հաճախությունները շատ հեռու են, կատարվում է դրանց արագ մոտեցում, իսկ վերջնական հավասարեցումը կատարվում է դասական ՓՀԴ-ի միջոցով: Արդյունքում ՀՓԻ-ի համալարման ժամանակը փոքրանում է:

Փորձնական արդյունքներ: Առաջարկվող լուծման արդյունավետության գնահատման նպատակով վերլուծություն է կատարվել Synopsys ընկերության HSpice մոդելավորման ծրագրի միջոցով: Նկ.5-ում բերված են դասական ՓՀԴ-ով և առաջարկվող տարբերակով մոդելավորման արդյունքները: Վերևից ներքև պատկերված են EN ազդանշանը, ԼՊ-ի հոսանքի տևողությունը՝ կախված ժամանակից, և հետադարձ կապի ազդանշանի հաճախականությունը՝ համեմատած հենակային ազդանշանի հաճախականության հետ: Փոխփոխված ՓՀԴ-ի օգտագործման դեպքում (կոր 2) ԼՊ-ի հոսանքը հաստատուն է, քանի դեռ EN ազդանշանը չի փոխանջատվել, հետևաբար՝ այդ տիրույթում իմպուլսի տևողությունը շատ մեծ է:

Ինչպես երևում է նկ.5-ից, փոփոխված ՓՀԴ-ի օգտագործման դեպքում համալարման ժամանակը կրճատվել է մոտ 30%-ով, ինչը էական առաջընթաց է:



Նկ.5. Դասական և ձևափոխված փուլահաճախականային դետեկտորներով հաճախականության փուլային ինքնաենթալարքի մոդելավորման արդյունքները

Եզրակացություն: Դասական ՓՀԴ-ի փոխարինումը առաջարկված տարբերակով կարող է լուծել համալարման ժամանակի փոքրացման խնդիրը՝ կրճատելով այն մոտ 30%-ով, որը ստացվում է ՓՀԴ-ի բարդացման շնորհիվ: Այսպիսով, ՀՓԻ-ի նախագծման ընթացքում ՓՀԴ-ի սխեմայի պարզության և համալարման ժամանակի փոքրացման միջև ընտրություն կատարելու անհրաժեշտություն է առաջանում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Razavi B.** Design of Analog Integrated Circuits. -McGraw-Hill, New York, 2001. -676p.
2. **Baker R. J.** CMOS Circuit Design, Layout and Simulation. Second Edition. IEEE Press Series on Microelectronic Systems, 2005. -1022p.
3. **Gardner F. M.** Phaselock Techniques. Third Edition. -John Wiley and Sons, Transactions on CAD of Integrated Circuits and Systems, 2005. -425p.
4. **Maneatis J. G., Kim J., McClatchie I., Maxey J., Shankaradas M.** Self-Biased High-Bandwidth Low-Jitter 1-to-4096 Multiplier Clock Generator PLL // IEEE Journal of Solid State Circuits. -2003. -Vol. 38, No 11. -P. 1795-1803.

ՀՊՃՀ: ՆՅուրը ներկայացվել է խմբագրության 19.03.2009:

**В.Ш. МЕЛИКЯН, М.Н. ИШХАНЫАН, А.А. ОВСЕПЯН, А.Г. САРГСЯН,
Д.Л. МИРЗОЯН, А.Н. ХАЧАТРЯН**

**МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ
АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ**

Рассматривается метод уменьшения времени установки системы фазовой автоподстройки частоты. Представлено новое решение, позволяющее снизить время установки системы автоподстройки частоты, одновременно оставляя постоянными остальные параметры.

Ключевые слова: система фазовой автоподстройки частоты, время установки.

**V.SH. MELIKYAN, M.N. ISHKHANYAN, A.A. HOVSEPYAN, A.G. SARGSYAN,
D.L. MIRZOYAN, A.N. KHACHATRYAN**

PHASE-LOCKED LOOP TIME REDUCTION METHOD

Phase-locked loop lock time reduction method is considered. A new solution allowing to decrease lock time of phase-locked loop and leaving the rest of parameters constant is presented.

Keywords: phase-locked loop, lock time.

Т.А. НАЛЧАДЖЯН, А.С. ГАЛЕЧЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ МНОГОМЕРНОГО
ВЕРОЯТНОСТНОГО ПАРАМЕТРА УПРАВЛЕНИЯ

Формулируется класс многомерных задач управления с вероятностными параметрами управления. Рассматривается задача вариации дисперсии с учетом технико-экономических показателей систем. Получены условия, при которых задача оптимизации дисперсии имеет реальный смысл. Решен частный пример.

Ключевые слова: дисперсия, оптимальное управление, функция распределения, эффективность, вариация.

В [1] дана классификация моделей эффективности метода “оптимума номинала” [2] по числу варьируемых моментов распределения параметров управления. В настоящее время изучены задачи с вариацией математического ожидания. Остальные модели, представляющие интерес, изучены недостаточно. Из указанных в [1] типов моделей особый интерес представляют те, в которых предлагается достичь оптимальной эффективности вариацией дисперсии параметра управления.

Этот класс моделей представляется интегралом

$$I(\bar{\sigma}) = \int_G C(\bar{x}) \cdot f(\bar{x}, \bar{\sigma}) d\bar{x}, \quad (1)$$

где I - эффективность исследуемой системы; $C(\bar{x})$ - многомерная функция цены, характеризующая технико-экономические показатели исследуемого процесса; $\bar{\sigma}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ - многомерный вектор среднеквадратического отклонения плотности распределения $f(\bar{x})$ n -мерного вектора управления $\bar{x}(x_1, x_2, \dots, x_n)$; G - n -мерная область допустимых управлений.

В каждом конкретном сочетании функций $C(\bar{x})$ и $f(\bar{x})$ могут выявляться скрытые возможности исследуемых процессов и без значительных затрат и капиталовложений достигаться повышение эффективности их функционирования.

Рассмотрим случай, где параметры управления независимы и подчинены экспоненциальному закону [3]:

$$f(\bar{x}, \bar{\sigma}) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \sigma_i) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i} \cdot e^{-\frac{x_i}{\sigma_i}},$$

а функция $C(\bar{x})$ имеет дискретную форму:

$$C(\bar{x}) = \begin{cases} c_0, & \text{если } a_i \leq x_i \leq b_i, \\ 0, & \text{если } x < a_i \text{ или } x > b_i, \end{cases} \quad i = \overline{1, n}.$$

Функция эффективности (1) приобретает вид

$$I(\bar{\sigma}) = c_0 \cdot \prod_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} \frac{1}{\sigma_i} \cdot e^{-\frac{x_i}{\sigma_i}} dx_i.$$

Оптимальный вектор $\bar{\sigma}$ определяется решением следующей системы уравнений

$$\frac{\partial I(\bar{\sigma})}{\partial \sigma_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad \text{которая равносильна системе}$$

$$a_i \cdot e^{-\frac{a_i}{\sigma_i}} - b_i \cdot e^{-\frac{b_i}{\sigma_i}} = 0, \quad i = \overline{1, n}.$$

Отсюда следует

$$\sigma_i^* = \frac{b_i - a_i}{\ln\left(\frac{b_i}{a_i}\right)}, \quad i = \overline{1, n},$$

что влечет $I(\bar{\sigma}^*) = \max_{\bar{\sigma}} I(\bar{\sigma})$.

Пусть $n = 2$, $a_1 = 1$, $a_2 = 1$, $b_1 = 2$, $b_2 = 4$. Оптимальные значения среднеквадратических отклонений и эффективности будут

$$\sigma_1^* = \frac{1}{\ln 2} = 1,442695, \quad \sigma_2^* = \frac{3}{\ln 4} = 2,164043, \quad I(\bar{\sigma}^*) = 0,118117.$$

Выводы. Обычно обширный класс задач решается с целью минимизации дисперсии. Показано, что существует специальный класс задач, в которых возможно достижение максимальной эффективности не минимизацией дисперсии, а выбором ее оптимального значения, что в частном случае эквивалентно выбору оптимальной точности управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Налчаджян Т.А.** Моделирование и оптимизация эффективности вероятностных технологических процессов обогащения руд цветных металлов: Дис. ... докт. техн. наук. - М., 1984. - 437с.
2. **Горелова Г.В.,** Здор В.В., Свечарник Д.В. Метод оптимума номинала и его применение. - М.: Энергия, 1970. - 200с.
3. **Гмурман В.Е.** Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике Изд. 3-е. - М.: Высш. шк., 1979. - 400с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.02.2009.

Թ.Ա. ՆԱԼՉԱԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՂԱԼԵՉՅԱՆ

ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒՅԹ ՈՒՆԵՑՈՂ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԴԻՍՊԵՐՍԻԱՅԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Քննարկվում է հավանականային բնույթ ունեցող բազմաչափ կառավարման պարամետրի դիսպերսիայի օպտիմալ արժեքի գնահատման խնդիրների դասը: Դիտարկվում է դիսպերսիայի փոփոխման հնարավորությունը՝ հետազոտվող հավանականային համակարգերի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների հաշվառումով: Ստացված են այն պայմանները, որոնց դեպքում օպտիմալ դիսպերսիայի խնդիրն իմաստալից է: Լուծված է մասնավոր օրինակ:

Առանցքային բառեր. դիսպերսիա, օպտիմալ կառավարում, բաշխման ֆունկցիա, արդյունավետություն, վարիացիա:

T. A. NALCHAJYAN, H. S. GHALECHYAN

OPTIMAL DISPERSION DEFINING MODEL OF THE PROBABILISTIC
MULTIDIMENSIONAL CONTROL PARAMETER

The class of control problems with probabilistic multidimensional control parameter is discussed. The problem of dispersion variation that considers the technical and economic indicators of the probabilistic systems under investigation has been considered. The conditions at which the problem of dispersion optimization having a real sense are obtained. A private example is solved.

Keywords: dispersion, optimal control, distribution function, efficiency, variation.

УДК 621

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ

А.В. ГУЛЯН

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СО
СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Описана функциональность и архитектура автоматизированной системы и ее подсистем для исследования процессов со стохастической динамикой взаимодействия. Предложены различные алгоритмы, реализованные в подсистеме управления.

Ключевые слова: стохастическая динамика взаимодействия, параллельные алгоритмы, автоматизированная система.

Функциональность автоматизированной системы. В связи с ростом производительности современных вычислительных систем и развитием средств параллельного программирования появляется возможность численного моделирования и исследования задач астрофизики, газодинамики, квантовой химии, требующих претенциозных вычислений и больших вычислительных ресурсов. Одной из задач квантовой химии является исследование процесса многоканального рассеяния в системе взаимодействующих тел. Аналитическое решение задачи пока не найдено, поэтому возникла необходимость численного моделирования, что требует больших вычислительных ресурсов и применения различных методов для исследования процессов со стохастической динамикой взаимодействия [1,2].

Для полноценного и всеобъемлющего исследования и анализа процессов со стохастической динамикой взаимодействия в [3] предложено математическое обеспечение, которое позволяет:

- моделировать различные поверхности бимолекулярных химических реакций и строить геодезические траектории на данных поверхностях;
- производить преобразование координатных систем;
- применять различные методы на реальной задаче и сравнивать результаты вновь добавленных собственных методов с существующими;
- применять данную систему с целью сравнительного анализа и сопоставления различных алгоритмов;
- использовать уникальные модели системы и схемы распараллеливания для эффективного отображения системы под конкретные многопроцессорные системы;
- визуализировать полученные результаты и производить статистический анализ модели, метода, алгоритма.

Весь вышеописанный функционал заложен в основу **автоматизированной системы** для исследования процессов со стохастической динамикой взаимодействия.

Пример системы со стохастической динамикой взаимодействия. Для исследования конкретных квантовых процессов со стохастической динамикой взаимодействия, предложенных в [1,2], описана модель универсальной энергетической поверхности (потенциала взаимодействия) и дается геодезическая траекторная задача, расширенная в комплексной области.

В результате анализа геометрических и топологических особенностей разных двумерных реакционных поверхностей выбран модельный потенциал, предложенный в [2]:

$$U(u,v)=U_1(u)\left[A(u)+(C(u)+G(u)v+a(u)v^2)\exp(-2a(u)v)-B(u)\exp(-\beta(u)v)\right], \quad (1)$$

где u, v – координаты криволинейной системы; $U_1(u), A(u), C(u), G(u), a(u), \beta(u), B(u)$ и $\beta(u)$ – функции зависимости от одной из криволинейных координат u , которые имеют вид

$$F(u)=C_{i-}+\frac{C_{i+}-C_{i-}}{1+\exp(-2g_{C_i}u)}+\frac{C_{i0}g_{C_i}^2}{\left[\exp(g_{C_i}u)+\exp(-g_{C_i}u)\right]^2}, \quad i=1,...,8, \quad (2)$$

$C_{i-}, C_{i+}, C_{i0}, g_{C_i}$ – подгоночные параметры.

Рассмотренная модель (1) представляется следующим образом:

$$U=U(u, v, C), \quad (3)$$

где C – вектор подгоночных параметров;

Вычисленная двумерная реакционная поверхность посредством модельного потенциала (1) используется при решении геодезической траекторной задачи (2).

На этой стадии решается система из четырех нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка или восьми нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с начальными условиями (2).

Начальные условия задачи следующие:

$$\begin{aligned} x_{R0}^1, x_{R;so}^1 &= u_0, x_{30}^1, x_{3;so}^1 = \bar{u}_0, x_{R0}^2, x_{R;so}^2 = v_0, x_{30}^2, x_{3;so}^2 = \bar{v}_0, \\ x_{R0}^1, x_{R;so}^1 &= u_0, x_{30}^1, x_{3;so}^1 = \bar{u}_0, x_{R0}^2, x_{R;so}^2 = v_0, x_{30}^2, x_{3;so}^2 = \bar{v}_0. \end{aligned}$$

Для представления решения вышеуказанной системы опишем ее, используя следующие обозначения: U – потенциал, который описывается уравнением (1), соответственно $x_R^1 = u$ и $x_R^2 = v$. Используя следующие обозначения, потенциал примет вид: $U(u, v) = U(x_R^1, x_R^2)$.

$$\begin{aligned}
& \left\{ \begin{aligned}
& \mathbf{u} = \mathbf{x}_{R;s}^1, \\
& \bar{\mathbf{u}} = \mathbf{x}_{S;s}^1, \\
& \mathbf{u}_s = -\frac{\mathbf{E} - \mathbf{U}}{2[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ -\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\mathbf{u}^2 - \bar{\mathbf{u}}^2] - 2 \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\mathbf{u}\mathbf{v} - \bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}] + \right. \\
& \left. + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\mathbf{v}^2 - \bar{\mathbf{v}}^2] \right\} + \\
& + \frac{\varepsilon}{[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ -\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} \mathbf{u}\bar{\mathbf{u}} - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\bar{\mathbf{u}}\mathbf{v} + \mathbf{u}\bar{\mathbf{v}}] + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} \mathbf{v}\bar{\mathbf{v}} \right\}, \\
& \bar{\mathbf{u}}_s = -\frac{\mathbf{E} - \mathbf{U}}{2[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ -\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} \mathbf{u}\bar{\mathbf{u}} - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\bar{\mathbf{u}}\mathbf{v} + \mathbf{u}\bar{\mathbf{v}}] + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} \mathbf{v}\bar{\mathbf{v}} \right\} - \\
& - \frac{\varepsilon}{2[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ -\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\mathbf{u}^2 - \bar{\mathbf{u}}^2] - 2 \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\mathbf{u}\mathbf{v} - \bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}] + \right. \\
& \left. + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\mathbf{v}^2 - \bar{\mathbf{v}}^2] \right\}, \\
& \mathbf{v}_s = -\frac{\mathbf{E} - \mathbf{U}}{2[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\mathbf{u}^2 - \bar{\mathbf{u}}^2] - 2 \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\mathbf{u}\mathbf{v} - \bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}] - \right. \\
& \left. - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\mathbf{v}^2 - \bar{\mathbf{v}}^2] \right\} + \\
& + \frac{\varepsilon}{[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} \mathbf{u}\bar{\mathbf{u}} + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\bar{\mathbf{u}}\mathbf{v} + \mathbf{u}\bar{\mathbf{v}}] - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} \mathbf{v}\bar{\mathbf{v}} \right\}, \\
& \bar{\mathbf{v}}_s = -\frac{\mathbf{E} - \mathbf{U}}{2[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} \mathbf{u}\bar{\mathbf{u}} + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\bar{\mathbf{u}}\mathbf{v} + \mathbf{u}\bar{\mathbf{v}}] - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} \mathbf{v}\bar{\mathbf{v}} \right\} - \\
& - \frac{\varepsilon}{2[(\mathbf{E} - \mathbf{U})^2 + \varepsilon^2]} \left\{ \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\mathbf{u}^2 - \bar{\mathbf{u}}^2] + 2 \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^1} [\mathbf{u}\mathbf{v} - \bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}] - \right. \\
& \left. - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{x}_R^2} [\mathbf{v}^2 - \bar{\mathbf{v}}^2] \right\}, \\
& \mathbf{v} = \mathbf{x}_{R;s}^2, \\
& \bar{\mathbf{v}} = \mathbf{x}_{S;s}^2.
\end{aligned} \right\} \tag{4}
\end{aligned}$$

Описание автоматизированной системы. На рис. 1 приведены архитектура и функциональная блок-схема программного комплекса для проведения численного эксперимента с квантовыми системами.

Подсистема ввода-вывода дает возможность выбора методов, описания начальных условий задачи, получения данных от модуля базы данных, выбора локального/удаленного компьютера, схемы распараллеливания на удаленной машине, статистических критериев.

Подсистема работы с базой данных обеспечивает работу с СУБД MySQL. Для работы с базой данных используется технология DAO.

Подсистема преобразования координатных систем обеспечивает следующие преобразования координат: декартовые координаты(косоугольные координаты $\Leftrightarrow$ криволинейные координаты.

Подсистема расчета статистических данных обеспечивает интерпретацию полученных результатов вычислений с помощью статистических критериев регрессионного и корреляционного анализа, т.к. задача нахождения параметров модели потенциала взаимодействия приведена к регрессионному уравнению. В дальнейшем предполагается реализация данной подсистемы, однако сейчас используются известные математические пакеты программ.

Подсистема межмашинного взаимодействия обеспечивает работу с удаленным сервером с использованием протокола XML RPC. Посредством данной подсистемы осуществляется взаимодействие между клиентом и сервером (пересылка начальных данных задачи, получение результатов экспериментов, проверка состояния системы и других служебных функций).

Подсистема отображения и сохранения результатов вычислений ответственна за визуализацию и сохранение результатов в том формате, который выбирает пользователь. Система отображения предназначена для построения различного рода трехмерных и двумерных графиков, однако обладает довольно существенной особенностью. Она связана с системой описания начальных данных, т.е. пользователь может интерактивно определять энергетические поверхности с различными топологическими и геометрическими особенностями и запускать на ней различные задачи.

Подсистема управления расчетом задачи вызывается в случае запуска программы на многопроцессорных вычислительных комплексах. В подсистеме используются различные схемы и алгоритмы распараллеливания, которые описаны в [4]. Наиболее интересной особенностью подсистемы являются различные алгоритмы управления:

- децентрализованный алгоритм применяется для задач с существенной степенью параллелизма. В частности, подобной задачей является построение карты траекторий;
- централизованный алгоритм управляет:
 - очередью задач,
 - распределением задач на основе анализа состояния процесса на вычислительном узле с использованием различных весовых коэффициентов и критериев.

Подсистема вычисления состоит из 4-х модулей, представленных на рис.1. Каждый из этих модулей связан с банком алгоритмов, из которого на основе выбора метода производится загрузка данной процедуры и начинается процесс вычислений.

Вычислительный модуль выполняется на вычислительных узлах многопроцессорной системы.

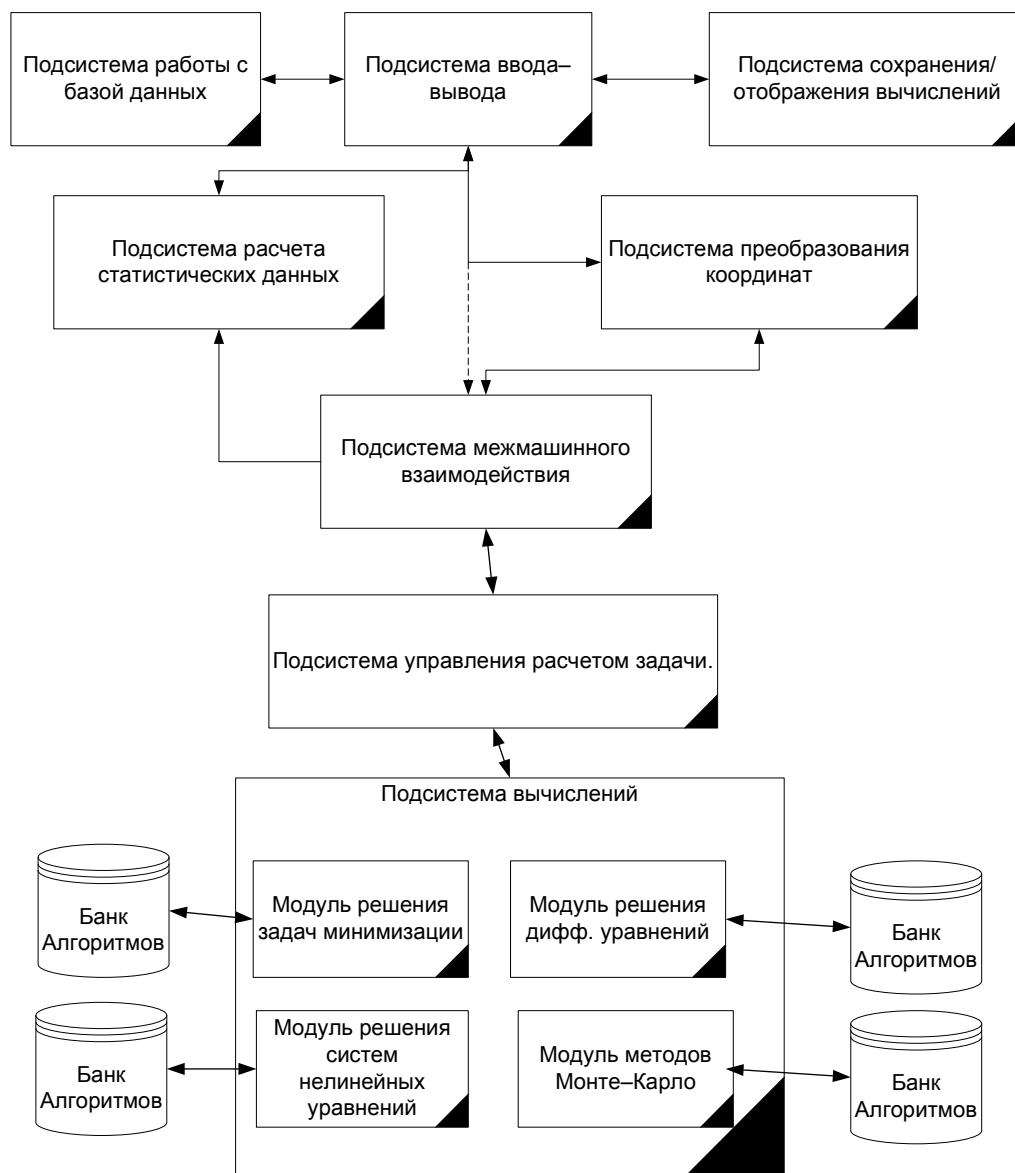


Рис 1. Архитектура автоматизированной системы

Архитектура данного программного комплекса разработана таким образом, что имеется возможность добавления новых моделей, численных методов и алгоритмов и их апробирования на данной конкретной задаче.

Алгоритмы управления. Децентрализованный алгоритм работает следующим образом. На каждом из доступных процессоров создается по два процесса: процесс управления и процесс вычисления. Часть управления, являющаяся платформо-зависимой, полностью отделена от процесса вычисления, который реализован на языке ANSI C, и полностью переносимой. Процесс управления управляет очередью задач, процесс вычисления производит вычисления. Процессы управления связаны между собой виртуальными связями. Логика работы процедуры управления состоит из следующих шагов:

1. Управляющий процесс периодически производит опрос остальных процессов, в ответ получая количество задач, которые должны быть выполнены на опрашиваемом процессоре. После чего производится анализ полученных результатов и перераспределение заданий.
2. При наличии необработанных точек и свободном вычислительном процессе одна из необработанных точек передается последнему для обработки. После окончания обработки вычислительный процесс посылает соответствующее сообщение управляющему процессу, расположенному на одном с ним процессоре.
3. Если необработанных точек нет, управляющий процесс посылает запрос на получение необработанных точек какому-либо другому управляющему процессу.
4. Управляющий процесс переходит к ожиданию альтернативного ввода либо с локального канала, соединяющего его с вычислительным процессом, либо с любого из внешних виртуальных каналов. Он может получить сообщение о том, что локальная точка обработана, может получить сообщение, содержащее запрошенные ранее точки, может получить запрос на предоставление локальных точек другим процессорам.
5. После получения любого из сообщений оно считывается, обрабатывается, и действия 1-5 повторяются.

В работе [5] рассчитывается ускорение данного алгоритма для задачи построения карты траекторий, которая имеет вид, представленный на рис. 2

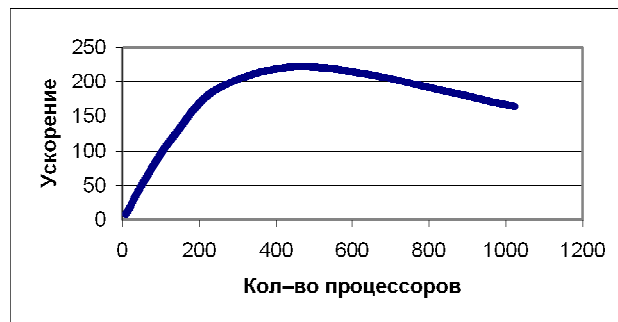


Рис 2. Зависимость ускорения от числа процессоров

При централизованном алгоритме подсистема управления расчетом работает следующим образом:

- все запросы передаются подсистеме и ставятся в очередь со статусом "ГОТОВО";
- из очереди задача с наивысшим приоритетом выбирается и пересылается соответствующему вычислительному узлу на основе следующего критерия:

$$A * sessionCount + B * memUsage + C * respTime \rightarrow \min,$$

где sessionCount – количество задач на вычислительном узле; memUsage – используемая память на вычислительном узле; respTime – время ответа; A,B,C– весовые коэффициенты;

- при выборе из очереди задача ставится в состояние "ОЖИДАНИЕ";
- после обработки задача удаляется из очереди.

Данный алгоритм имплементирован в схеме с диспетчерским управлением [3, 4] при аппроксимации энергетической поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gevorgyan A.S., Bogdanov A.V.** Three-body Multi-Channel Scattering as a Model of Micro-Irreversible Quantum Mechanics // Proc. of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications.– Hilton Hawaiian Village. – 1997. – V.1. – P.693-696.
2. **Gevorgyan A., Ghulyan A., Barseghyan A.** Modeling of the Potential Energy Surface of Regrouping Reaction in Collinear Three-Atom Collision System using Nonlinear Optimization // International Conference Melbourne, Australia and St. Petersburg, Russia, June 2-4, 2003: Proceedings, Springer Verlag LNCS 2659. – 2003. – P. 545-555.
3. **Гулян А.В., Киракосян Г.Т.** Разработка математического обеспечения для бимолекулярных химических реакций // Вестник Инженерной академии Армении.-2008.-Т.5, N1.-С.98-106.
4. **Ghulyan A.** Parallel algorithms // Information Technologies and Management.–Yerevan: §Encyclopedia – Armenika, 2003.–N1.-P.8-24.
5. **Гулян А.В.** Измерение эффективности параллельных алгоритмов при исследовании процессов со стохастической динамикой взаимодействия // Вестник Государственного Инженерного университета Армении.Сер. Моделирование, оптимизация, управление.–Ереван, 2008.–Вып. 11, том 2.-С.47-52.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.02.2009.

Ա. Վ. ԴՈՒԼՅԱՆ

ԶՈՒԳԱՆԵՌ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ ՍՏՈԽԱՍՏԻԿ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՓՈԽԱԶԴԵՅՈՒԹՅԱՄԲ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Տրված է ստոխաստիկ դինամիկական փոխազդեցությամբ գործընթացների հետազոտման համար ավտոմատացված համակարգի ու ենթահամակարգերի ֆունկցիոնալությունն ու ճարտարապետությունը, առաջարկված են տարբեր ալգորիթմներ, որոնք կիրառված են կառավարման ենթահամակարգում.

Առանցքային բաներ. ստոխաստիկ դինամիկական փոխազդեցություն, զուգահեռ ալգորիթմներ ու ավտոմատացված համակարգեր:

A.V. GHULYAN

AUTOMATED SYSTEM FOR INVESTIGATION OF THE PROCESSES WITH STOCHASTIC AND DYNAMIC INTERACTIONS

The functionality and architecture of the automated system and its subsystems for investigation of the processes with stochastic and dynamic interaction are described. Different algorithms which are implemented in a management subsystem are suggested.

Keywords: stochastic and dynamic interaction, parallel algorithms, automated system.

АДЕЛ РИ АД ХАДЖНИДИ

**СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИРМЫ И
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЕЕ РЕСУРСАМИ**

Предлагается математическая модель фирмы, предоставляющей мультимедиа услуги и видео по требованию. Формулируется и решается задача оптимального планирования рекламы фирмы с применением принципа максимума Понтрягина. Найдено оптимальное управление в классе релейных функций и точка отключения рекламы.

Ключевые слова: система автоматизации фирмы, стохастическая модель, оптимальное управление ресурсами.

Введение. С развитием Интернет расширяется рынок таких сетевых услуг, как IP телефония, мультимедиа и видео по требованию, системы E- бизнеса, сетевые базы данных и базы знаний, в том числе корпоративные базы в области медицины, банковских и биржевых операций, электронные библиотеки и учебные базы для дистанционного обучения и т.д. Сетевые сервисы позволяют найти необходимую информацию в сетевых базах и осуществить покупку, биржевую или банковскую операцию, просмотр мультимедиа файла, видео или новостей, обучение и тестирование знаний и т.д.

Ввиду увеличения количества сетевых сервисов и роста конкуренции между ними для многих сервисов одним из эффективных средств достижения успеха в сетевом рынке и расширения бизнеса является оптимальное использование рекламы [1-3]. Для многих сервисов реклама - неотъемлемая часть собственного бизнеса. В таких системах применение эффективной рекламной кампании позволяет оптимально распределять ресурсы фирмы, прогнозировать расходы и планировать политику расширения. При планировании рекламы необходимо учесть особенности ее применения, в частности, инерционный характер воздействия, зависимость эффективности от выразительности используемых средств, планирования рекламных акций во времени и, в конечном итоге, от объема вложенных средств [4].

В настоящей работе рассмотрена задача оптимального управления рекламой фирмы, предоставляющей мультимедиа услуги и онлайн видео по требованию. Подобные сервисы в настоящее время находят применение на рынке продажи/аренды видеофильмов, новостных серверах, системах дистанционного интерактивного обучения и т.д. Для обеспечения высокого качества сервиса в мультимедиа, базах данных часто используют такой метод чтения материалов, при котором поступающие от пользователей запросы обслуживаются параллельно, независимо друг от друга в реальном масштабе времени. Особенность подобных сервисов в том, что поток запросов от пользователей часто имеет нестационарный, взрывной, фрактальный характер [5,6]. Более того, при запросе материалов с высоким пользовательским рейтингом они могут поступать группами. За просмотр каждого материала пользователи платят арендную плату a . Фирма за тиражирование каждой единицы видеоматериала и за аренду каналов и оборудования платит некоторую сумму b . Для поддержания и расширения бизнеса фирма часть своего капитала расходует на организации рекламы.

Модель. В качестве математической модели фирмы предлагается использовать бесконечно-линейную систему обслуживания. Для описания потока запросов пользователей предлагается модель нестационарного марковского процесса группового поступления (ВМАР) [5,6]. Запросы в модели обслуживаются независимо друг от друга, отдельными каналами передачи данных. Время обслуживания запроса, включающее время на чтение и передачу файла необходимого материала, - случайная величина γ с функцией распределения $G(t) = P(\gamma \leq t)$ и конечным средним $\bar{\gamma}$.

ВМАР поток задается [1] с помощью последовательности характеристических матриц $\{D_k(t), k \geq 0\}$ размерности $m \times m$, где $m < \infty$. Здесь $D_0(t)$ - несингулярная матрица с отрицательными диагональными и неотрицательными внедиагональными элементами, постолбцевая сумма которых меньше или равна нулю, а $D_k(t), k \geq 1$ - неотрицательные матрицы, соответствующие поступлению групп из $k \geq 1$ запросов. Пусть $D(t)$ - матрица интенсивностей размерности $m \times m$:

$$D(t) = \sum_{k=0}^{\infty} D_k(t), \quad (D(t) \neq D_0(t)), \quad t \geq 0, \quad \text{а} \quad \pi(t) = \{\pi_i(t), i \in E\} \quad - \quad \text{ее правый}$$
собственный вектор $t \geq 0$.

$$\pi(t)D(t) = 0, \quad D(t)e = 0, \quad \pi(t)e = 1.$$

Здесь e - вектор-столбец из единиц.

Тогда интенсивность поступления запросов пользователей $\lambda(t)$ в момент t можно определить из соотношения

$$\lambda(t) = \pi(t) \sum_{k=1}^{\infty} k D_k(t) e, \quad t \geq 0. \quad (1)$$

Рассмотрим следующий механизм влияния рекламы на интенсивность потока запросов пользователей. Пусть в отсутствие рекламы интенсивность потока запросов постоянна $\lambda(t) = \lambda_0$ и в промежутке времени $[t, t + \Delta t]$ на рекламу расходуется часть капитала $u(t)C(t)\Delta t$ фирмы, где $C(t)$ - величина среднего капитала фирмы в момент t , а $u(t)$ - некоторая функция управления, $0 \leq u(t) \leq 1$. Предположим, что за Δt интенсивность потока запросов увеличивается на величину, пропорциональную $u(t)C(t)\Delta t$. Для учета воздействия рекламы на интенсивность поступления запросов введем функцию $R(t)$. Использование рекламы приводит к увеличению интенсивности потока запросов от λ_0 до величины $\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 R(t)$. Как показано в [7], взаимосвязь функции $R(t)$ от величины израсходованного на нее капитала $C(t)$ можно задать соотношением

$$k \frac{dR}{dt} = -R(t) + u(t)C(t). \quad (2)$$

Очевидно, что $R(t) = u(t)C(t)$ при $k = 0$.

Запишем изменение капитала фирмы $C(t)$ во времени:

$$\frac{dC(t)}{dt} = -u(t)C(t) + \lambda(t)a - \int_0^t \lambda(t-x)G(x)dx. \quad (3)$$

При $u(t) = 0$ из (3) получим $C(t) = C(0) + \lambda_0 a t - \lambda_0 b \int_0^t G(x) dx$. Откуда $C(t) = C(0) + \lambda_0(a-b)t$ при $t > 1$ $C(t) \sim C(0) + \lambda_0(a-b) \cdot t \cdot C(0)$ - величина начального капитала фирмы.

Таким образом, при отсутствии рекламы ($u(t) = 0$) и выполнении условия $a - b > 0$ средний капитал фирмы с течением времени линейно нарастает. При $u(t) \neq 0$ возможно как увеличение, так и уменьшение среднего капитала с течением времени. Поэтому возникает задача выбора такой стратегии управления $u(t)$ рекламной кампанией, которая максимизирует средний капитал фирмы в заданный момент времени T .

Задача оптимального управления. Рассмотрим случай экспоненциального времени обслуживания запросов, $G(t) = 1 - e^{-t\mu}$, где μ - скорость обслуживания запросов.

Обозначим $\varphi(t) = \int_0^t R(t-\tau) dG(\tau)$.

Сформулируем задачу оптимального управления. Найти управление $u(t)$, удовлетворяющее требованию $0 \leq u(t) \leq u$, которое максимизирует средний капитал фирмы $C(t)$ при условии, что состояние фирмы описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dC(t)}{dt} &= -u(t)C(t) + \lambda_0[a - B(t)b] + \lambda_1 a R(t) - \lambda_1 b \varphi(t), \\ k \frac{dR(t)}{dt} &= u(t)C(t) - R(t), \\ \frac{d\varphi(t)}{dt} &= R(t) - \mu \varphi(t) \end{aligned} \quad (4)$$

с начальными условиями: $C(0) = C(0)$, $R(0) = 0$, $\varphi(0) = 0$.

Для решения задачи используем принцип максимума Л.С. Понтрягина [8]. Составим $H(u)$ - функцию Гамильтона:

$$\begin{aligned} H(u) &= p_1[-u(t)C(t) + \lambda_0(a - G(t)b) + \lambda_1 a R(t) - \lambda_1 b \varphi(t)] + \\ &+ \frac{p_2}{k}[u(t)C(t) - R(t)] + p_3[R(t) - \mu \varphi(t)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Запишем систему сопряженных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial C} = \left[p_1(t) - \frac{1}{k} p_2(t) \right] u(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial R} = -\lambda_1 a p_1(t) + \frac{1}{k} p_2(t) - p_3(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \varphi} = \lambda_1 b p_1(t) + \mu p_3(t) \end{cases} \quad (6)$$

с граничными условиями $p_1(T) = 1$, $p_2(T) = 0$, $p_3(T) = 0$.

Максимум функции $H(u)$ по $u(t)$ достигается при

$$u(t) = \begin{cases} u_0, & \text{если } p_1(t) - \frac{1}{k} p_2(t) < 0, \\ 0, & \text{если } p_1(t) - \frac{1}{k} p_2(t) \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, управление рекламой (7) носит релейный характер. Точки переключения управления определяются условием

$$p_1(t) - \frac{1}{k} p_2(t) = 0. \quad (8)$$

Задача сводится к нахождению решения системы (6) и связанного с ней управления $u(t)$.

Рассмотрим вначале поведение решения в окрестности точки T . Из граничных условий задачи следует, что при t , близких к T , $u(t) = 0$. Поэтому при t , близких к T , функции $p_i(t)$, $i = 1, 2, 3$ определяются системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = 0, \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_1 b p_1(t) + \mu p_3(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -\lambda_1 a p_1(t) + \frac{1}{k} p_2(t) - p_3(t), \end{cases} \quad (9)$$

решение которой, удовлетворяющее граничным условиям, имеет вид

$$\begin{cases} p_1(t) = 1, \\ p_2(t) = \lambda_1 k(a-b) - \lambda_1 b \frac{k}{k\mu-1} \exp(-\mu(T-t)) + \lambda_1 k \frac{a-(a-b)k}{k\mu-1} \exp\left(-\frac{T-t}{k}\right), \\ p_3(t) = \lambda_1 \mu b [\exp(\mu(t-T)) - 1]. \end{cases} \quad (10)$$

Обозначим

$$f(t) = \lambda_1(a-b) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \right] - \lambda_1 b \frac{k}{k\mu-1} \left[\exp(-\mu t) - \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \right].$$

Точка переключения управления, определяемая условием (8), если она существует, $t^* = T - x^*$, где x^* – корень уравнения $f(x) = 1$. Функция $f(x)$ обладает свойствами: $f(0) = 0$, $f(\infty) = \lambda_1(a-b)$. Отсюда получаем необходимое условие существования точки переключения (точки выключения рекламы):

$$\lambda_1(a-b) - 1 > 0. \quad (11)$$

Смысл соотношения (11) очевиден. Величина $\lambda_1(a-b) - 1$ равна приращению капитала фирмы в стационарном режиме за счет рекламы, приходящейся на единицу вложенного капитала. Если $\lambda_1(a-b) - 1 \leq 0$, то затраты на рекламу бессмысленны. При

выполнении условия (11) затраты на рекламу начинаются в некоторый момент времени t_0 и прекращаются в момент t^* ($0 \leq t_0 \leq t^*$). Покажем, что $t_0 = 0$. Для этого необходимо показать, что при $t < t^*$ переключения управления не существуют точки.

На отрезке $[t_0, t^*]$, где $u(t) = u_0$, функции $p_i(t)$, $i = 1, 2, 3$ удовлетворяют системе уравнений

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = u_0 \left(p_1(t) - \frac{1}{k} p_2(t) \right), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_1 b p_1(t) + \mu p_3(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -\lambda_1 a p_1(t) + \frac{1}{k} p_2(t) - p_3(t) \end{cases} \quad (12)$$

с граничными условиями, определяемыми (10) при $t = t^*$.

Обозначим $x(t) = p_1(t) - \frac{1}{k} p_2(t)$. По условию, $x(t) \leq 0$ при $t \in [t_0, t^*]$. Покажем, что $x(t) < 0$ при $t < t^*$. Функции $p_1(t)$, $x(t)$, $p_3(t)$ удовлетворяют системе уравнений

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = u_0 x(t), \\ k \frac{dx(t)}{dt} = (1 + k u_0) x(t) + (\lambda_1 a - 1) p_1(t) - p_3(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_1 b p_1(t) + \mu p_3(t). \end{cases} \quad (13)$$

Из первого уравнения (13) следует, что $p_1(t)$ – монотонно убывающая функция. Так как $p_1(t^*) = 1$, то $p_1(t) \geq 1$. Решение третьего уравнения (13) есть

$$p_3(t) = -\frac{\lambda_1 b}{\mu} \left[\exp(\mu(t - t^*)) - \exp(\mu(t - T)) \right] + \lambda_1 b \int_t^{t^*} \exp(\mu(t - x)) p_1(x) dx,$$

откуда $k \frac{dx(t)}{dt} = (1 + k u_0) x(t) + \psi(t)$, где $\psi(t) > 0$. С учетом граничного условия $x(t^*) = 0$ получаем

$$x(t) = -\frac{1}{k} \int_t^{t^*} \exp\left((1+ku_0)\frac{t-x}{k}\right) \psi(x) dx.$$

Отсюда $x(t) < 0$ при каждом t , что и доказывает отсутствие второй точки переключения управления.

Вывод. При выполнении условия (11) затраты на рекламу должны начаться при $t = 0$ и закончиться при $t = t^*$, определяемом как решение уравнения $f(T - t^*) = 0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Rajeev B., Myers J.G., Aaker D.A.** Advertising Management. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1996.
2. **Rossiter J.R., Percy L.** Advertising Communications and Promotion Management. NY, McGraw Hill, 1997.
3. **Liu Y., Guo Y., Liang Ch.** A survey on peer-to-peer video streaming systems // J. of Peer-to-Peer Networking and Applications, Springer. 2008. – N2.
4. **Bonhomme A., Prylli L.** Performance evaluation of a distributed video storage system / In IPDPS. - Workshop PDIVM, Fort Lauderdale, Florida, 4, 2002.
5. **Neuts M.F.** A versatile Markovian point process // J. Appl Probab. - 1979.- 16. - P. 764-779.
6. **Lucantoni D.M.** New results on the single server queue with a batch Markovian arrival process // Commun. Statist. Stochastic Models 7(1). 1991. - P. 1-46.
7. **Ахмедова Д.Д., Терпугов А.Ф.** Математическая модель функционирования страховой компании с учетом расходов на рекламу // Изв. вузов. Физика. - 2001. - № 1. - С. 25-28.
8. **Арутюнов А.В., Магарил-Ильяев Г.Г., Тихомиров В.М.** Принцип максимума Понтрягина. -М.: Факториал, 2006. - 143 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 03.03.2009.

ԱՂԵԼ ՌԻԱԴ ՀԱՋԽԻՆԴԻ

ՖԻՐՄԱՅԻ ՍՏՈԽԱՍՏԻԿ ՄՈԴԵԼ ԵՎ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ

Առաջարկվում է ֆիրմայի մաթեմատիկական մոդել, որը տրամադրում է ըստ պահանջարկի բազմամեդիա և տեսաձայնայություններ: Պոնտրյագինի մաքսիմումի սկզբունքի կիրառմամբ ձևակերպվում և լուծվում է ֆիրմայի օպտիմալ պլանավորման խնդիրը: Ռելեատիվ ֆունկցիաների դասում գտնված են օպտիմալ կառավարումը և գովազդի անջատման կետը:

Առանցքային բառեր. ֆիրմայի ավտոմատացման համակարգ, ստոխաստիկ մոդել, ռեսուրսների օպտիմալ կառավարում:

ADEL RIAD HADGHINDI

THE STOCHASTIC MODEL OF COMPANY AND ITS OPTIMAL CONTROL RESOURCES

A mathematical model of the company which gives multimedia and video services is suggested. The problem of advertising optimal planning of the company with the help of Pontriagin maximum principle is formulated and solved. The optimal solution and the switching point of advertisement are found in the class of relay-type functions.

Keywords: automatization system of the company, stochastic model, optimal control of resources.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ա.Ս., ՎԱՍԻԼՅԱՆ Գ.Ա. ՊՂՆՁԻ ՀԻՄՔՈՎ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒԼ ՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	115
ԱԲՈՅԱՆ Ա.Հ., ԽԶԱՐՋՅԱՆ Ա.Ա., ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Ս.Զ., ՄԻՐԶՈՅԱՆ Ա. Թ. ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԻՈՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՏԵՄԱՆԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՔԱՌԱԲՅՈՒՐԵՂ ՊՈԼԻԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶՍՓՈՎ 123	123
ՄԻՐԱԿԱՆՅԱՆ Ս.Ա., ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ Գ.Յ., ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ Ն.Կ., ԹՈՐՈՍՅԱՆ Ա.Թ. ՀԱՆՔԱՅՆԱՅՎԱԾ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻՅ ՑԵԶԻՈՒՄԻ ԵՎ ՍՏՐՈՆՅԻՈՒՄԻ ՍՈՐԲՅԻԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 132	132
ԱԼԱՅԱՆ Ա.Ա., ԳԱԼՍՅԱՆ Լ.Ռ. ԶՈՒԼ ՎԱԾ ՆԻԿԵԼ-ՑԻՆԿԱՅԻՆ ՍՊԻՏԱԿ ՈՍԿՈՒ 585 ՀԱՐԳԻ ՀԱՄԱԶՈՒԼ ՎԱԾՔԻ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՏԱՐԲԵՐ ՋԵՐՄԱՄՇԱԿՈՒՄՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ 137	137
ՍԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ՄՈԱՏԱՍԵՄ Մ.Խ. ՈՍԿԵՏԱՐ ՍՈՒԼՖԻԴԱ-ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄԻՆԵՐԱԼՈԳԻԱՅԻ ԱՌԱՆՁԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ 145	145
ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Մ. ԽԱԼԿՈՊԻՐԻՏԻ ՎԱՐՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՊՂՆՁԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՀԻԴՐՈՔԼՈՐԻԴԱՅԻՆ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ 150	150
ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Ա.Հ., ԻՍՐԱՅԵԼՅԱՆ Ս.Մ. ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻՅ ՄԱՔՈՒՐ ԵՎ ԴԻՍՊԵՐՍ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻԴԻՍՈԼԻՖԻԴԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 155	155
ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ՇԱՄՍՅԱՆ Ե.Ռ. ՋԷԿ-ԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՂՏՈՏՄԱՆ ՀԵՏԵ- ՎԱՆՔՈՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴ 163	163
ՏՈՆՈՅԱՆ Վ.Ա. ԷԼԵՐԳԻԱՅԻ ՓՈԽԱՆՅՈՒՄԸ ՄԱԳՆԵՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ՏԱՔԱՅՄԱՆ ԲԱԶՄԱՇԵՐՏ ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՄԱՐՄՆՈՒՄ 171	171
ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ս.Հ. ԲԱՐԴ ԴԻՐՔԱՅԻՆ ԿՈՆՍԵՐՎԱՏԻՎ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՍՏԱՏԻԿ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ 175	175

ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՏԵՍՔԻ ԲՆՈՒԹԱԳԻՉ ՀԱՎԱՍՏԱՐՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ..... ԱՐԴԱՄՅԱՆ Է.Վ., ԴԱՎԹՅԱՆ Ս.Պ., ԵՆԳԻՐԱՐՅԱՆ Ս.Ն., ԱՐԴԱՄՅԱՆ Վ.Ղ. ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ԲԱՐՁՐ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ ՀՍԿՈՒՄ ԱՊԱՀՈՎՈՂ ԲԱՐՁՐ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԱԵՐՈՒՈՆԱՅԻՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ ՄԻՐԶԱՐԵԿՅԱՆ Ժ.Մ. ՀԱՐԹ ՀՈՍԱՆՔԱՀԱՂՈՐԴԻՉ ԶՂԵՐՈՎ ՄԱԼՈՒԽՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ..... ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Ս.Ք., ՄՈՒՐԱՂՅԱՆ Ս.Ս. ԷԼԵԿՏՐԱՍՊԱՌՄԱՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՅՈՒՄԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅՈՒՄ ՍԱՐԳՍՅԱՆ Պ.Ս. ՊՆԴՈՒՄՆԵՐ ԳԵՆԵՐԱՅՆԵԼՈՒ ԱՎՏՈՄԱՏԱՅՎԱԾ ՄՈՏԵՑՈՒՄ ՇԱՔԼՈՆՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾ RTL ԿՈՄՊԻԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՍԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ԻՇԽԱՆՅԱՆ Մ.Ն., ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Ա.Ա., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Գ., ՄԻՐԶՈՅԱՆ Դ.Լ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ա.Ն. ՀԱՃԱԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՓՈԻԼԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱԵՆԹԱԼԱՐՔԻ (ՀՓԻ) ՀԱՄԱԼԱՐՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ՓՈՔՐԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴ ՆԱԼՉԱՋՅԱՆ Թ.Ա., ՂԱԼԵՉՅԱՆ Հ.Ս. ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ԲՆՈՒՅԹ ՈՒՆԵՑՈՂ ԲԱԶՄԱՉԱՓ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԴԻՍՊԵՐՄԻԱՅԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՂՈՒԼՅԱՆ Ա.Վ. ԶՈՒԳԱՀԵՌ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ ՍՏՈՒԱՍՏԻԿ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ ԳՈՐԾՆԹԱՅՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՄԴԵԼ ՌԻԱՂ ՀԱՋՆԻԴԻ ՖԻՐՄԱՅԻ ՍՏՈՒԱՍՏԻԿ ՄՈԴԵԼ ԵՎ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ	184 191 199 208 218 225 228 235
---	---

СОДЕРЖАНИЕ

<i>АГБАЛЯН С.Г., ПЕТРОСЯН А.А., АГБАЛЯН А.С., ВАСИЛЯН Г.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ АРМИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ	115
<i>АБОЯН А.О., ХЗАРДЖЯН А.А., МАНУКЯН С.Д., МИРЗОЯН А.Т.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДИМОСТИ РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН ЧЕТЫРЕХКРИСТАЛЬНЫМ ПОЛИИНТЕРФЕРОМЕТРОМ.....	123
<i>СИРАКАНЯН М. А., ВАРДЕРЕСЯН Г.Ц., ГАСПАРЯН Н.К., ТОРОСЯН А.Т.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ ИЗ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ.....	132
<i>АЛАЯН А.А., ГАЛСТЯН Л.Р.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТОГО СПЛАВА БЕЛОГО НИКЕЛЬ-ЦИНКОВОГО ЗОЛОТА 585-Й ПРОБЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМООБРАБОТКАХ	137
<i>САРГСЯН Л.Е., МОАТАСЕМ М.Х.</i> ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНО- ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУДОМАТЕРИАЛОВ	145
<i>ОГАНЕСЯН А.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ХАЛЬКОПИРИТА В ПРОЦЕССЕ ГИДРОХЛОРИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА.....	150
<i>ОВСЕПЯН А.О., ИСРАЕЛЯН С.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО И ДИСПЕРСНОГО ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ИЗ МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА	155
<i>МАРУХЯН В.З., ШАМАМЯН Е.Р.</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ТЭС ВСЛЕДСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	163
<i>ТОНОЯН В.А.</i> ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МНОГОСЛОЙНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ТЕЛЕ	171
<i>ОГАННИСЯН С.О.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ПОЗИЦИОННЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ СИСТЕМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЕМ В МАТРИЧНОЙ ФОРМЕ	175
<i>АБРАМЯН Э.В., ДАВТЯН С.П., ЕНГИБАРЯН С.Н., АБРАМЯН В.К.</i> ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ГЕНЕРАТОР АЭРОИОНОВ С ВЫСОКОТОЧНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ И КОНТРОЛЕМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	184
<u>МИРЗАБЕКЯН Ж.М.</u> РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В КАБЕЛЕ С ПЛОСКИМИ	191

ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ	
БАГДАСАРЯН М.К., МУРАДЯН С.М.	
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ	199
МАРГАРЯН П.С.	
ПОДХОД К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ УТВЕРЖДЕНИЙ ДЛЯ RTL КОМПИЛЯТОРОВ, ОСНОВАННЫХ НА ШАБЛОНАХ	208
МЕЛИКЯН В.Ш., ИШХАНЯН М.Н., ОВСЕПЯН А.А., САРГСЯН А.Г., МИРЗОЯН Д.Л., ХАЧАТРЯН А.Н.	
МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ.....	218
НАЛЧАДЖЯН Т.А., ГАЛЕЧЯН А.С.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ МНОГОМЕРНОГО ВЕРОЯТНОСТНОГО ПАРАМЕТРА УПРАВЛЕНИЯ.....	225
ГУЛЯН А.В.	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СО СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	228
АДЕЛ РИАД ХАДЖНИДИ	
СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИРМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЕЕ РЕСУРСАМИ	235

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., PETROSYAN A.A., AGHBALYAN A.S., VASILYAN G.A. RESEARCH OF THE REINFORCED POROUS POWDER ALLOYS DEFORMATION PROCESS ON THE BASIS OF COPPER	115
ABOYAN A.O., KZARDZIAN A.A., MANUKYAN S. D., MIRZOYAN A.T. INVESTIGATION OF VISIBILITY OF X-RAY INTERFERENCE PATTERNS BY FOUR-CRUSTAL POLYINTERFEROMETER.....	123
SIRAKANYAN M.A., VARDERESYAN G.C., GASPARYAN N.K., TOROSYAN A.T. CESIUM AND STRONTIUM IONS SORPTION INVESTIGATION FROM THE MINERALIZED AQUEOUS SOLUTION	132
ALAYAN A.A., GALSTYAN L.R. RESEARCH OF STRUCTURE AND PROPERTIES FOR CASTED 585 STANDARD WHITE NICKEL-ZINC GOLD ALLOY IN DIFFERENT HEAT TREATMENTS.....	137
SARGSYAN L.YE., MOATASEM M. KH. MINERALOGY PARTICULARITIES OF GOLD-BEARING SULPHIDIC POLYMETALLIC ORES.....	145
HOVHANNISYAN A.M. CHALCOPYRITE BEHAVIOUR INVESTIGATIONS IN COPPER CONCENTRATE LEACHING PROCESS	150
HOVSEPYAN A.H., ISRAYELIAN S.M. RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF OBTAINING PURE AND DISPERSE MOLYBDENUM DISULFIDE FROM MOLYBDENUM CONCENTRATE	155
MARUKHYAN V.Z., SHAMAMYAN Y.R. METHOD OF HEATING REGIME CHANGE CALCULATION DUE TO THE POLLUTION OF TPP SURFACE CONDENSERS.....	163
TONOYAN V.A. ENERGY TRANSMISSION BY MAGNETIC FIELD IN MULTILAYER CYLINDRICAL BODY	171
HOVHANNISYAN S.H. COMPLEX POSITION CONSERVATIVE SYSTEM STATIC STABILITY INVESTIGATION BY CHARACTERISTIC EQUATION IN MATRIX FORM.....	175
ABRAMYAN E.V., DAVTYAN S.P., YENGIBARYAN S.N., ABRAMYAN V.K. SUPERFINE-ADJUSTABLE AND PERFORMANCE-CONTROLLABLE HIGH- EFFICIENCY AERO ION GENERATOR	184
MIRZABEKYAN Zh.M. ELECTROMAGNETIC FIELD CALCULATION OF HIGH-FREQUENCY CABLES WITH FLAT CURRENT-CARRYING CORES	191

BAGHDASARYAN M.K., MURADYAN S.M. ELECTROCONSUMPTION REGIME OPTIMIZATION OF ORE REDUCTION PROCESS.....	199
MARGARIAN PAVLUSH S. AN APPROACH FOR AUTOMATED ASSERTION GENERATION IN TEMPLATE-BASED RTL COMPILERS	208
MELIKYAN V.SH., ISHKHANYAN M.N., HOVSEPYAN A.A., SARGSYAN A.G., MIRZOYAN D.L., KHACHATRYAN A.N. PHASE-LOCKED LOOP TIME REDUCTION METHOD	218
NALCHAJYAN T. A., GHALECHYAN H. S. OPTIMAL DISPERSION DEFINING MODEL OF THE PROBABILISTIC MULTIDIMENSIONAL CONTROL PARAMETER	225
GHULYAN A.V. AUTOMATED SYSTEM FOR INVESTIGATION OF THE PROCESSES WITH STOCHASTIC AND DYNAMIC INTERACTIONS.....	228
ADEL RIAD HADGHINDI THE STOCHASTIC MODEL OF COMPANY AND ITS OPTIMAL CONTROL RESOURCES.....	235