

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

EDITORIAL BOARD

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

ՏՊԱԳՐԱԾ Է ՀԱՐԱՎԱՅԻՆ ԿԱԼԻՖՈՐՆԻԱՅԻ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ ՀԱՅ ԱՍՊԻՐԱՆՏՆԵՐԻ
ԵՎ ՄԱԳԻՍՏՐԱՆՏՆԵՐԻ ԸՆԿԵՐԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ՀՈՎԱՆԱՎՈՐՈՒԹՅԱՄԲ

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

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

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՐՈՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

© Издательство ГИУА
Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2006

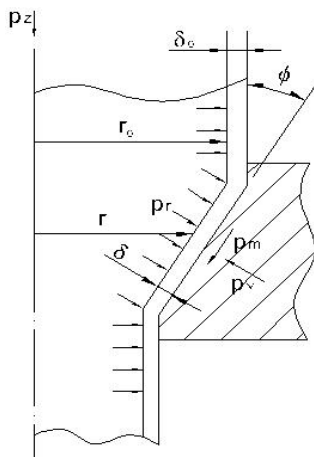
Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Հ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԱՐՏԱՔԻՆ ՓԱՓՈՒԿ ՇԵՐՏՈՎ ԵՐԿՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՁՈՂԻ ՄԱՍԼՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԶԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ

Օգտագործվել են ժամանակակից ծրագրային փաթեթներ՝ MATHCAD, MS EXCEL և ABAQUS. Որոշվել են երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ պարամետրերի սկզբնական արժեքները, երբ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը : Ուսումնասիրվել են մամլման լոնական մասում ձողի լարվածային վիճակի բաղադրիչների մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները և կատարվել է ստացված արդյունքների վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. երկմետաղական ձող, կոնական մամլման, լարվածային վիճակ, համակարգչային մոդելավորում:

Կոնական մամլման երկմետաղ ձողերի մամլման գործընթացը (նկ. 1) լայն կիրառություն ունի արդյունաբերության մեջ: Կոնական մամլման երկմետաղ ձողերում դժվար դեֆորմացվող նյութերից պատրաստված նախամատրաստվածքների մամլման ժամանակ աշխատանքային մեծ մամլող ուժերի առկայության պատճառով տեղի է ունենում գործիքի



Նկ. 1. Մամլման գործընթացի գծապատկերը

արագ մաշում և մամլվածքի քայքայում: Տեխնոլոգիական գործընթացի տարբեր պարամետրերի (կոնականության անկյուն, դեֆորմացման ջերմաստիճան, գործընթացի արագություն, հպակային պայմաններ և դեֆորմացման աստիճան) ընտրությամբ հնարավոր է կառավարել մամլման գործընթացը՝ ցածրացնել գործիքի մաշումը և բարձրացնել մամլվածքի որակը: Հետազոտությունները ցույց են տալիս [1], որ նշված պարամետրերից հպակային պայմանների կարգավորմամբ (փոքրացնելով մետաղի շփումը գործիքի հետ) կարելի է հասնել նախապատրաստվածքի՝ ինչպես դեֆորմացիոն վիճակի անհամասեռության պակասեցման, այնպես էլ դեֆորմացվող ուժերի էական փոքրացման: Դա բացատրվում է հետևյալ կերպ. միջուկի լայնական հատույթի կենտրոնում շոշափող լարումները

բացակայում են, դրանք աստիճանաբար մեծանում են հատույթի շառավղի մեծացմանը զուգընթաց և հասնում են մեծագույն արժեքին միջուկի եզրում (մամլման մոտ): Ստեղծված յուղի շերտը նպաստում է շոշափող լարման մեծագույն արժեքների փոքրացմանը և, իհարկե, նաև լայնական հատույթի բոլոր կետերի լարումների և մետաղի դեֆորմացման անհամասեռության փոքրացմանը, ինչը բարձրացնում է գործիքի կայունությունը: Այսպիսով, յուղման հետևանքով մամլման ուժերը գրեթե ամբողջությամբ յուղի

շերտի միջոցով ծախսվում են օգտակար աշխատանքի վրա պահանջվող դեֆորմացման մակարդակ ստանալու համար, ինչը հանգեցնում է դեֆորմացվող մետաղի պլաստիկ հատկությունների լրիվ օգտագործման [1]:

[2]-ում արտաքին փափուկ շերտով (կապարից) երկմետաղական խողովակների կալակավոր մամլման փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս, թե ինչպես կապարի արտաքին շերտը փակում է միջուկի բոլոր ազատ մակերևույթները՝ ստեղծելով հիդրոմամլման էֆեկտ:

[3]-ում կատարվել է տեխնոլոգիական գործընթացում կարևոր նշանակություն ունեցող բարակապատ մետաղական թաղանթի մեջ դրված ծակոտկեն ձողերի մամլման գործընթացին նվիրված աշխատանքների վերլուծություն և, չամրացող միջուկի համար օգտագործելով ծակոտկեն նյութերի հոսունության տեսության բանաձևերը, հետազոտվել են երկմետաղի բաղադրիչների լարվածադեֆորմացիոն վիճակները: Սակայն [1-3] և այլ աշխատանքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ մամլման գործընթացի վերաբերյալ բազմաբնույթ խնդիրներ դեռ ուսումնասիրված չեն, և այդ հետազոտություններում քիչ են օգտագործված ժամանակակից համակարգչային տեխնոլոգիաներ:

Նշենք որ կոնական մամլամայրում երկմետաղական ձողեր մամլելիս հնարավոր են երկու դեպքեր. ա) երբ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի փափուկ է, քան արտաքին շերտը և բ) հակառակը: Առաջին դեպքը բարակ հատույթների մեթոդով ուսումնասիրված է [4]-ում, որտեղ վերլուծական եղանակով ստացվել են գործընթացի լարվածային վիճակը բնութագրող բաղադրիչները երկմետաղական ձողի միջուկի և արտաքին շերտի համար:

Աշխատանքի նպատակն է՝ որոշել երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ պարամետրերի սկզբնական արժեքները և ուսումնասիրել մամլամայրի կոնական մասում ձողի լարվածային վիճակն արտահայտող մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները, երբ այդ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը:

Երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացը բնութագրող գծապատկերից (նկ. 1) երևում է, որ երկմետաղը բաղկացած է միջուկից (որի սկզբնական շառավիղը r_0 է՝ ընթացիկը՝ r) և արտաքին շերտից (որի սկզբնական հաստությունը δ_0 է՝ ընթացիկը՝ δ): Միջուկը դիտարկում ենք որպես ձող, որի համար [2]-ում դուրս է բերված առանցքային ճնշման (p_z) փոփոխության հետևյալ բանաձևը.

$$dp_z = 2(Bp_z + (1+B)\sigma_{hl})dr/r, \quad (1)$$

որտեղ $B = f \cdot ctg\varphi$: Բարակ հատույթների մեթոդի ընդունելություններից է շառավղային և անկյունային լարումների հավասարությունը՝ $p_r = p_\theta$, որոնց համար Հուբեր-Միզեսի պլաստիկության պայմանից ստանում ենք.

$$p_r = p_z + \sigma_{hl}, \quad (2)$$

որտեղ σ_{hl} - ը միջուկի նյութի հոսունության սահմանն է:

Արտաքին շերտի բարակության և շոշափող լարումների փոքրության պատճառով ընդունվում է, որ գլխավոր լարումներն են. միջօրեական՝ σ_m , շրջանային՝ σ_θ և խողովակի մակերևույթին նորմալ շառավղային՝ $\sigma_r = -p_r$ [3] լարումները: Այդ դեպքում, պլաստիկության հոսունության տեսության հիման վրա,

σ_m -ի փոփոխության համար ստացվում է հետևյալ արտահայտությունը.

$$d\sigma_m = dr/r [c_1\sigma_\theta - c_2rp_r/\delta - \sigma_m(1 + rd\delta/\delta dr)], \quad (3)$$

որտեղ

$$c_1 = 1 + 2f \operatorname{ctg} \varphi / (2r + \delta \cos \varphi), \quad c_2 = f(2r - \delta \cos \varphi) / (2r + \delta \cos \varphi) \sin \varphi:$$

$d\delta$ արտաքին շերտի հաստության փոփոխությունը և σ_θ շրջանային լարումը որոշվում են

$$d\delta = -\delta(2p_r + \sigma_\theta + \sigma_m)dr/r(2\sigma_\theta - \sigma_m + p_r), \quad (4)$$

$$\sigma_\theta = (\sigma_m - p_r - Q)/2 \quad (5)$$

բանաձևերով, որտեղ

$$Q = \sqrt{4\sigma_{h2}^2 - 3\sigma_m^2 - 3p_r^2 - 6p_r\sigma_m} : \quad (6)$$

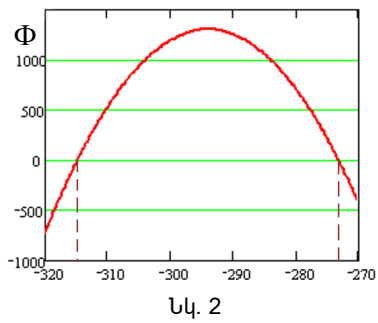
(6) արտահայտությունում Q -ի իրական արժեք ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ արմատատակ արտահայտության դրական անդամները (1-ինը և 4-րդը) ավելի մեծ լինեն, քան բացասականները (2-րդը և 3-րդը): [1]-ում նկարագրված դեպքում $\sigma_{h1} \ll \sigma_{h2}$, հետևաբար, (2)-ից հետևում է, որ $p_r \ll \sigma_{h2}$: Այս դեպքում Q -ի արմատատակ արտահայտության 1-ին և 4-րդ անդամների գումարը հիմանականում շատ ավելի մեծ է ստացվում, քան 2-րդը և 3-րդը միասին:

Դիտարկվող խնդրում, այսինքն, երբ երկմետաղական ձողի միջուկը զգալիորեն ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը՝ $\sigma_{h1} \gg \sigma_{h2}$ և, հետևաբար, $p_r \ll \sigma_{h2}$, (6)-ում արմատատակ արտահայտության 1-ին և 4-րդ դրական անդամները միշտ չէ, որ մեծ են 2-րդ և 3-րդ բացասական անդամներից: Այսպիսով, ստացվում է հետևյալ անհավասարությունը.

$$\Phi = 4\sigma_{h2}^2 - 3\sigma_m^2 - 3p_r^2 - 6p_r\sigma_m \geq 0: \quad (7)$$

Բարակ հատույթների մեթոդով երկմետաղական խնդիրը լուծելիս առաջին հերթին ստանում ենք միջուկի պարամետրերը, այսինքն, մինչև (6) արտահայտությանը հասնելը մեզ արդեն հայտնի են լինում միջուկի ճնշումը արտաքին շերտին՝ p_r -ը և σ_{h2} -ը, որը ունենք սկզբնական տվյալներից: Այսպիսով, (7) պայմանը բավարարելու համար ստանում ենք σ_m -ից կախված քառակուսի անհավասարություն, որի լուծման արդյունքում կստանանք σ_m -ի արժեքների այն միջակայքը, որոնց դեպքում Q -ի արժեքները կլինեն իրական:

Հաշվարկները կատարվել են երկմետաղ ձողի համար, որի արտաքին շերտը կապար է՝ $\sigma_{h1} = 18 \text{ ՄՊա}$, իսկ միջուկը՝ արույր՝ $\sigma_{h2} = 200 \text{ ՄՊա}$: Միջուկի սկզբնական շառավիղը՝ $r = 10 \text{ մմ}$, արտաքին շերտի հաստությունը՝ $\delta = 2 \text{ մմ}$, մամլամայրի կոնականության անկյունը՝ $\varphi = 15^\circ$: Թաղանթի բարակության պատճառով ընդունվել է, որ երկմետաղի շերտերի և արտաքին շերտի ու մամլամայրի միջև շփման գործակիցները հավասար են և տվյալ դեպքում ընդունվել են հավասար 0,1-ի: Նշված սկզբնական արժեքներին և եզրային պայմաններին համապատասխան σ_m -ի արժեքների միջակայք գտնելու համար դիտարկվել է (6)-ի՝

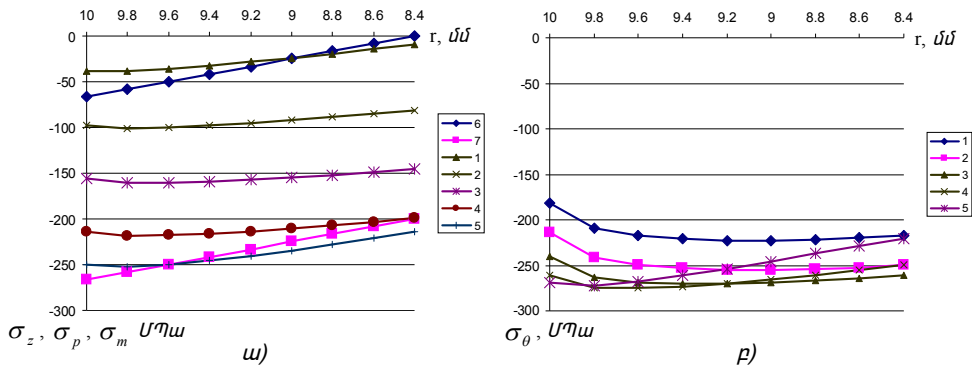


իրական արմատներ ունենալու պայմանը: MATHCAD ծրագրային փաթեթի հիման վրա կառուցվել է Φ -ի կախվածության գրաֆիկը σ_m -ից (նկ. 2):

Երկմետաղական ձողի մամլման խնդիրը լուծվել է MS EXCEL ծրագրի օգնությամբ, որը հնարավորություն է տալիս արդյունքները ներկայացնել մատչելի տեսքով (նկ.3) և անհրաժեշտության դեպքում նույն հաշվարկները շատ արագ կատարել շփման տարբեր

գործակիցների մեծությունների և երկմետաղական նախապատրաստվածքի չափերի համար:

Ցույց են տրվում արտաքին բարակ շերտի (թաղանթի) նյութի հոսունության սահմանի՝ $\sigma_{h2} = 200, 150, 100, 50$ և 18 $ՄՊա$ արժեքների դեպքերում երկմետաղի լարվածային վիճակի բաղադրիչների բախշման գրաֆիկները կոնական մամլամայրի բարձրությունից (կամ երկմետաղի r շառավղից) կախված, երբ $f = 0,01$, $\delta = 2$ մմ (նկ.3):



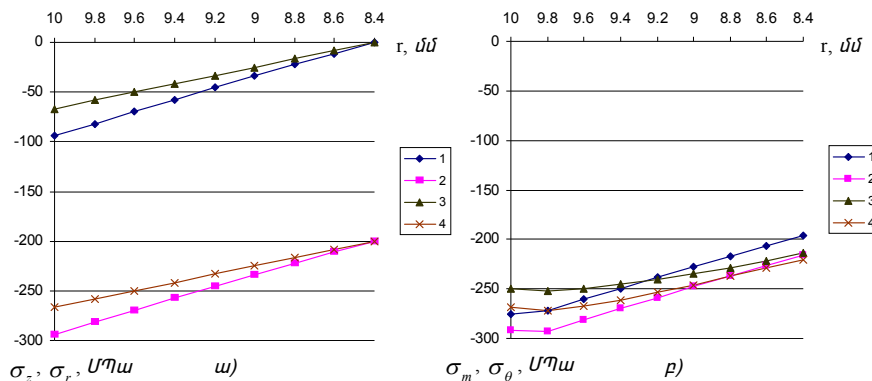
Նկ.3. Երկմետաղի միջուկի եւ արտաքին շերտի լարումների բաշխման գրաֆիկները տարբեր σ_{h2} -ի դեպքում, երբ $f=0,01$, $\delta = 2$ մմ (1-5 - σ_m և σ_θ , 6- σ_z , 7- $\sigma_\theta = \sigma_r$)

Գրաֆիկից (նկ. 3) երևում է, որ թաղանթի σ_{h2} - ի փոքրացմամբ σ_m - ի արժեքները մեծանում են (նկ. 1 ա, համապատասխանաբար 1-5 կորերը) և կորն աստիճանաբար մոտենում է ամենամեծ սեղմող արժեքներ ունեցող σ_θ - ի կորերի խմբին (նկ. 1 բ, 1-5 կորեր): Քանի որ այդ կորերի խմբում է նաև միջուկի $\sigma_{01} = \sigma_{r1}$ - կորը (նկ. 1 ա, 7), ապա փոքր σ_{h2} - ների դեպքերում թաղանթը կենթարկվի մոտավորապես մամլամայրի բարձրությամբ եռառանցք հավասարաչափ սեղմման:

Ցույց են տրված շփման գործակիցների՝ $f_1=0,1$ և $f_2=0,01$ արժեքների դեպքերում երկմետաղի լարվածային վիճակի բաղադրիչների բախշման գրաֆիկները՝ r -ից կախված (համապատասխանաբար 1,2 և 3,4 կորերը), երբ

$\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 2 \text{ մմ}$ (նկ. 4):

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ շփման փոքրացման դեպքում. ա) միջուկի σ_z և σ_r լարումների բացարձակ արժեքները փոքրանում են, բ) թաղանթի σ_m և σ_θ լարումների բացարձակ արժեքները մամլամայրի կոնական մասի մոտ փոքրանում են, իսկ ելքի մոտ ($r = 8,4 \text{ մմ}$)՝ նեժանում: Այսինքն, շփման փոքրացման դեպքում ևս մոտավորապես եռառանցք հավասարաչափ սեղմման պայմաններ են ստեղծվում թաղանթի համար:



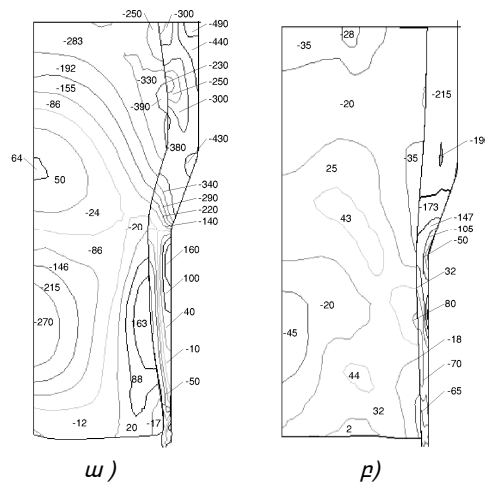
Նկ.4. Երկմետաղի միջուկի եւ արտաքին շերտի լարումների բաշխման գրաֆիկները տարբեր f -ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$, $\delta = 2 \text{ մմ}$ (1,3 - σ_z , σ_r և 2,4 - σ_m , σ_θ)

Ինչ վերաբերում է թաղանթի պատի հաստության (δ) փոփոխությանը՝ r -ից կախված, ապա այն տարբեր սկզբնական հաստությունների դեպքում տարբեր կերպով է արտահայտվում. ա) $\delta = 2 \text{ մմ}$ - ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ և $f = 0,1$, δ - ն սկզբում 3% - ով մեծանում է և, աստիճանաբար փոքրանալով, մնում է սկզբնականից մեծ (1%) , բ) $\delta = 2 \text{ մմ}$ - ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ և $f = 0,01$, δ -ն սկզբում 1,4% - ով մեծանում է և, արագ փոքրանալով, սկզբնականից շատ բարակում է (10,5%) , գ) $\delta = 1 \text{ մմ}$ - ի դեպքում, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ - ի և $f = 0,01$ δ -ն սկզբում չնչին՝ 0,55% - ով մեծանում է և արագ փոքրանալով սկզբնականից շատ բարակում է (4,5%), իսկ, երբ $\sigma_{h2} = 18 \text{ ՄՊա}$ և $f = 0,1$, խնդրի լուծումը չի իրականանում: Դա բացատրվում է թաղանթի պատի հաստության 0 - ի հավասարվելով:

Խնդիրը մոդելավորվել է նաև ABAQUS [5] ծրագրային միջավայրում, որը համակարգչային ավտոմատ նախագծման բնագավառի առաջատար համակարգերից մեկն է: Նշված ծրագրային փաթեթը, որի հիմքում ընկած է վերջավոր տարրերի մեթոդը, ներառում է նյութերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթաց բնութագրող բոլոր բաղադրիչները, ինչպես նաև հաշվի է առնում խնդրի մոդելավորման համար անհրաժեշտ բոլոր ժամանակակից մեթոդները: Ընդունվել է,

որ մամլամայրը և մամլամատը բացարձակ կոշտ են: Երկմետաղի միջուկի և արտաքին շերտի համար նյութերը և չափսերը ներմուծվել են բարակ հատույթների մեթոդի տվյալներին համապատասխան: Ի տարբերություն վերջինիս, խնդրի լուծումն իրականացվել է ոչ միայն մամլամայրում, այլ նաև նրա վերնի (կոնտեյներ) և ներքնի (չափաբերող) մասերում: Խնդրի առանձնահատկությունները հաշվի առնելով՝ ընտրվել է CAX4R վերջավոր տարրը [5]: Որոշվել են երկմետաղի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչների (մասնավորապես՝ առանցքային, շրջանային, շառավղային և շոշափող լարումների, ինչպես նաև լարումների ինտենսիվության) բաշխվածության առանձնահատկությունները նախապատրաստվածքի բարձրության բոլոր տեղամասերում:

Նշենք, որ երկմետաղի մամլման վերաբերյալ ստացված համալիր տվյալների այդպիսի քանակության վերլուծությունն ունի կարևոր նշանակություն և ներկայացվելու է հետագա աշխատանքներում: Քննարկենք միայն տարբեր շփման գործակիցների համար ($f_1 = 0,1$ և $f_2 = 0,01$) միջուկի առանցքային՝ σ_z և թաղանթի միջօրեական՝ σ_m լարումների բաշխվածության պատկերները (տեսքերը)՝ երկմետաղում ձգող լարումների առաջացման տեսանկյունից (նկ. 5):



Նկ. 5. Առանցքային σ_z լարումների բաշխման գոտիները երկմետաղական ձողի մամլման դեպքում, ըստ ABAQUS-ի՝ ա - $f = 0,1$; բ - $f = 0,01$

Նկ. 5-ից երևում է՝

ա) $f_2 = 0,01$ - ի դեպքում թաղանթի բոլոր σ_m - երը բացասական են (բացառությամբ չափաբերող մասի փոքր շերտի), իսկ $f_1 = 0,1$ - ի դեպքում չափաբերող մասում գտնվող երկմետաղի արտաքին շերտի դրական լարումների գոտին բավականին մեծ է,

բ) $f_2 = 0,01$ - ի դեպքում, միջուկի կոնական մասի առանցքից սկսած լայն գոտիով մինչև չափաբերող մասի վերջը արտաքին մակերևույթով սահմանափակված, անընդհատ դրական են, իսկ $f_2 = 0,1$ - ի դեպքում, այդ դրական լարումների գոտին մեջտեղից ընդհատվում է և փոքրանում: Կոնական մասի մեջտեղում և չափաբերող արտաքին մակերևույթում դրական լարումների մեծությունները համապատասխանաբար ստանում են 64 և 163 ՄՊա արժեքները:

Մեր կարծիքով, նշված գոտիներում դրական σ_z լարումների առկայությամբ կարելի է բացատրել նաև նախապատրաստվածքների կենտրոնական մասերում և արտաքին մակերևույթում փորձնականորեն հայտնաբերված ճաքերը [1]: Նշենք, որ [1]-ում ճաքերի առաջացումը բացատրվում է միայն շոշափող լարումների ազդեցությամբ:

Այսպիսով, կատարվել է արտաքին փափուկ շերտով երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի համակարգչային մոդելավորում՝ օգտագործելով ժամանակակից հետևյալ ծրագրային փաթեթները՝ MATHCAD, MS EXCEL և ABAQUS. Որոշվել են երկմետաղական ձողի մամլման գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ պարամետրերի սկզբնական արժեքները, երբ ձողի միջուկը համեմատաբար ավելի ամուր է, քան արտաքին շերտը: Ուսումնասիրվել են մամլամայրի կոնական մասում ձողի լարվածային վիճակն արտահայտող մեծությունների փոփոխության օրինաչափությունները և կատարվել է ստացված արդյունքների վերլուծություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Колпашников А.И.** и др. Горячее гидропрессование металлических материалов. - М.: Машиностроение, 1977. - 270 с.
2. **Mamalis A.G., Petrosyan G.L., Manolakos D.E., Safaryan M.B., Petrosyan H.G.** Investigation of Bimetallic Tubes Manufacturing Processes in Cases of Different Conditions of Contact Between Layers // Modern Problems of Deformable Bodies Mechanics, Collection of Papers. - Yerevan, 2005. - P.155-163.
3. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.
4. **Խաչատրյան Հ.Հ.** Փափուկ նյութից միջուկով երկմետաղ ձողերի մամլման գործընթացի հետազոտումը // ՀՊՀՀ տարեկան գիտաժողով. - Երևան, 2005.- էջ 416-418:
5. **ABAQUS, Inc.** ABAQUS Theory Manual. - 2004. - 841 p.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 11.04.2006:

Г.Л. ПЕТРОСЯН, Г.Г. ХАЧАТРЯН, В. Г. ПЕТРОСЯН

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ С МЯГКИМ ВНЕШНИМ СЛОЕМ**

Использованы современные пакеты программ MATHCAD, MS EXCEL и ABAQUS. Определены величины необходимых начальных параметров для осуществления процессов прессования биметаллического стержня, когда сердцевина стержня сравнительно прочнее внешнего слоя. Изучены закономерности изменения величин компонентов напряженно-деформированного состояния стержня в конической части матрицы и приведен анализ полученных данных.

Ключевые слова: биметаллический стержень, коническая матрица, напряженное состояние, компьютерное моделирование.

G.L. PETROSYAN, H.H. KHACHATRYAN, V.G. PETROSYAN

**COMPUTER MODELLING OF BIMETALLIC BAR PRESSING PROCESS
WITH SOFT EXTERNAL LAYER**

The modern packet program MATHCAD, MS EXCEL and ABAQUS are used. The core of bimetallic bar is relatively stronger than the external layer. The values of necessary initial parameters for realizing the bar pressing process are determined. The value change laws of stress-strain components in conical die are stated and the obtained data analysis is given.

Keywords: bimetallic rod, conical die, stress state, computer modelling.

Н.Е. САРКИСЯН, Н.Н. САРКИСЯН

ВЛИЯНИЕ ТИПА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЧАСТОТНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ

Исследовано влияние типа дорожного покрытия (грунт, брусчатка, асфальт и асфальтобетон) и скорости движения транспортного средства (в пределах примерно 5; 10; 15 и 20 м/с) на изменение частотной зависимости и других основных характеристик спектра статистического распределения максимальных значений нормального напряжения в опасном сечении конструкции из композитного материала. Показано, что частота внешнего силового воздействия, обусловленная случайными неровностями покрытия дороги и скоростью движения, изменяется в пределах 0,3...17 Гц со смещением спектра к стохастической области максимальных напряжений. Построены, в частности, статистические кривые изменения плотности вероятности возникновения случайных напряжений при варьировании рассмотренных выше параметров исследования. Установлена область изменения значений коэффициента широкополосности, отражающего сложность структуры рассмотренного случайного процесса нагружения.

Ключевые слова: опасное сечение, нормальное напряжение, частотная зависимость, дорожное покрытие, изгибающий момент.

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций и их элементов при случайных воздействиях динамической нагрузки имеет важное значение в инженерном расчете их характеристик долговечности и надежности при различных условиях эксплуатации, зачастую имеющих стохастическую природу [1-3 и др.].

Целью настоящей работы является оценка изменения частотной зависимости спектра статистического распределения случайных напряжений в опасном сечении конструкции из композитного материала, возникающих при ее транспортировке по автомобильным дорогам и обусловленных неровностями дорожного покрытия. Рассмотрено влияние дорожного покрытия (грунт, брусчатка, асфальт и асфальтобетон) и скорости движения автомобильного транспорта (в пределах примерно 15; 30; 45 и 60 км/ч) на изменение частотной зависимости и других основных характеристик спектра статистического распределения максимальных значений нормального напряжения в опасном сечении конструкции. Выполнены исследования по классификации случайных нагружений конструкций при ее транспортировке, которые реально отражают механическое поведение материала при ее длительной эксплуатации. Из всего спектра случайных процессов рассмотрены нагружения, которые обусловлены неровностями дорожного покрытия, имеющими, естественно, вероятностный характер распределения. В качестве транспортируемого объекта выбрана тонкостенная цилиндрическая конструкция, намотанная из

стекловолоконистого полимерного композитного материала, имеющего ортогональную укладку армирующих слоёв.

В настоящей работе рассмотрен весьма значительный объём известных данных натурных измерений случайных изгибающих моментов, возникающих во времени в опасном сечении конструкции при движении автомобильного транспорта в период эксплуатации.

Определены характеристики статистических рядов измерений, которые выражают зависимость максимальных нормальных напряжений в опасном сечении конструкции от типа дорожного покрытия и скорости движения (транспортировки). Вычислены значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения рядов измерений, а также определена величина плотности вероятности возникновения случайных напряжений. Эти значения использованы для построения экспериментальных кривых распределения вероятности случайных напряжений. Анализ этих кривых даёт возможность выявить характер статистического распределения напряжений и осуществить классификацию режимов случайного нагружения с точки зрения частоты их воздействия на конструкцию.

Определены значения одной из важнейших спектральных характеристик случайного процесса, а именно, коэффициента широкополосности, позволяющего классифицировать сложные процессы случайного силового воздействия по частоте действия нагрузок.

Математическая обработка результатов натурных измерений по 20 вышеотмеченным статистическим рядам сгруппированных пар значений «случайное напряжение-частота воздействия» производилась по указанным выше типам дорожного покрытия и скорости движения на основе нормально-логарифмического закона распределения пределов прочности материала. Справедливость этого закона для различных композитных материалов в условиях статического и циклического нагружения была подтверждена ранее как другими исследователями, так и в наших предыдущих работах.

Поставленная здесь задача в общем случае решается на основе принципов статистической динамики упругих конструкций (см., например, [1]). В качестве рассматриваемого примера используется динамическая система расчётной схемы «конструкция-транспортное средство». Характерным свойством такой системы является передача на конструкцию нагрузок в виде случайной возбуждающей функции, отражающих влияние случайных неровностей дорожного покрытия.

Эта динамическая схема рассматривается в качестве линейной или линеаризованной колебательной системы.

Случайная функция нагружения задаётся в аналитическом виде в соответствии с формой известной корреляционной функции [4]. Подобная постановка задачи даёт возможность определить диапазон изменения частотности случайного нагружения в широком спектре варьирования условий силового воздействия.

Плотность спектральных характеристик рассматриваемого случайного процесса определяется динамическими свойствами конструкций и особенностями внешнего силового воздействия. С точки зрения, например, расчёта долговечности конструкций, важное значение имеет исследование и учёт функций частоты изменения случайной нагрузки в процессе длительной

эксплуатации. Здесь важно также точное определение величины коэффициента широкополосности случайного процесса, поскольку свойственная той или иной методике расчёта погрешность может привести к значительной ошибке всего метода оценки несущей способности конструкции.

В работе дана оценка коэффициента широкополосности случайного процесса нагружения транспортируемой конструкции в зависимости от типа дорожного покрытия и скорости движения. В качестве коэффициента широкополосности случайного процесса нами принято отношение количества экстремальных значений случайной функции к числу точек её пересечения с нулевым уровнем во всём процессе изменения рассматриваемой функции. Число указанных характерных точек изменения случайной функции определялось на основе обработки графиков натурных измерений, описанных выше.

Описание методики определения спектральных характеристик случайного процесса нагружения конструкции, а именно, величины математического ожидания, его среднеквадратического отклонения (дисперсии), частоты и плотности вероятности возникновения максимальных значений напряжения, а также коэффициента широкополосности, дано в работе [4].

На рис.1, в частности, для брусчатого типа покрытия дороги приведены статистические кривые изменения плотности вероятности возникновения максимальных значений нормального случайного напряжения, действующего в опасном сечении конструкции, в зависимости от скорости движения автомобильного транспорта.

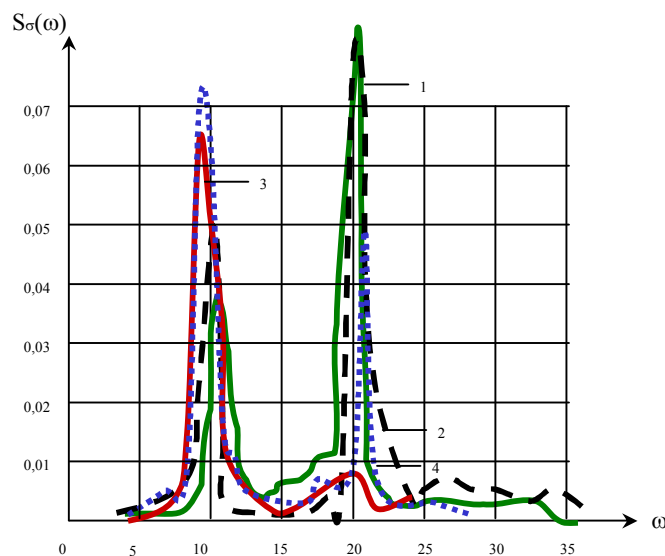


Рис.1. Плотность вероятности возникновения максимальных значений случайного нормального напряжения в опасном сечении конструкции при е, транспортировке по дороге с брусчатым покрытием. Цифры 1-4 на графиках соответствуют скоростям движения транспорта $V=4;8;12;16$ м/с

На рис.2 приведено семейство кривых, отражающих влияние типа дорожного покрытия на плотность вероятности возникновения максимальных нормальных напряжений в опасном сечении конструкции, когда неизменной остаётся скорость движения транспорта. Анализ этих кривых показывает, что частота возникновения максимальной величины нормального напряжения, действующего на конструкцию, для рассмотренных здесь типов покрытия автомобильных дорог изменяется преимущественно в пределах $f=0,3...17$ Гц. Полученный результат имеет важное значение в том смысле, что именно в указанном диапазоне изменения частот переменного нагружения, как правило, исследованы мало- и многоцикловые усталостные свойства композитных материалов и накоплен большой объём экспериментальных данных. Таким образом, указанный объём экспериментальных данных может быть эффективно использован для приближённой оценки повреждаемости транспортируемой конструкции за период её длительной эксплуатации.

В настоящей работе установлено, что отклонение максимальных значений плотности вероятности случайных напряжений происходит в сторону стохастической области больших значений частот, причём наблюдается существенное изменение форм энергетических спектров силового воздействия.

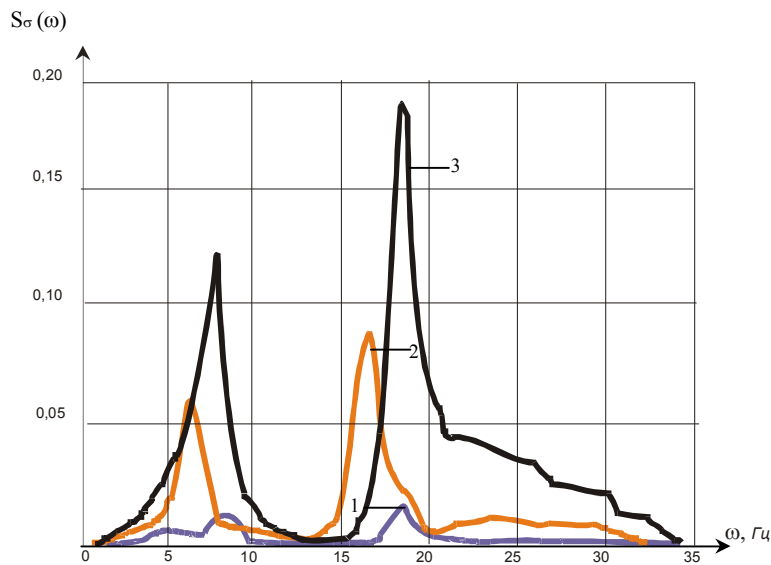


Рис.2. Влияние типа дорожного покрытия на плотность вероятности возникновения максимальных значений случайного нормального напряжения в опасном сечении транспортируемой конструкции. Цифры 1-3 на графиках соответствуют асфальтовому, брусчатому и грунтовому типам покрытия дороги

Анализ экспериментальных данных показывает, что значение коэффициента широкополосности случайного процесса в зависимости от скорости движения транспортного средства и типа дорожного покрытия колеблется в пределах 1,1...2,1.

Формы статистических кривых изменения плотности вероятности максимальных напряжений указывают на то, что высота и положение пиков графиков спектров определяются динамической массой подвижного средства и запаздыванием моментов времени достижения своих максимальных значений параметров, определяющих инерционные свойства транспортируемой конструкции и обусловленных неровностями дорожного покрытия, влияние которых, в свою очередь, зависит от скорости движения.

Таким образом, в исследованных нами режимах транспортировки конструкций особенность возникновения случайных напряжённых состояний состоит в том, что, строго говоря, рассматриваемые здесь случайные процессы по характеру не являются узко- или широкополосными. Значение коэффициента широкополосности, который, как известно, является важнейшим критерием выражения сложности структуры напряжённого состояния случайного процесса нагружения, определяется формой изменения плотности вероятности рассматриваемого явления и её частотным спектром (составом). Исследование показывает, что в рассмотренных нами динамических системах, подвергшихся случайным процессам нагружения, спектр частот силового воздействия ограничивается достаточно узкой областью колебаний, верхний предел которой не превышает примерно 20 Гц.

Случайные нагружения с низкой частотой характерны, например, для конструкций сельскохозяйственного машиностроения, в частности для автомобильных систем.

На рис.3 приведены некоторые кривые из полученных зависимостей $\beta \sim V$ (цифры 1-3 соответствуют дорогам: асфальт, асфальто-бетон и грунт).

В настоящей работе исследовано также изменение величины случайного изгибающего момента, возникающего в опасном сечении транспортируемой конструкции из композитного материала, в зависимости от типа покрытия автомобильной дороги и скорости движения транспорта. На рис.4, в частности, приведены результаты исследования, соответствующие грунтовому типу покрытия дороги.

Как уже отмечалось, в рассматриваемых нами случайных процессах силового воздействия преобладают такие переменные нагружения, частота которых большей частью не превышает 20 Гц. Как было показано нами в ранее опубликованных работах и исследованиях других авторов, изменение частоты нагружения даже в несколько раз в пределах так называемой многоциклового усталости незначительно влияет на циклическую прочность материала. Этот экспериментально установленный факт указывает на возможность построения некоторой эмпирической зависимости между параметрами долговечности материалов при повторно-статических, циклических и случайных режимах нагружения.

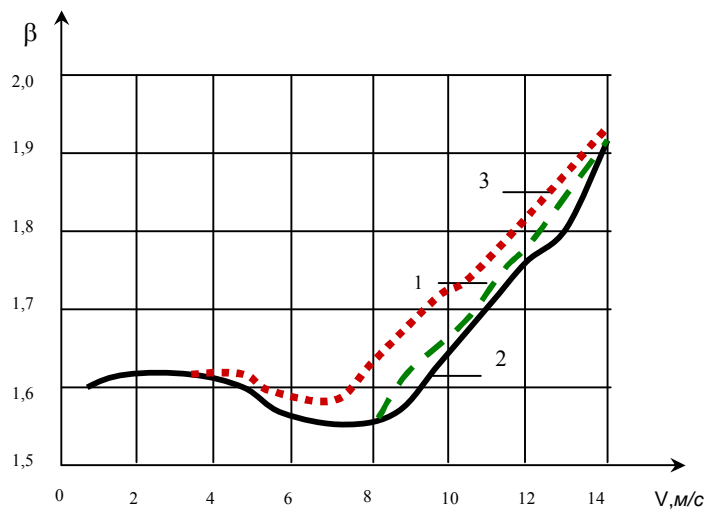


Рис.3. Зависимость коэффициента широкополосности случайного процесса нагружения конструкций от типа дорожного покрытия и скорости движения транспорта. Цифры 1-3 соответствуют дорогам с асфальтным, асфальто-бетонным и грунтовым покрытиями

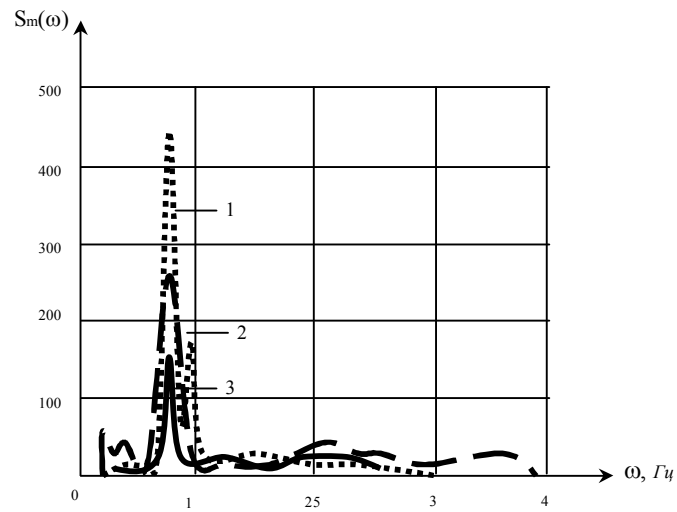


Рис.4. Спектральные плотности изгибающего момента в опасном сечении конструкции при движении по грунтовой дороге. Цифры 1-3 на кривых соответствуют скоростям движения $V=4, 8$ и 12 м/с

Результаты настоящей работы могут быть использованы в экспериментальных исследованиях усталостной прочности и долговечности материалов, в частности, при составлении компьютерных программ нагружения для

стендовых испытаний, эквивалентно отражающих разнообразие реальных условий силового воздействия на машины и механизмы за период их длительной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макеев В.П., Гриненко Н.И., Павлюк Ю.С.** Статистические задачи динамики упругих конструкций. – М.: Наука, 1984. – 250с.
 2. **Минасян Р.С.** Применение методов статистической динамики нелинейных систем к задачам диагностики рабочих органов почвообрабатывающих машин // Научные труды АрмСХА. Серия ТН. – Ереван, 2000. – Вып.4.
 3. **Гаспарян С.А., Саркисян Н.Н., Шемян Л.А.** О статистических моделях долговечности при случайном нагружении с пиковыми перегрузками // Известия НАН РА. Механика. – 2004. – Т. 57, No.3.- С.59-65.
 4. **Саркисян Н.Н.** Спектральные характеристики нагруженности элементов конструкций при случайном нагружении // Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН. – 2000. – Т.53, No.1. – С. 22-27.
- ЕГУАС. Материал поступил в редакцию 25.06.2005.

Ն.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ն.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՃԱՆԱՊԱՐՀԱԾԱԾԿՈՒՅԹԻ ՏԵՍԱԿԻ ԵՎ ՇԱՐժՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՓՈԽԱԴՐՎՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՊԱՏԱՀԱՎԱՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՏԱՐԲԱՊԱՏԿԵՐԻ ՀԱՃԱԽԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱՊԻ ՎՐԱ

Հետազոտված է ճանապարհածածկույթի տեսակի (բնահող, չարսվակասալ, ասֆալտ և ասֆալտաբետոն) և շարժման արագության (5, 10, 15, և 20 մ/վ) ազդեցությունը կոմպոզիտային նյութից պատրաստված փոխադրվող կառուցվածքի վտանգավոր հատույթում ծագող առավելագույն նորմալ պատահական լարումների վիճակագրական բաշխման տարրապատկերի հաճախականության կապի և որոշ այլ բնութագրիչների փոփոխության վրա: Ցույց է տրված, որ արտաքին ուժային ազդեցության հաճախությունը, պայմանավորված ճանապարհի պատահական անհարթություններով և շարժման արագությամբ, փոփոխվում է 0,3...17 Հց հաճախությունների միջակայքում, ընդ որում ստոխաստիկ բաշխման տարրապատկերը շեղված է լարման առավելագույն արժեքների կողմը: Մասնավորապես, կառուցված են պատահական լարումների ծագման հավանականության խտության ստոխաստիկ կորերը հետազոտության վերը նշված պարամետրերի փոփոխման դեպքում: Սահմանված են պատահական գործընթացի լայնաշերտության գործակցի փոփոխության տիրույթները:

Առանցքային բաներ. վտանգավոր հատույթ, նորմալ լարում, հաճախական կապ, ճանապարհածածկույթ, ծող մոմենտ:

N.E. SARGSYAN, N.N. SARGSYAN

INFLUENCE OF THE ROADWAY COVERING TYPE AND RATE OF MOTION ON STATISTICAL DISTRIBUTION SPECTRUM FREQUENCY DEPENDENCE OF TRANSPORTED STRUCTURE RANDOM STRESSES

The roadway covering type (ground, cube, asphalt and asphalt concrete) and the rate of vehicle motion influence (approximately 5, 10, 15 and 20 m/sec) on frequency dependence changing and other major spectrum characteristics of statistical distribution of normal maximum stress values in dangerous structure section made of composite material is studied. It is shown that the frequency of external power action leading to random uneven roadway covering and the rate of traffic is changing within 0,3...17 Hz, displacing the spectrum to the stochastic region of maximum stresses. The statistical curves for density changing of random stress arising probability for varying the abovementioned parameters are particularly constructed. The area of value changing the bandwidth-duration factor reflecting the structure complexity of the random loading process is established.

Keywords: dangerous section, normal stress, roadway covering, bending moment.

А.Р. ПАПОЯН

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ

Разработан метод расчета геометрических параметров опоры скольжения, имеющей рабочую поверхность формы параболоида. Предложенная геометрическая форма подшипника скольжения позволяет предотвратить протекание смазывающей жидкости в осевом направлении.

Ключевые слова: опора скольжения, форма поверхности, параболоид.

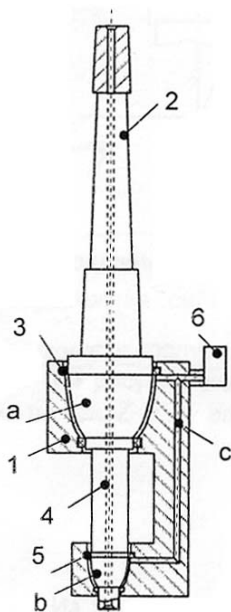


Рис. 1. Веретено с опорами скольжения

В текстильном производстве широко используются высокоскоростные роторные системы для осуществления технологического процесса прядения и кручения. В частности, в прядильно-крутильном производстве применяются веретена, частота вращения которых достигает $15000 \dots 18000 \text{ мин}^{-1}$. В поисках возможностей дальнейшего повышения частоты вращения веретен, что необходимо при увеличении производительности прядильных и крутильных машин, разрабатываются новейшие конструкции. При повышении частоты вращения шпинделя веретена возникает ряд проблем, связанных со снижением ресурса работы подшипниковых опор шпинделя, повышением уровня шума излучаемым веретеном и т.д. Для решения этой проблемы, в первую очередь, необходимо совершенствовать конструкции подшипниковых опор шпинделя веретена. В частности, для снижения уровня шума можно переходить на подшипники скольжения, которые, безусловно, «шумят» меньше, чем подшипники качения. На рис. 1 представлена конструктивная схема прядильно-крутильного веретена с опорами скольжения [1]. Опорный узел веретена состоит из

неподвижного корпуса 1, в который на двух опорах скольжения установлен полый шпиндель 2. Рабочие поверхности «а» и «б» подшипников скольжения нецилиндрические. На шейках шпинделя и в корпусе опоры эти поверхности имеют определенную геометрическую форму. Подшипники работают на тонкой постоянной масляной пленке. Подача масла в подшипники скольжения осуществляется от накопителя 6 через каналы «с». В положении останова шпинделя утечку масла останавливают уплотнительные манжеты 3 и 5.

Так как ось шпинделя веретена расположена вертикально, возникает проблема сохранения масляного слоя в подшипниковой опоре и предотвращение утечки масла из опоры при вращении шпинделя. Этот вопрос можно решить применением соответствующих уплотнителей. Однако данный путь решения проблемы не единственный и не самый лучший. Существует второй путь решения проблемы, при котором выбором соответствующей геометрической формы рабочей поверхности опоры скольжения можно минимизировать утечку масла.

Для этого необходимо обеспечить условие равновесия масляной капли в подшипнике, когда она вращается вокруг оси шпинделя веретена с определенной угловой скоростью ω . Отметим, что масляная капля получает движение в результате вязкости масла при вращении шпинделя веретена со скоростью $\omega_{ш}$. Геометрическую форму поверхности подшипника скольжения можно получить из следующих соображений.

Допустим, капля масла с элементарной массой Δm вращается вокруг оси Z со скоростью ω (рис.2 а). При этом в плоскости осевого сечения подшипника (рис. 2 а) на нее будут действовать сила тяжести $\vec{P}$, центробежная сила $F_{ц} = \Delta m \omega^2 x$ и нормальная сила воздействия от поверхности корпуса $\vec{N}$.

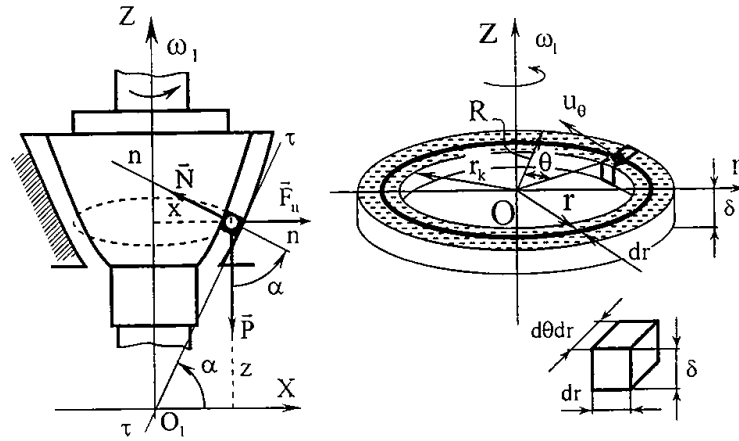


Рис.2. Расчетная схема опоры

Из рисунка видно, что условие равновесия капли (суммы проекций сил по оси Z и X равны нулю) можно написать в виде

$$m\omega^2 x - N \sin \alpha = 0, \quad (1)$$

$$N \cos \alpha - P = 0.$$

Из этих уравнений, учитывая, что $P = mg$, где g - ускорение свободного падения, получим

$$\omega^2 x = g \tan \alpha. \quad (2)$$

Так как $\operatorname{tg} \alpha$ - это производная функции кривой сечения поверхности опоры по x , имеем $\omega^2 x = g dy / dx$, откуда

$$y = \frac{\omega^2}{2g} x^2 + C, \quad (3)$$

где C - постоянная интегрирования, которую находим из начальных условий.

Полученная кривая - парабола, при вращении которой относительно оси Z образуется параболоид. Следовательно, геометрическая форма поверхности подшипника скольжения должна быть параболоидом, чтобы можно было обеспечить уравнивание масляных капель в осевом направлении шпинделя. При этом параметры параболоида зависят от скорости вращения масла в опоре. Очевидно, что скорость вращения капли в опоре зависит от частоты вращения шпинделя веретена. Для нахождения этой связи рассмотрим схему, представленную на рис.2 б.

При вращении шпинделя капли масла движутся по окружности. Если из тонкого слоя масляной пленки выделить элементарный слой высотой δ , то можно его представить в виде кольца и рассмотреть движение жидкости (масла) в элементарном кольце. Движение несжимаемой жидкости, при отсутствии продольных градиентов давления, можно описать дифференциальными уравнениями в системе цилиндрических координат (r, θ, z) [2]:

$$\frac{d}{dr} \left[r^2 \mu \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r} \right) \right] = 0, \quad (4)$$

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{u_\theta^2}{r}, \quad (5)$$

где r - текущий радиус в элементарном цилиндре; θ - текущий центральный угол положения элементарной частицы; z - координата расположения кольца по оси Z ; u_θ - окружная скорость элементарной частицы масла; μ - коэффициент вязкости масла; p - давление масла в радиальном направлении; ρ - плотность масла.

Если принять, что $\mu = \text{const}$, то система уравнений (4), (5) существенно упрощается и принимает вид

$$\frac{\partial^2 u_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r^2} = 0. \quad (6)$$

Интегрируя уравнение (6), получим решение для определения скорости жидкости в общей форме:

$$u_\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r} \quad (7)$$

и выражение для определения давления жидкости:

$$p = \rho \int_{r_k}^R \frac{u_\theta^2}{r} dr, \quad (8)$$

где r_k и R - внутренний и наружный радиусы элементарного цилиндра. Постоянные интегрирования C_1 и C_2 получим из предположения, что внутренний граничный слой масла, который контактирует со шпинделем, вращается с его же скоростью - ω_1 , а наружный граничный слой, который контактирует с неподвижным корпусом подшипника, также неподвижен. Следовательно, граничные условия задачи можно записать в следующем виде:

- при $r = r_k$:

$$u_\theta = \omega_1 r_k ; \quad (9)$$

- при $r = R$:

$$u_\theta = \omega_2 R = 0 . \quad (10)$$

Из выражения (7) с учетом (9) и (10) получим систему алгебраических уравнений относительно C_1 и C_2 , после решения которой имеем

$$C_1 = -\omega_1 \frac{r_k^2}{R^2 - r_k^2}, \quad C_2 = \omega_1 \frac{R^2 r_k^2}{R^2 - r_k^2}.$$

С учетом этих значений после преобразования (7) получим

$$u_\theta = \frac{\omega_1 r_k^2 (R^2 - r^2)}{r(R^2 - r_k^2)}.$$

Так как $\omega = u_\theta / r$, получим

$$\omega = \frac{\omega_1 r_1^2 (r_2^2 - r^2)}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)}, \quad (11)$$

где ω_1 - скорость вращения шпинделя; r_1 и r_2 - радиусы шейки шпинделя и гнезда опоры в рассматриваемом сечении.

С другой стороны, движение масла в опоре должно быть ламинарным и, следовательно, удовлетворять следующему условию [3]:

$$T_a = \frac{\omega_1}{\nu} b^{3/2} r^{1/2}, \quad (12)$$

где ν - кинематическая вязкость масла; $b = r_2 - r_1$ - радиальный зазор в подшипнике; T_a - число Тейлора (для ламинарного движения $T_a \leq 41,2$).

Итак, с помощью формул (2) и (3) можно рассчитать скорость вращения частицы масла, с помощью (1) - параметры параболы.

Пример расчета геометрических параметров поверхности подшипника скольжения.

Допустим, скорость вращения шпинделя составляет $\omega_1 = 1000 \text{ с}^{-1}$, подшипник смазывается маслом марки И-20А, кинематическая вязкость которого $\nu = 23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [4], конструктивные размеры подшипника равны $r_1 = 0,007 \text{ м}$, $r_2 = 0,0075 \text{ м}$.

Из расчетов получаем

$$T_a = \frac{1000}{23 \cdot 10^{-6}} (0.0075 - 0.007)^{3/2} (0.007)^{1/2} = 40,7 \leq 41,2.$$

То есть, условие ламинарности течения масла удовлетворено. Рассчитаем угловую скорость вращения частицы масла:

$$\omega = \frac{1000 \cdot 7^2 (7,5^2 - 7,25^2)}{7,25^2 (7,5^2 - 7^2)} = 474 \text{ с}^{-1}.$$

Следовательно, имея начальное значение постоянной C , можно рассчитать параметры параболы. Например, если $y = 0$, когда $x = 0,006$, из расчетов получим $C = 0,4$ (допустим, $g = 10 \text{ м/с}^2$).

Искомое уравнение параболы имеет вид

$$y = 11234x^2 - 0,4.$$

Таким образом, разработанный метод позволяет рассчитать геометрические параметры опоры скольжения, имеющей рабочую поверхность формы параболоида. Предложенная геометрическая форма подшипника скольжения позволяет предотвратить протекание смазывающей жидкости в осевом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 831, А2. Республика Армения. Опорный узел прядильно-крутильного веретена / **А.Р. Папоян** - Оубл. 22.06.2000. Пром. собственность. - №2. -132 с.
2. **Милн – Томсон Л.М.** Теоретическая гидродинамика. - М.: Мир, 1964.- 660 с.
3. **Болгарский А.В.** и др. Термодинамика и теплопередача. - М.: Высшая школа, 1975. – 496 с.
4. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя. - М.: Машиностроение, 1978. – 557 с.

ГФ ГИУА. Материал поступил в редакцию 19.06.2004.

Ա.Ր. ՊԱՊՈՅԱՆ

ՊԱՐԱԲՈԼԱՅԻՆ ՄԱՀՔԻ ՀԵՆԱՐԱՆՆԵՐԻ ԵՐԿՐԱԶՍՓԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Մշակված է պարաբոլիդի տեսք ունեցող աշխատանքային մակերևույթով սահքի առանցքակալների երկրաչափական մեթոդ: Սահքի առանցքակալի առաջադրված երկրաչափական ձևը թույլ է տալիս կանխել յուղող հեղուկի արտահոսքը առանցքային ուղղությամբ:

Առանցքային բառեր. սահքի հենարան, մակերևույթի ձև, պարաբոլիդ:

A.R. PAPOYAN

GEOMETRICAL PARAMETER DESIGN OF PARABOLIC SLIPPING SUPPORT

A method of geometrical parameter design of slipping support having working surface of a paraboloid form is developed. The proposed geometrical form of the slipping bearing allows to prevent lubricating liquid flow into axis direction.

Keywords: slipping support, surface form, paraboloid.

З.А. БЕЛЛУЯН, С.З. БЕЛЛУЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ПРИ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЯХ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ И СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ

Предложена методика выбора параметров форсированного режима и обоснованы верхние границы факторов при проведении ускоренных испытаний подшипниковых узлов синхронных генераторов мощностью до 100 кВт. Получено уравнение регрессии для подшипникового узла. Определены коэффициенты ускорения генераторов, исходя из их значений для отдельных узлов.

Ключевые слова: ускоренные испытания, подшипниковые узлы, температура, вибрация, нагрузка, уровень, дисбалансные массы, коррекция ротора, регрессия, матрица, коэффициент ускорения.

Испытания синхронных генераторов на надежность обычно проводятся форсированием основных воздействующих факторов. Такие испытания называются ускоренными (или форсированными).

В настоящее время имеется ряд работ, в которых рассмотрены проблемы ускоренных испытаний некоторых узлов генераторов: блока регулирования напряжения, обмоток статора и ротора, контактно-щеточного узла [1,2].

Данная работа посвящена разработке методики ускоренных испытаний на надежность подшипниковых узлов синхронных генераторов мощностью до 100 кВт в составе генератора, а также установлению коэффициента ускорения генераторов в целом.

В условиях эксплуатации генераторы различного назначения и исполнения подвергаются воздействиям таких различных факторов, как температура, влажность, запыленность, ударные нагрузки и т.д. [2].

Исходя из предварительных исследований, а также экономических соображений и сложности проведения экспериментов, при ускоренных испытаниях на надежность работы отдельных основных узлов генератора в качестве форсирующих выбраны факторы, приведенные в табл.1. Их выбор произведен с учетом максимальной степени влияния ужесточенного фактора на скорости разрушения и старения узлов и возможности их воспроизводства при работе узлов в составе генератора.

При проведении испытаний в ускоренных режимах, кроме форсируемых, воспроизводятся также такие значимые факторы, как влажность, запыленность окружающей среды, ударные (транспортные) нагрузки. Уровни и продолжительность воздействия этих факторов, а также режимы работы генераторов при проведении исследований (кроме ускоренных режимов) соответствуют типовым реальным условиям эксплуатации генераторов. При проведении факторного эксперимента уровни относительной влажности, запыленности окружающего воздуха и ударных нагрузок не варьируются (остаются номинальными).

Таблица 1

Форсируемые факторы для основных узлов генератора

Наименование узла	Форсируемые факторы
1. Подшипниковый узел	Температура, вибрация, нагрузка
2. Блок регулирования напряжения	Температура, вибрация
3. Контактно-щеточный узел	Вибрация, нажатие щеток
4. Обмотки статора и ротора	Температура, вибрация

В эксперименте нагрузкой является приведенная нагрузка подшипника, которая изменена в пределах от номинального значения до двойного. Таким образом, осуществлен выбор факторов, включаемых в факторный эксперимент.

Для подшипникового узла генератора задача нахождения максимального уровня форсирования решается анализом влияния предельных величин нагрузок, приводящих к отказу без изменения физики разрушения [2]. Величина максимальной нагрузки на подшипник определяется исходя из максимально допустимого контактного напряжения [2]. Температура подшипникового узла обуславливается температурой обмотки ротора, температурой окружающей среды и ее повышением вследствие трения при вращении. Температура подшипника не должна превышать температуру каплепадения смазки и температуру отпуска материала деталей подшипника. Расположение дисбалансных масс в плоскостях коррекции ротора должно отвечать условиям, указанным в [3].

Подшипниковые узлы испытываются в рабочем режиме генератора. Для получения дополнительных данных в качестве первичного двигателя используется генератор, работающий в двигательном режиме. Перед испытаниями генератор (сочлененный с двигателем) устанавливается и жестко крепится к амортизированной платформе.

Во время проведения ускоренных испытаний подшипниковых узлов были приняты следующие критерии отказов: заклинивание подшипника; резкое увеличение температуры, шума и вибрации сверх установленных уровней; превышение температуры наружного кольца подшипника более 150°C .

В ходе испытаний выявлены следующие отказы и неисправности: расслабление крепежа подшипниковых крышек, вытекание и высыхание смазок – 29 %; повышенный шум в подшипнике – 8 %; разрушение сепаратора – 39 %; стук в подшипнике – 4 % [3]. Ускорение испытаний достигается за счет форсирования режима работы подшипника (увеличение нагрузки, температуры и вибрации). Контроль температуры подшипникового узла производится с помощью термопар, встроенных в подшипниковые щиты. Для подшипникового узла используется матрица ортогонального композиционного планирования для трех факторов (табл. 2) [2-4].

Таблица 2

Матрица ортогонального центрального композиционного планирования
для трех факторов подшипникового узла

Элементы плана эксперимента	Номер опыта	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃
План полного факторного эксперимента	1	+	-	-	-
	2	+	+	-	+
	3	+	-	+	-
	4	+	+	+	-
	5	+	-	-	+
	6	+	+	-	-
	7	+	-	+	+
	8	+	+	+	+
“Звездные точки”	9	+	+1,215	0	0
	10	+	-1,215	0	0
	11	+	0	+1,215	0
	12	+	0	-1,215	0
	13	+	0	0	+1,215
	14	+	0	0	-1,215
Нулевая точка	15	+	0	0	0

Продолжение табл.2

Номер опыта	x' ₄	x' ₅	x' ₆	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	Наработка на отказ, ч
1	0,27	0,27	0,27	+	+	+	10000
2	0,27	0,27	0,27	-	+	-	3115
3	0,27	0,27	0,27	-	+	-	4631
4	0,27	0,27	0,27	+	-	-	2110
5	0,27	0,27	0,27	+	-	-	3771
6	0,27	0,27	0,27	-	-	+	4238
7	0,27	0,27	0,27	-	-	+	5707
8	0,27	0,27	0,27	+	+	+	1848
9	0,75	-0,73	-0,73	0	0	0	2483
10	0,75	-0,73	-0,73	0	0	0	6371
11	-0,73	0,75	-0,73	0	0	0	3391
12	-0,73	0,75	-0,73	0	0	0	5463
13	-0,73	-0,73	0,75	0	0	0	3534
14	-0,73	-0,73	0,75	0	0	0	5420
15	-0,73	-0,73	-0,73	0	0	0	4427

Примечание. x₁ – нагрузка, x₂ – температура, x₃ – вибрация.

$$x'_4 = x_1^2 - 0,73; \quad x'_5 = x_2^2 - 0,73; \quad x'_6 = x_3^2 - 0,73.$$

Испытаниям на надежность были подвергнуты 16 генераторов серии ОС (8 генераторов типа ОС-71 мощностью 16 кВт и 8 генераторов типа ОС-72 мощностью 30 кВт). В процессе испытаний зафиксированы как внезапные, так и износные отказы. В табл.3 приведены зачетные отказы подшипникового узла этих генераторов.

Таблица 3

Зачетные отказы подшипникового узла

№	Заводской номер отказавшего генератора (Г), двигателя (Д)	Фактическая наработка генератора, ч, в ускоренном режиме	Общее количество возникших отказов	Возникновение отказов подшипникового узла	Независимые переменные		
					нагрузка x_1	вибрация x_2	температура x_3
1	Г427 (30 кВт)	5169	17	1			
2	Д422 (30 кВт)	5169	14	2	+	+	+
3	Г417 (30 кВт)	2548	6	1			
4	Д420 (30 кВт)	2548	13	-	-	+	+
5	Г416 (30 кВт)	3307	12	2			
6	Д434 (30 кВт)	3307	12	2	+	-	+
7	Г418 (30 кВт)	2083	13	1			
8	Д435 (30 кВт)	2083	6	-	-	-	+
9	Г485 (16 кВт)	5657	5	1			
10	Д478 (16 кВт)	5657	6	2	+	+	-
11	Г479 (16 кВт)	5936	10	2			
12	Д486 (16 кВт)	5936	14	3	-	+	-
13	Г480 (16 кВт)	5707	14	1			
14	Д483 (16 кВт)	5707	11	1	+	-	-
15	Г477 (16 кВт)	6497	15	1			
16	Д481 (16 кВт)	6497	9	2	-	-	-

При испытаниях в качестве выходного параметра выбрана наработка подшипникового узла. Уровни и интервалы варьирования приведены в табл. 4.

По данным табл. 2 определены значения коэффициентов b_i и b_{ij} . Оценка значимости полученных коэффициентов производилась согласно t -критерию (Стьюдента), а проверка адекватности – по критерию Фишера при уровне достоверности 0,95. Для определения дисперсии проводилось 7 параллельных опытов в центральной точке плана.

Таблица 4

Уровни и интервалы варьирования

Независимая переменная	Кодовые обозначения	Уровни варьирования			Интервал варьирования	Независимые переменные в относительных единицах
		-1	0	+1		
Нагрузка	x_1	1,0	1,5	2,0	0,5	$\chi_1 = (\delta_1 - 15)/0,5$
Вибрация, мкм	x_2	45	60	75	15	$\chi_2 = (x_2 - 60)/15$
Температура, °C	x_3	90	110	130	20	$\chi_3 = (x_3 - 110)/20$

После оценки значимости и адекватности коэффициентов получено уравнение, связывающее наработку на отказ подшипникового узла $\hat{O}_{\text{п.а.о.у.}}$ с воздействующими факторами δ_i [3]:

$$T_{\text{под.уз}} = 4644 - 1426x_1 - 853x_2 - 806x_3 + 1021x_1x_2 + 470x_1x_3 - 107x_1^2 - 108x_2^2 - 142x_3^2. \quad (1)$$

По аналогии с подшипниковым узлом генераторов произведены статистически спланированные эксперименты отдельных узлов генераторов. Получены уравнения зависимости показателя надежности (наработки на отказ) от уровней воздействующих факторов для основных узлов генераторов [1,2].

Эти зависимости в виде графиков приведены на рис.1 а,б,в,г,д.

По полученным уравнениям регрессии определяются коэффициенты ускорения испытаний подшипниковых узлов K_Y генераторов в зависимости от уровней воздействующих факторов:

$$K_Y = T_{i_i} / T_{\hat{a}_i}, \quad (2)$$

где $\hat{O}_{i_i}$ и $\hat{O}_{\hat{a}_i}$ – наработки на отказ соответственно при нижних и верхних значениях уровней воздействующих факторов.

Нижний уровень воздействующих факторов соответствует условиям нормальной эксплуатации, заданным в ТЗ или ТУ на генераторы, а верхний – ужесточенному режиму воздействия при ускоренных испытаниях.

Как видно из рис.1, максимальные значения коэффициентов ускорения испытаний для различных узлов генератора существенно отличаются друг от друга. Так, максимальное значение K_Y для обмотки статора при верхних значениях воздействующих факторов достигает 20, а для БРН и подшипникового узла – 12.

Это позволяет произвести при необходимости отдельные ускоренные испытания на надежность отдельных узлов генератора при максимальных значениях коэффициентов ускорения испытаний. Однако практический

интерес представляет проведение ускоренных испытаний генератора в целом.

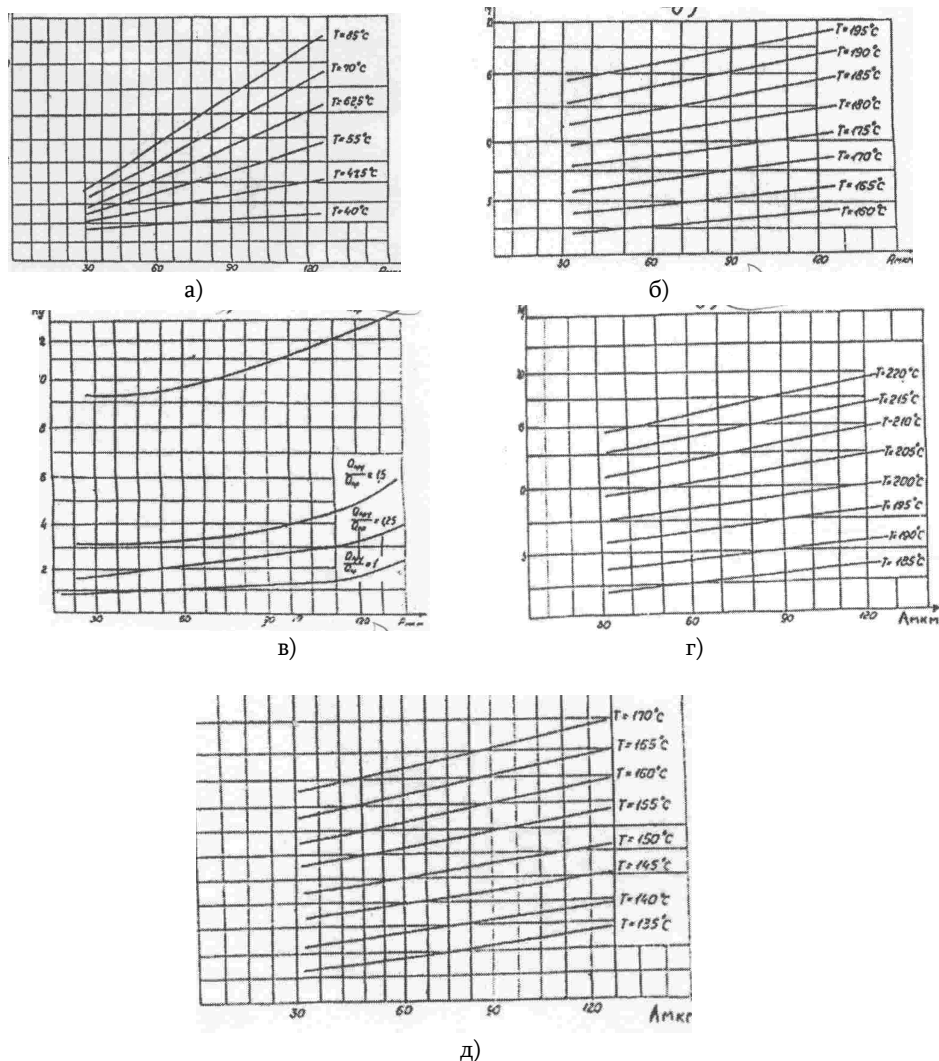


Рис.1. Зависимость коэффициентов ускорения испытания отдельных узлов генераторов от амплитуды вибрации:
а - блок регулирования напряжения, б - обмотки класса изоляции F⁰,
в - подшипниковый узел, г - обмотки класса изоляции H,
д - контактно-щеточный узел

Максимальный коэффициент ускорения имитируется наиболее “слабым”, с точки зрения надежности, узлом генератора. В нашем случае – это блок регулирования напряжения $K_{у.макс} = 9,8$.

Величины наработки на отказ, определяемые по уравнениям регрессии или по рис.1, приводятся к нормальным условиям по формуле

$$T_{Hi} = K_{yi} T_{yi}, \quad (3)$$

где K_{yi} - коэффициент испытания i -го узла; T_{yi} - наработка на отказ i -го узла, определенная при ускоренных испытаниях.

С учетом диапазона изменения воздействующих факторов и коэффициента полинома (1) приходим к выводу, что наиболее существенное воздействие на надежность генераторов оказывают температура, вибрация и нагрузка.

Выводы. Если учесть, что основная часть серийно выпускаемых генераторов мощностью до 100 кВт конструктивно одинакова и изготавливается из одних и тех же конструкционных, изоляционных и механических материалов, то для определения влияния различных уровней внешних воздействующих факторов на надежность генераторов и их подшипниковых узлов формулу (2) можно считать универсальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беллуян З.А.** Ускоренные испытания на надежность обмоток статора и ротора синхронных генераторов // Проблемы прикладной механики. - Тбилиси, 2003. - № 4 (13). - С.98-102.
2. **Отраслевой стандарт** ОСТ 16 0.801.218-84. Машины электрические вращающиеся от 63 до 355 габарита включительно. Методика ускоренных испытаний на надежность. - М.: Стандартэлектро, 1984 / Ответственный исполнитель З.А Беллуян. и др. - 63 с.
3. **Беллуян З.А., Григорян Н.З., Беллуян С.З.** О методике испытаний подшипников для генераторов на безопасность // Стандарты и качество. Партнеры и конкуренты. - М., 2004. - № 5. - С.31-34.
4. **Налимов В.В., Чернова Н.А.** Статистические методы планирования экспериментальных исследований. - М.: Наука, 1965. - 340 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.02.2005.

Զ.Ա. ԲԵԼԼՈՒՅԱՆ, Ս.Զ. ԲԵԼԼՈՒՅԱՆ

ԱՌԱՆՑՔԱԿԱԼԱՑԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑԻ ԵՎ ՄԻՆԽՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՐԱԳԱՑՎԱԾ
ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

Բերված են մինչև 100 կՎտ հզորության գեներատորների առանցքակալային հանգույցի հուսալիության փորձարկումների կատարման ժամանակ ռեժիմի պարամետրերի և նրանց վերին սահմանների ընտրության մեթոդները: Ստացված է այդ հանգույցի ռեգրեսիայի հավասարումը: Որոշված են ինչպես գեներատորի, այնպես էլ նրա առանձին հանգույցների փորձարկումների արագացման գործակիցները:

Առանցքային բառեր. առանցքակալային հանգույց, արագացված փորձարկումներ, ջերմաստիճան, բեռ, դիսբալանսային զանգվածներ, ռեգրեսիա, մատրից, արագացման գործակից, մակարդակ:

Z.A. BELLUYAN, S.Z. BELLUYAN

SOME EXPERIMENTS ON BEARING UNIT WINDINGS OF SYNCHRONIC GENERATORS'
RELIABILITY

The choice of methods for forced regime parameters is proposed and upper borders of factors while providing accelerated experiments in bearing joints of synchronized generators are established.

Keywords: accelerated tests, bearing, nodes, temperatures, vibration, loading, level, disbalance masses, rotor correctness, regression, matriix, acceleration factor.

М.А. ГРИГОРЯН, Т.М. ГРИГОРЯН

О ФАКТОРЕ, ВЛИЯЮЩЕМ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Установлено, что на стойкость абразивного инструмента большое влияние оказывает теплонпряженность процесса резания. Получены аналитические выражения для определения температуры в зоне контакта инструмента. Достоверность теоретических расчетов подтверждена экспериментальными данными.

Ключевые слова: абразивный инструмент, долговечность, процесс правки, тепловые явления.

Срок службы каждого режущего инструмента является одним из основных его качественных показателей. Чем больше работает инструмент, тем выше эффективность его использования. Однако работоспособность инструмента зависит от различных факторов. К важнейшим из них относятся тепловые явления, сопровождающие процесс резания при работе инструмента. Износостойкость и долговечность абразивного инструмента в определенной степени обуславливаются температурой, появляющейся в зоне его контакта с обрабатываемым образцом. Учитывая, что каждое зерно абразивного инструмента подвергается действию высоких температур, вследствие чего твердость и стойкость его уменьшаются, а у алмазных зерен в приповерхностном слое не исключено возникновение температурных напряжений и возможность процессов графитизации алмаза, которые в определенной степени обуславливают процесс разрушения режущих кромок зерен, изучение тепловых явлений при абразивной обработке представляется актуальной задачей.

При абразивной обработке, в частности при правке шлифовальных кругов (ШК) алмазными роликами (АР), каждое зерно их, имея горизонтальную и вертикальную составляющие скорости, перемещаются от одного к другому, совершая микроудары. Для процесса правки ШК с помощью АР характерны дискретное контактирование выступов алмазных, абразивных зерен, металлических и керамических связок в условиях тепловых и механических ударов, а также сложный вид теплообразования и разрушения контактирующих выступов. Теплофизические параметры и механические свойства материалов выступов, их расположение и ориентация, геометрия и условия их ударных встреч приводят к случайному теплообразованию на отдельных пятнах контактов: в одних точках площади контакта ШК и АР возникают высокие локальные температуры, в других – низкие, в отдельных точках температура не возникает. С целью вычисления локальных температур единичных ударно-контактирующих выступов можно принять: тепло, выделенное при единичном ударе, приложено мгновенно; тепло единичного контакта сосредоточено в центре пятна этого контакта; все тепловые источники имеют одинаковые мощности.

Тепловой поток в зоне правки аккумулируется на фактические пятна контактов, расположенные на случайных высотах и расстояниях друг от друга. Шаг контактирующих выступов алмазных зерен значительно превышает размеры площади пятна контакта. При этом источник теплообразования можно считать точечным. С момента, когда алмазное зерно ударно контактируется с единичным выступом абразивного зерна, начинает непрерывно действовать тепловой источник в течение времени t_y их контакта. Уравнение процесса распределения тепла в алмазном зерне на основании [1] имеет вид

$$T = \frac{q_1}{4\pi\lambda R} \psi, \quad (1)$$

где T - температура, K ; q_1 - мощность единичного теплового источника, $Дж.с$; λ - коэффициент теплопроводности, $Вт/(м·K)$; R - радиус воздействия температуры, $м$; ψ - коэффициент теплонасыщения, который посредством функции $\Phi(R/\sqrt{4at})$ интеграла Гаусса определяется как $\psi = 1 - \Phi(R/\sqrt{4at})$; a - температуропроводность, $м^2/с$; t - период выравнивания температуры.

Тепловая мощность q_1 единичного источника определяется отношением тепловой мощности q процесса правки к количеству n_F одновременно контактирующих выступов в зоне резания $q_1 = q/n_F$.

Для сложного процесса правки червячных зубошлифовальных кругов из электрокорунда 24А и эльбора ЛО алмазным роликом из алмазов АС15 при $V_k = 0,44$ м/с, $V_p = 7$ получена эмпирическая формула для определения q_1 в зависимости от модуля m червяка, радиальной подачи S_p и твердости T_b круга:

$$q_1 = e^{5,33} m^{0,57} S_p^{0,96} T_b^{-0,32} n_F^{-1} K_q,$$

где K_q - коэффициент, учитывающий влияние смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ), характеристики ШК, зернистости АР и ШК на q_1 .

Количество n_F контактирующих выступов определяется на основании [2]. После удара алмазным зерном и разрушения абразивного зерна процесс первого контакта данного алмазного зерна завершается, и он некоторое время движется без контактирования. При этом прекращается и действие теплового источника, а алмаз охлаждается до следующей встречи абразивным зерном. Снижение температуры контактной точки при отдыхе алмаза зависит от промежутка времени между первым и вторым контактами и ряда других факторов. Для определения температуры алмаза можно использовать данные [1], представляя ее как сумму температур от отдельных встреч с учетом ее выравнивания в неконтактный период. Если интервал времени с момента окончания первого удара до начала второго удара составляет t_n , то можно считать, что температура алмаза в момент начала второго удара является действием некоторого фиктивного теплового источника, которое длится $t_y + t_n$, и фиктивного стока, длящегося в течение t_n с момента окончания первого удара. Тогда температуру алмаза после завершения n_b ударов на длине дуги контакта можно определить по формуле (1), где

$$\Psi = \sum_1^{n_b} \{ [1 - \Phi(R/\sqrt{4an_b(t_y + t_H)})] - [1 - \Phi(R/\sqrt{4a[n_b(t_y + t_H) - t_H]})] \}. \quad (2)$$

Количество n_b вероятных встреч алмазного зерна с абразивными зернами на протяженности длины дуги контакта за один оборот АР определяется следующим образом. Каждое алмазное зерно, внедряясь в ШК, работает в течение времени τ , царапая на поверхности ШК дугу длиной ℓ величиной $\ell = \tau V$ (V - скорость правки), и выходит из ШК. Если количество выступов, приходящихся на единицу длины рабочей поверхности ШК на данном уровне его профиля, составляет n_1 , то на длине ℓ будет $n_b = n_1 \ell$ выступов. Число n можно определить на основании [3]

$$n = n_c \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\beta - 1)!}{(\beta - 1 - m)!m!(\alpha + m)} \left(\frac{y}{H} \right)^{\alpha + m},$$

где n_c - число всех выступов на длине ℓ профиля поверхности ШК; Γ - гамма - функция; α, β - параметры бета-распределения; y - уровень профиля ШК; H - высота профиля ШК. Продолжительность t_y удара можно определить с использованием данных [4]. Как установлено [5], при поперечном и косом соударении зерен

$$t_y = 3,13(M^2 / V_y K)^{1/5}.$$

Здесь M - приведенная масса ударяющихся зерен, кг; V_y - скорость удара; K - коэффициент, зависящий от свойств материалов зерен и кривизны их поверхностей.

При продольном центральном ударе зерен АР и ШК, имеющем место при вибрационной правке, время t_y удара определяется как продолжительность двойного пробега упругой волны в материале длинного зерна $t_y = 2\ell_3 / a_3$ (ℓ_3 - длина зерна, м; a_3 - скорость звука в материале зерна, м/с).

Время t_H между двумя последующими контактами алмазного зерна зависит от скорости V правки и шага t выступов абразивных зерен ШК $t_H = t / V$. Учитывая, что на длине ℓ существует n_b штук выступов абразивных зерен, то их шаг будет равен $t = \ell / n_b$. Следовательно, время t_H можно определить следующим образом: $t_H = \ell / n_b V$.

Произведены расчеты температур по формуле (1) в условиях правки червячных кругов 24A12CM17K5 с модулем $3 \cdot 10^{-3}$ м алмазным роликом AC15 250/200 (скорость ШК - 0,44 м/с, скорость АР - 7 м/с). Экспериментальные данные: при $S_p = 0,02 \cdot 10^{-3}$ м/ход - $q = 70$ Дж/с, при $S_p = 0,06 \cdot 10^{-3}$ - $q = 210$. Расчетные данные: 1) $S_p = 0,02 \cdot 10^{-3}$ - $t_y = 0,53 \cdot 10^{-7}$ с; $t_H = 343 \cdot 10^{-7}$ с; $\ell = 3,05 \cdot 10^{-3}$ м, $\tau = 0,41 \cdot 10^{-3}$ с; $n_b = 12$ шт; $q_1 = 7,6$ Дж/с;

2) $S_p = 0,06 \cdot 10^{-3} - t_y = 0,53 \cdot 10^{-7} \text{ с}$; $t_H = 360 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; $\ell = 4,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\tau = 0,41 \cdot 10^{-3} \text{ с}$;
 $n_b = 16,4 \text{ шт}$; $q_1 = 9,63 \text{ Дж/с}$.

Как видно, с увеличением количества n_b встреч алмаза с абразивными зернами наблюдается возрастание температуры алмаза (рис.1). При одинаковой мощности всех источников температура алмазного зерна обуславливается температурой первого удара.

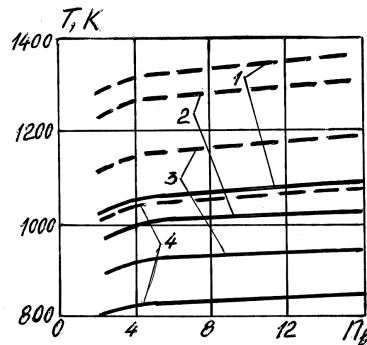


Рис.1. Зависимость температуры T алмаза от количества n_b его ударов в течение работы в зоне контакта при правке червячного круга 24A12CM17K5 $m=3(10^{-3} \text{ м алмазным роликом AC15 250/200}$: 1 – $R=1 \text{ мкм}$; 2 – $R=2$; 3 – $R=3$;
 4 – $R=4$ (сплошные линии – $S_p=0,02(10^{-3} \text{ м/ход}$, пунктирные линии – $0,06(10^{-3})$)

Подтверждением полученных аналитических расчетов служат данные экспериментальных исследований температуры правки. Использование бесконтактного метода определения температур, основанного на измерении теплового излучения из зоны правки через канал, предварительно сделанном в теле ролика (рис.2), показало, что температура контактной зоны достигает 1500 К (рис.3), что согласуется с теоретическими данными.

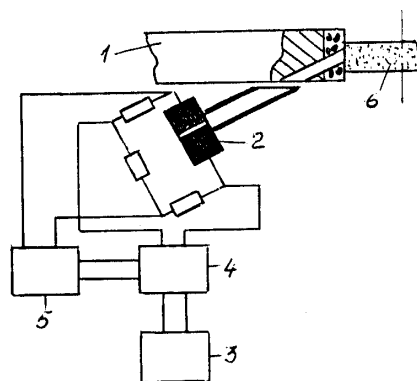


Рис.2. Схема измерения температуры при правке: 1 – ролик; 2 – датчик фотосопротивления; 3 – осциллограф; 4 – усилитель; 5 – блок питания; 6 – круг

Таким образом, ранее полученные экспериментальные данные об увеличении удельного расхода инструмента и радиальной подачи [6] можно объяснить тем, что при этом увеличивается температура в контактной зоне инструмента, что и является основной причиной увеличения износа и уменьшения срока службы инструмента.

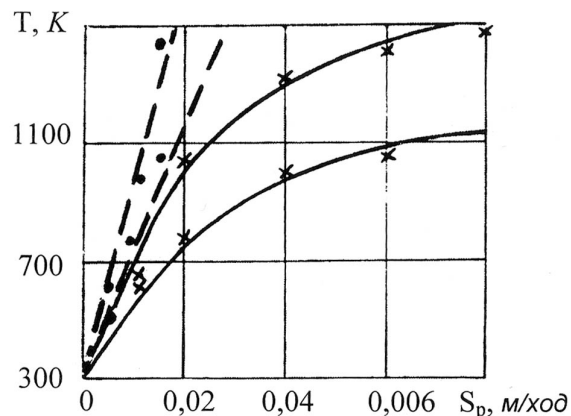


Рис.3. Зависимость поверхностной температуры T от радиальной подачи S_r ролика при правке кругов: X – 24A25CM27K5; (- LO12CM1K5 (ролик алмазный зернистостью 400/315, сплошные линии – с СОЖ; пунктирные линии – без СОЖ)

На основании вышеизложенного можем сделать следующие выводы:

- стойкость абразивного инструмента в большей степени обусловлена тепловыми явлениями процесса резания;
- высокая долговечность абразивного инструмента достигается способами, обеспечивающими низкую теплонапряженность процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.
2. Григорян М.А. Некоторые особенности контактирования процесса правки // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2001. – Т.54, №3. – С. 334-340.
3. Григорян М.А. Исследование рельефов поверхностей алмазного ролика и шлифовального круга // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т.53, №3. – С. 304-309.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М.: Физматгиз, 1977. – 223 с.
5. Григорян М.А. Исследование динамической работы алмазного зерна при правке // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2000. – Т.53, №2. – С. 147-151.

6. Григорян М.А. Технологические возможности повышения производительности процесса правки шлифовальных кругов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2003. – Т.56, 13. – С. 372-378.

Общественная организация “Хрупкие материалы” Материал поступил в редакцию 12.03. 2005.

Մ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Տ.Մ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀԱՎԱՆՑՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՒՄԻ ՄԱՍԻՆ

Հիմնավորվել է, որ հղկանյութային գործիքների կայունության վրա մեծ ազդեցություն է գործում կտրման գործընթացի ջերմալարվածությունը: Մոդելավորման հիման վրա ստացվել է տեսական արտահայտություն կտրման տիրույթում ջերմաստիճանի որոշման համար: Ստացված տեսական հաշվարկների հավաստիությունը հիմնավորվել է փորձական տվյալների հետ համեմատմամբ:

Առանցքային բաներ. հղկանյութային գործիք, երկարակեցություն, ուղղման գործընթաց, ջերմային երևույթներ:

M.A. GRIGORYAN, T.M. GRIGORYAN

ON FACTORS INFLUENCING DURABILITY OF ABRASIVE TOOLS

It is established that the cutting process of thermal stress level is greatly influenced by the durability of the abrasive tool. The analytical expressions for specifying the temperature in the tool contact zone are obtained. The reliability of obtained theoretical calculations are verified by their comparison with experimental data.

Keywords: abrasive tool, durability, dressing process, thermal effects.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Մ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

XBΓ ՄԱԿՆԻՇԻ ՊՈՂՊԱՏԻ ՄԽՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՆԱԻՐԻՏԱՅԻՆ ԼԱՏԵՔՍԻ ԶՐԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ

Փորձի մաթեմատիկական պլանավորման մեթոդով հետազոտվել է բարձր լիամիավելիությամբ ոչ ջերմակայուն XBΓ մակնիշի գործիքային պողպատի միման գործընթացը նաիրիտային լատեքսի ջրային լուծույթում, որի արդյունքում մշակվել է միման նոր միջավայր: Ցույց է տրված, որ այն լիովին կարող է փոխարինել նախկինում նույն նպատակի համար օգտագործվող յուղին:

Առանցքային բառեր. պողպատ, լատեքս, լուծույթ, միման, կարծրություն, լիամիավելիություն, մածուցիկություն, կոնցենտրացիա:

Ժամանակակից տեխնիկայի զարգացումն անմիջականորեն կապված է նոր նյութերի և տեխնոլոգիաների մշակման ու ներդրման հետ: Այս գործընթացում արտադրատեսակների ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունների լավացման նպատակով կարևոր նշանակություն ունի տեխնոլոգիական գործընթացների լավարկումը, մասնավորապես ջերմային մշակման կատարելագործումը:

Խնդրի լուծման եղանակներից մեկը, որը վերաբերում է արտադրանքի որակի և մեխանիկական հատկությունների բարձրացմանը, ջերմամշակման ժամանակ սառեցնող միջավայրերի ճիշտ ընտրությունն է: Այս գործընթացին ներկայացվող հիմնական պահանջներն են՝ ամրության, կարծրության և մածուցիկության ապահովումը, միման միջավայրի խնայողությունը, անվտանգությունը, նվազագույն վնասակար ազդեցությունը շրջակա միջավայրի վրա: Այն պետք է լինի արդիական, մատչելի, ունենա հուսալի հումքային բազա և, ցանկալի է, որ լինի տեղական արտադրության: Այս տեսակետից ներկայացված աշխատանքը, որի նպատակն է բարձր լիամիավելիությամբ ոչ ջերմակայուն XBΓ մակնիշի գործիքային պողպատի ջերմամշակման համար նաիրիտային լատեքսի հիման վրա միման նոր միջավայրի ստեղծումը, խիստ արդիական է և հրատապ: Այն պայմանավորված է նաև նրանով, որ ՀՀ-ում առկա է այն հումքային բազան, որը կարող է միման միջավայրի համար ծառայել որպես հումք:

Ջերմային մշակման գործընթացի հետազոտությունը ցույց է տալիս, որ բարձր լիամիավելիությամբ ոչ ջերմակայուն գործիքային պողպատների ամրության, հարվածային մածուցիկության և կարծրության վրա ազդող հիմնական գործոններն են՝ միման ջերմաստիճանը (T , $^{\circ}\text{C}$), սառեցման արագությունը (V , $^{\circ}\text{C}/\text{վրկ}$), և սառեցնող միջավայրի ջերմաստիճանը (միման միջավայրի ջերմաստիճանը՝ t , $^{\circ}\text{C}$): Քանի որ սառեցման արագությունն ուղիղ համեմատական է սառեցնող միջավայրում նաիրիտային լատեքսի կոնցենտրացիային (c , %), այդ իսկ պատճառով նպատակահարմար է որպես փոփոխական վերցնել նաիրիտային լատեքսի կոնցենտրացիան ջրային լուծույթում (c , %): Կատարվել է փորձի մաթեմատիկական պլանավորում [1,2], որտեղ որպես ելքային պարամետր ընտրվել է ջերմամշակված (միման և արձակված) նմուշների կարծրությունը՝ HRC: Բոլոր փորձանմուշների արձակումը կատարվել է $180 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում մեկ ժամ պահմամբ:

Նախնական փորձերի հիման վրա ընտրվել է մաթեմատիկական մոդելը՝

$$HRC = K \left(\frac{T}{10} \right)^{b_1} (10 \cdot c)^{b_2} t^{b_3}, \quad (1)$$

որտեղ K -ն, b_1 -ը, b_2 -ը և b_3 -ն անհայտ գործակիցներ են, որոնք որոշվում են C++ ծրագրի միջոցով:

(1) հավասարումը լոգարիթմելուց ստանում ենք՝

$$\ln HRC = \ln K + b_1 \ln \left(\frac{T}{10} \right) + b_2 \ln(10 \cdot c) + b_3 \ln t, \quad (2)$$

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3, \quad (3)$$

որտեղ x_1 -ը, x_2 -ը և x_3 -ը համապատասխանաբար $\left(\frac{T}{10} \right)$ -ի և $(10 \cdot c)$ -ի և t -ի լոգարիթմներն են:

(1) հավասարումը լուծելու համար կիրառվել է 2^3 տիպի փորձերի կատարման իրական գործընթաց: Աղյուսակ 1 և 2-ում բերված են գործոնների մակարդակները, փոփոխման տիրույթները և դրանց կոդային մեծությունները, իսկ աղյուսակ 3 և 4-ում՝ պլանավորման մատրիցը և փորձերի արդյունքները:

Աղյուսակ 1

Գործոնների մակարդակները և փոփոխման տիրույթները

Գործոնները	Գործոնների մակարդակները			Փոփոխման տիրույթները	Չափողականությունը
	-1	0	+1		
x_1	775	850	925	75	$^{\circ}\text{C}$
x_2	0,5	1,5	2,5	1,0	%
x_3	20	50	80	30	$^{\circ}\text{C}$

Աղյուսակ 2

Գործոնների մակարդակները և նրանց կոդային մեծությունները

Գործոնները	Միման ջերմաստիճանը		Նախնական լատեքսի կոնցենտրացիան միման միջավայրում		Սառեցնող միջավայրի ջերմաստիճանը	
	$T, ^{\circ}\text{C}$	$\ln \left(\frac{T}{10} \right),$ (x_1)	$c, \%$	$\ln(10 \cdot c),$ (x_2)	$t, ^{\circ}\text{C}$	$\ln t,$ (x_3)
վերին (+)	925	4,527	2,5	3,219	80	4,382
ստորին (-)	775	4,350	0,5	1,609	20	2,996
միջին (0)	850	4,443	1,5	2,708	50	3,912

Փորձերի պլանավորման մատրիցը և արդյունքները

Փորձերի թիվը մատրիցում	Փորձերի կատարման պատահական հերթականությունը	x ₁		x ₂		x ₃		y	
		կոդ	T, °C $\left(\ell n \frac{T}{10}\right)$	կոդ	c, % ($\ell n(10 \cdot c)$)	կոդ	t, °C ($\ell n t$)	կրկնվող փորձեր	միջին արժեք
1	1	-	775	-	0,5	-	20	65	64,0
	16	-	(4,350)	-	(1,609)	-	(2,996)	63	(4,159)
2	2	+	925	-	0,5	-	20	65	64,5
	15	+	(4,527)	-	(1,609)	-	(2,996)	64	(4,167)
3	3	-	775	+	2,5	-	20	64	63,5
	14	-	(4,350)	+	(3,219)	-	(2,996)	63	(4,151)
4	4	+	925	+	2,5	-	20	65	64,5
	13	+	(4,527)	+	(3,219)	-	(2,996)	64	(4,167)
5	5	-	775	-	0,5	+	80	62	63,0
	12	-	(4,350)	-	(1,609)	+	(4,382)	64	(4,143)
6	6	+	925	-	0,5	+	80	63,5	64,0
	11	+	(4,527)	-	(1,609)	+	(4,382)	64,5	(4,159)
7	7	-	775	+	2,5	+	80	63,5	62,5
	10	-	(4,350)	+	(3,219)	+	(4,382)	61,5	(4,135)
8	8	+	925	+	2,5	+	80	64,5	63,5
	9	+	(4,527)	+	(3,219)	+	(4,382)	62,5	(4,151)
9	-	0	850	0	1,5	0	50	66	65,5
	-	0	(4,443)	0	(2,708)	0	(3,912)	65	(4,182)

Համակարգչով խնդիրը լուծելուց հետո որոշվել են (1) բանաձևի անհայտ պարամետրերը.

$$HRC = e^{b_0} x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3},$$

$$HRC = e^{b_0} \left(\frac{T}{10} \right)^{b_1} (10 \cdot c)^{b_2} t^{b_3} : \quad (4)$$

XBT մականիշի գործիքային պողպատը միտելուց հետո, ըստ աղյուսակ 2 և 3-ի տվյալների, C++ ծրագրի միջոցով որոշվել են b_0 , b_1 , b_2 , b_3 անհայտ պարամետրերը՝ $b_0=3,868640$, $b_1=0,074492$, $b_2=-0,003221$, $b_3=-0,010154$:

Արդյունքում ստացվել է հետևյալ կախվածությունը՝

$$HRC = e^{3,869} \left(\frac{T}{10} \right)^{0,074} (10 \cdot c)^{-0,003} t^{-0,010} : \quad (5)$$

Երկու փորձերի արդյունքների հիման վրա գործոնների միջակայքի յուրաքանչյուր կետում արդյունքների ցրման գծայնությունը որոշվել է

$$S^2_y = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{f} \quad (6)$$

բանաձևով, որտեղ $\hat{y}_i$ -ն և $\bar{y}_i$ -ը XBT մականիշի գործիքային պողպատի կարծրությունն է յուրաքանչյուր փորձի համար և նրանց միջին արժեքը, $f = (n - 1)$ - ը՝ ազատության աստիճանի թիվը, իսկ n -ը՝ կրկնված փորձերի թիվը:

Ըստ աղյուսակ 3-ի և (5) բանաձևի փորձերի ցրման հաշվման արդյունքները բերված են աղյուսակ 4-ում, որի տվյալների հիման վրա ստուգվել է ցրման շարքի համասեռությունը: y_{haw2} -ը նույնպես որոշվել է C++ ծրագրի միջոցով: Սակայն մինչև (5) բանաձևից օգտվելը անհրաժեշտ է ստուգել որոշ ցրումների նույնականությունը: Համասեռ կրկնությունների դեպքում ստուգումը կատարվում է Կոխրենի գործոնի միջոցով, որի համար որոշվում է G_{haw2} մեծությունը՝

$$G_{haw2} = \frac{S_{y_{i \max}}}{\sum_{i=1}^N S^2_{y_i}}, \quad (7)$$

որտեղ $S^2_{y_{i \max}}$ -ը շարքում ամենամեծ ցրումն է, որը համեմատվել է G մեծության հետ: Այն ընտրվում է աղյուսակից [2]՝ կախված α նշանակալիության մակարդակից (ընդունում ենք $\alpha=0,05$), ազատության աստիճանի թվից՝ $f=n-1$, և փորձերի թվից՝ N :

Ցրման շարքը համարվում է համասեռ, եթե

$$G_{haw2} < G_{աղ.} : \quad (8)$$

Այս դեպքում $\sum_{i=1}^N S^2_{y_i} = 10,5$, $S^2_{y_{i \max}} = 2$ (աղ. 4):

Ուստի, ըստ (7) բանաձևի՝ $G_{haw2} = 2/10,5 = 0,191$:

$\alpha=0,05$ -ի դեպքում և $f = (n-1) = 2 - 1 = 1$ ազատության աստիճանի թվի ու $N = 9$ փորձերի թվի հիման վրա $G_{աղ.} = 0,640$ [2]:

Քանի որ իրականանում է (8) պայմանը, այսինքն՝ $0,191 < 0,640$, ապա ցրման շարքը համասեռ է: Փորձերի հավասար քանակության ($n=2$) կրկնությունների դեպքում ցրումների նույնականությունը գնահատվել է

$$S^2_{\text{նույն.}} = \frac{n}{N-m} \sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (9)$$

բանաձևով, որտեղ m -ը բազմանդամի մոտարկելիության անդամների թիվն է՝ $m=4$, (հաշված ազատ անդամը):

Փորձերի ցրման հաշվման արդյունքները ($N = 9, n = 2$)

Փորձի համարը	Կրկնման համարը	$\hat{y}_i$ (y)	$\bar{y}_i$ (y _{միջ.})	y_{ij} (y _{հաշ.})	$(y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$S^2_{y_i}$
1	1	65	64	63,9	0,01	2
	2	63				
2	1	65	64,5	64,7	0,04	0,5
	2	64				
3	1	64	63,5	63,6	0,01	0,5
	2	63				
4	1	65	64,5	64,4	0,01	0,5
	2	64				
5	1	62	63	62,9	0,01	2
	2	64				
6	1	63,5	64	63,9	0,01	0,5
	2	64,5				
7	1	63,5	62,5	62,7	0,04	2
	2	61,5				
8	1	64,5	63,5	63,4	0,01	2
	2	62,5				
9	1	66	65,5	63,6	3,61	0,5
	2	65				

$\sum 3,75 \quad \sum 10,5$

Այս դեպքում (աղ. 4)՝
$$\sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = 3,75, \quad (10)$$

հետևապես՝
$$S^2_{\text{նույն.}} = \frac{2}{9-4} \cdot 3,75 = 1,5: \quad (11)$$

Քանի որ $S^2_{\text{նույն.}} > S^2_{y \text{ միջ.}}$ ($S^2_{y \text{ միջ.}} = \frac{\sum S^2_{y_i}}{N} = \frac{10,5}{9} = 1,16$), այսինքն՝

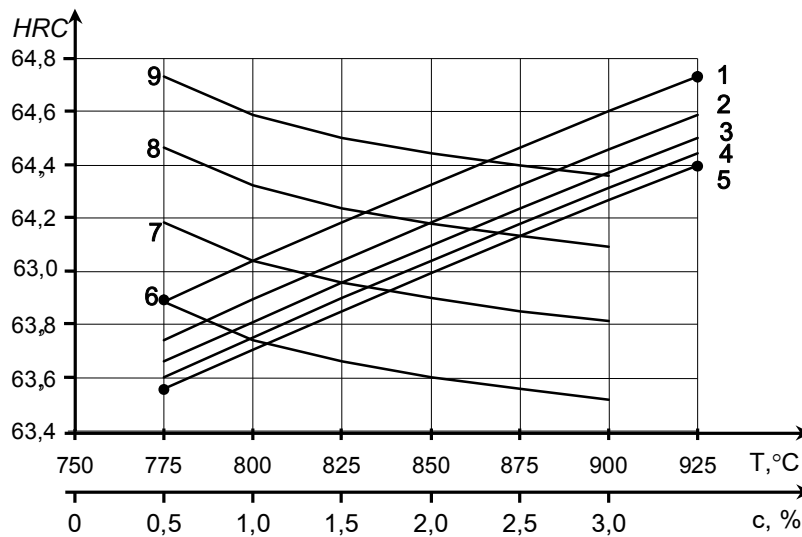
1,5 > 1,16, ապա մոդելի նույնականությունը ստուգվել է Ֆիշերի F չափանիշով, որը թույլ է տալիս ստուգել հիպոթեզի ճշմարտությունը երկու ցրումների միջև.

$$F_{\text{հաշ.}} = S^2_{\text{նույն.}} / S^2_{y \text{ միջ.}} = 1,5 / 1,16 = 1,293: \quad (12)$$

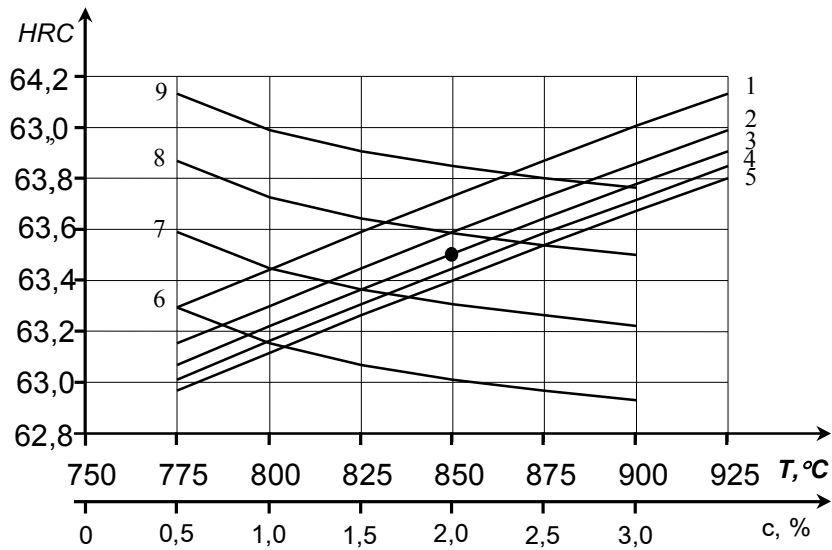
$\alpha=0,05$ նշանակալիության մակարդակի դեպքում, ազատության աստիճանի թիվը՝ $f_{նույն} = N-m = 9-5$, և $f=N(n-1)=9(2-1)=9$ հիման վրա աղյուսակային մեծությունը կլինի՝ $F_{աղ.} = 3,480$ [2]: Քանի որ $F_{հաշ.} < F_{աղ.}$, այսինքն $1,293 < 3,480$, ապա (4) հավասարումը համապատասխանում է խնդրի դրվածքին:

4-րդ մոդելի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ փոփոխականների նշված տիրույթում կարծրությունն ուղիղ կախվածության մեջ է գտնվում միմյան ջերմաստիճանից, սառեցնող միջավայրի ջերմաստիճանից և նրա կոնցենտրացիայից: Ինչպես և սպասվում էր, կարծրության վրա ազդող հիմնական պարամետրերը միմյան ջերմաստիճանն է, այնուհետև՝ սառեցնող միջավայրի կոնցենտրացիան և նրա ջերմաստիճանը:

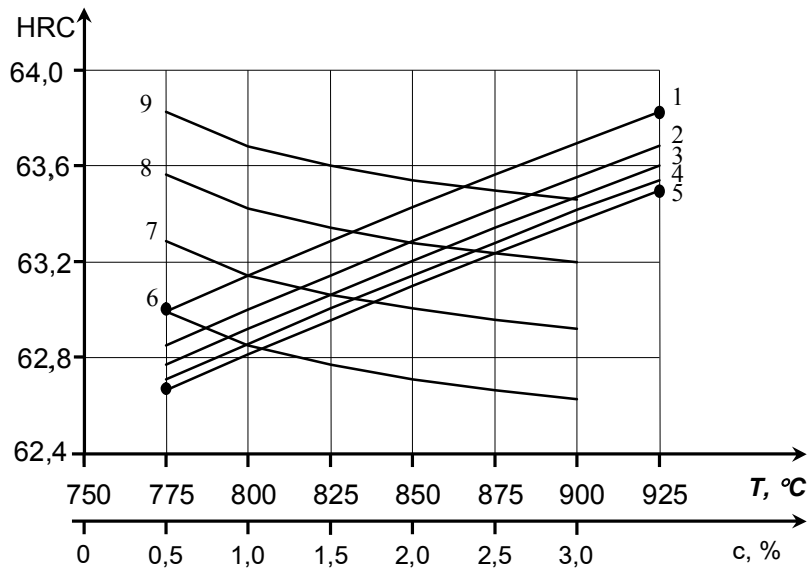
Օպտիմալացման խնդրի փորձնական պարամետրերը համընկնում են հաշվարկային արդյունքների հետ և ցույց են տրված նկ.1, 2, 3-ում, որոնց վերլուծությունը թույլ է տալիս ընտրել հետևյալ օպտիմալ ռեժիմները՝ միմյան ջերմաստիճանը՝ $T=830...850^\circ\text{C}$, սառեցնող միջավայրի ջերմաստիճանը՝ $20...30^\circ\text{C}$, սառեցնող միջավայրի կոնցենտրացիան՝ $1,0...1,5\%$:



Նկ.1. Կարծրության կախվածությունը միմյան ջերմաստիճանից և սառեցնող միջավայրի կոնցենտրացիայից, երբ $t=20^\circ\text{C}$
 1 - $c = 0,5\%$, 2 - $c = 1,0\%$, 3 - $c = 1,5\%$, 4 - $c = 2,0\%$, 5 - $c = 2,5\%$,
 6 - $T = 775^\circ\text{C}$, 7 - $T = 825^\circ\text{C}$, 8 - $T = 875^\circ\text{C}$, 9 - $T = 925^\circ\text{C}$



Նկ.2. Կարծրության կախվածությունը միսման ջերմաստիճանից և սառեցնող միջավայրի կոնցենտրացիայից, երբ $t = 50^\circ\text{C}$
 1 - $c = 0.5\%$, 2 - $c = 1.0\%$, 3 - $c = 1.5\%$, 4 - $c = 2.0\%$, 5 - $c = 2.5\%$,
 6 - $T = 775^\circ\text{C}$, 7 - $T = 825^\circ\text{C}$, 8 - $T = 875^\circ\text{C}$, 9 - $T = 925^\circ\text{C}$



Նկ.3. Կարծրության կախվածությունը միսման ջերմաստիճանից և սառեցնող միջավայրի կոնցենտրացիայից, երբ $t = 80^\circ\text{C}$
 1 - $c = 0.5\%$, 2 - $c = 1.0\%$, 3 - $c = 1.5\%$, 4 - $c = 2.0\%$, 5 - $c = 2.5\%$,
 6 - $T = 775^\circ\text{C}$, 7 - $T = 825^\circ\text{C}$, 8 - $T = 875^\circ\text{C}$, 9 - $T = 925^\circ\text{C}$

Այսպիսի ռեժիմներով ջերմամշակումից հետո պողպատի կառուցվածքը ստացվում է մանր ասեղնավոր մարտենսիտային, իսկ կարծրությունը՝ HRC=64...65 միավոր:

Կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա առաջարկվում է նաիրիտային լատեքսի 1,0...1,5% ջրային լուծույթն օգտագործել որպես միման միջավայր՝ բարձր լիամիսվելիությամբ ոչ ջերմակայուն ХВГ մակնիշի գործիքային պողպատի միման համար՝ նախկինում նույն նպատակի համար կիրառվող յուղի փոխարեն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.-М.: Наука, 1976.-276с.
2. **Новик Ф.С., Арсов Я.Б.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов.-М.: Машиностроение, София: Техника, 1980.- 304 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 24.09.2005:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.М. СТЕПАНИАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ СТАЛИ МАРКИ ХВГ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАИРИТОВОГО ЛАТЕКСА

Методом математического планирования эксперимента проведено исследование процесса закалки в водном растворе наиритового латекса для нетеплостойкой инструментальной стали повышенной прокаливаемости марки ХВГ, в результате чего разработана новая закалочная среда. Показано, что она полностью может заменить используемое для этой же цели масло.

Ключевые слова: сталь, латекс, раствор, закалка, твердость, прокаливаемость, вязкость, концентрация.

S.G. AGHBALYAN, A.A. PETROSYAN, H.M. STEPANYAN

STUDIES ON QUENCHING PROCESS OF STEEL XBГ IN AGUEOUS SOLUTION OF NAIRIT LATEX

According to methods of mathematical planning experiment the quenching process in the aqueous solution of nairit latex for heat instable tool steel with increased XBГ hardenability resulting in development of a new quenching medium is studied. It is shown that for the same purpose it can entirely replace oil used before.

Keywords: steel, latex, solution, hardness, hardenability, viscosity, concentration.

А.О. ТОНОЯН, М.Г. ПОГОСЯН, А.Г. САРГСЯН,
КРИСТОФ ШИК, С.П. ДАВТЯН

О КИНЕТИКЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Исследована кинетика кристаллизации поли-ε-капролактама в условиях неизотермической полимеризации ε-капролактама. Проведен краткий анализ некоторых теоретических моделей по кристаллизации полимеров. На основе экспериментальных данных предложена модель кристаллизации, количественно описывающая процесс кристаллизации в ходе анионной активированной адиабатической полимеризации ε-капролактама.

Ключевые слова: кристаллизация, неизотермическая полимеризация, ε-капролактамы, поли-ε-капролактамы.

Введение. Описание кинетики неизотермической кристаллизации как в ходе полимеризации, так и при охлаждении из расплавов представляет не только научный, но и практический интерес. Это связано в основном с определением тепловых режимов получения реальных бездефектных изделий из кристаллизующихся полимеров по методу химического формования.

Большинство работ по кинетике кристаллизации полимеров относятся к процессам, протекающим в изотермических условиях [1-3], и описываются уравнением Авраами. Существующие подходы решения вопроса, основанные на уравнении Авраами и различных вариантах его обобщения применительно к неизотермическим условиям протекания процесса [4-6], не обеспечивают адекватности предложенных моделей. Разработка новых подходов для описания неизотермической кристаллизации [7], или же совершенствование существующих [8], как правило, приводит к значительному усложнению и, вследствие этого, возникновению серьезных трудностей при использовании численных методов решения подобного класса задач. Цель данной работы - краткий анализ некоторых теоретических моделей по кристаллизации полимеров в неизотермических условиях и количественное описание кинетики кристаллизации поли-ε-капролактама, образовавшегося в ходе анионной активированной полимеризации ε-капролактама в адиабатическом режиме.

1. О некоторых моделях неизотермической кристаллизации полимеров. В работе [9] для описания кинетики неизотермической кристаллизации использовано уравнение Авраами

$$P = 1 - \exp(-kt^n), \quad (1)$$

где P - степень кристаллизации; t - время; k и n - постоянные, в значениях которых заложена основная информация по механизмам зародышеобразования и кристаллизации.

Поскольку уравнение Авраами применимо для описания процессов кристаллизации лишь в изотермических условиях, то в [9] неизотермическая кристаллизация полимеров представлена через совокупность изотермических процессов, протекающих при различных температурах.

Подобная модель описания процесса кристаллизации, очевидно, подразумевает наличие спектра значений параметров k , n для различных температур, т. е. k_i , n_i ($i=0,1,2, \dots$). Более того, авторы [9] не указывают, как задавались температурные зависимости этих параметров, определяющих, в конечном итоге, степень кристалличности данного полимера. Важным является также вопрос минимального числа значений параметров k_i , n_i , посредством которых с необходимой точностью может быть описана как кинетика кристаллизации, так и степень ее завершенности. Рассмотренная модель по ряду отмеченных причин не пригодна для описания реальных процессов неизотермической кристаллизации.

В работе [10], в предположении, что скорости индивидуальных процессов зародышеобразования и кристаллизации изменяются исключительно от температуры, а также учитывая, что зародыши в реакционной массе распределены по закону случая, образуются и растут без взаимодействия между собой, рассмотрена кинетика адиабатической кристаллизации.

С использованием ряда теоретических результатов [11-14], полученных в условиях изотермической кристаллизации, а также собственных экспериментальных данных [15-17] по неизотермической полимеризации поли- ε -капролактама, авторы [10] для адиабатического подъема температуры за счет кристаллизации получили уравнение, описывающее кинетику кристаллизации поли- ε -капролактама

Несмотря на то, что в рассмотренной работе [10] учитываются процессы зародышеобразования, первичной и вторичной кристаллизации, при использовании предложенного уравнения для решения реальных технологических задач оптимального управления могут возникнуть принципиальные трудности. Дело в том, что экспериментальное определение большого числа термодинамических кинетических и других констант для различных полимеризационно-кристаллизационных сред сопряжено со значительными методическими трудностями. Кроме того, наличие большого числа параметров в уравнении кристаллизации и его использование в задачах оптимального управления имеет свои особенности. В этом случае могут возникнуть серьезные математические трудности. Возможно поэтому в работах [18-20] осуществлен макрокинетический подход для получения более простого уравнения кинетики кристаллизации поли- ε -капролактама с существенно меньшим содержанием различных констант.

В [18] предполагается, что суммарная скорость $(d\eta/dt)$ кристаллизации определяется соотношениями скоростей трех процессов: зародышеобразования, изменения объема свободно растущего кристалла, а также взаимного подавления роста кристаллов. Тогда, принимая, что скорость кристаллизации определяется единовременной реализацией указанных трех событий, авторы [18] приходят к уравнению

$$\frac{d\eta}{dt} = K(T)(1 + \eta_{a0})[\eta_p(T) - \eta], \quad (2)$$

где константа $K(T)$ в развернутом виде представляется как [20]

$$K(T) = K_0 \exp\left[-(E/RT) - (\phi T_{пл})(T_{пл} - T)\right], \quad (3)$$

$T_{пл}$ - равновесная температура плавления; R - газовая постоянная; K_0 , E - предэкспоненциальный множитель, энергия активации процесса кристаллизации; ϕ - константа.

Уравнение (2) сопоставляется с двумя сериями экспериментов. В первом случае эксперимент соответствует произвольному охлаждению образцов в виде пластин от 205°C до температур 120, 140, 160 и 180°C соответственно [20]. При этом термометрически измеряется изменение температуры в двух точках по толщине пластины. Во второй серии испытуемый образец разогревается до 260°C, и после установления однородного распределения температуры по объему образец охлаждается с заранее заданной скоростью (2, 4, 8 и 16 град·мин⁻¹) до 100°C [19].

Необходимо отметить, что в экспериментах первой серии первичный материал отражает суммарный процесс охлаждения и кристаллизации, а во второй - представляет собой зависимость скорости тепловыделения от температуры за счет кристаллизации. Предполагается, что скорость тепловыделения пропорциональна скорости кристаллизации.

В каждой серии половина эксперимента использовалась для решения обратной кинетической задачи, а вторая половина - для прямой задачи. Обратная задача решалась по методу, описанному в [21]. В качестве значения температур стеклования [22] ($T_{см}=60^\circ\text{C}$) и равновесного плавления использовались данные [23]. При этом температурная зависимость $\eta_p(T)$ задавалась массивом по данным работы [23].

В результате численного решения обратной кинетической задачи авторы [19,20] получили следующие значения констант, входящих в уравнение (2) и (3): $E=36,93 \text{ кДж·моль}^{-1}$, $\phi = 225,79 \text{ К}$, $K_0=1,028 \cdot 10^4 \text{ мин}^{-1}$, $a_0=42$, $\Delta H=39,1 \text{ кал·г}^{-1}$. Полученные значения были использованы для решения прямой кинетической задачи, результаты которой сопоставлены с экспериментальными данными.

Несмотря на положительные результаты [19,20] и их применение в ряде работ [24-27], можно сразу же отметить, что уравнение (2) не может быть использовано для описания кинетики кристаллизации поликапроамида, протекающей непосредственно в условиях неизотермической полимеризации. Дело в том, что при параллельном протекании процессов полимеризации и кристаллизации уравнение (2) приводит к высоким скоростям кристаллизации по сравнению с экспериментально наблюдаемыми. Подобная ситуация связана с тем, что в самом начале полимеризации скорость кристаллизации должна быть нулевой, поскольку в реакционной смеси еще полимер не образован. Между тем по уравнению (2) начальная скорость кристаллизации при $t=0$ соответствует $(d\eta/dt)_{t=0} = K(T_0)\eta_p(T_0)$, что противоречит простым физическим представлениям. Кроме того, равновесная степень кристалличности, т.е. $\eta_p(T_0)$, достигается лишь при полном превращении мономера в полимер. А при глубинах превращений (α) $\alpha \leq 1$ скорость кристаллизации

должна быть пропорциональна не $\eta_p(T) - \eta$, а в этом множителе уравнения (2) необходимо учитывать реальное количество образовавшегося полимера, лишь небольшая доля которого превращается в кристаллический полимер. Поэтому реальнее предположить, что для описания кинетики кристаллизации полимера, протекающей непосредственно в процессе полимеризации, величина $\eta_p(T_0)$ должна быть пропорциональна глубине превращения, т.е. множитель $\eta_p(T) - \eta$ в уравнении (2) должен быть заменен $[\alpha\eta_p(T) - \eta]$. С учетом этого уравнение (2) может быть модифицировано к виду

$$\left(\frac{d\eta}{dt}\right) = K(T)(1 + \eta_{a0})[\alpha\eta_p(T) - \eta]. \quad (4)$$

Как уже было отмечено, зависимость η_p от температуры для поли-(-капролактама экспериментально исследована в работе [23]. Эти данные достаточно хорошо описываются выражением [28]

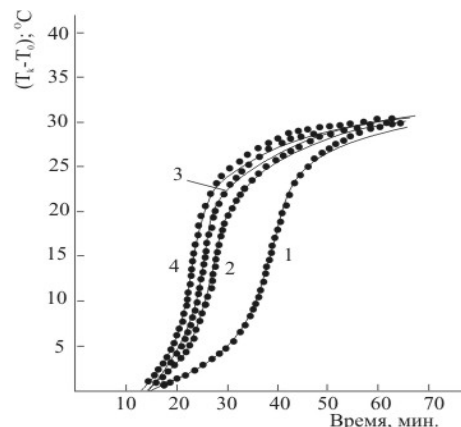
$$\eta_p(T) = 0,52 \left[1 - (T / T_{пл})^4 \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Начальными условиями для уравнения (4) являются:

$$T = 0; \eta = 0; \alpha = 0; T = T_0. \quad (6)$$

Как видно из (4), в отличие от (2), начальная скорость кристаллизации равна нулю.

2. Кинетика кристаллизации в ходе анионной активированной адиабатической полимеризации ϵ - капролактама¹ и ее описание. Кинетические кривые повышения температуры за счет экзотермической кристаллизации поли- ϵ - капролактама в ходе полимеризации представлены на рис.1 и 2.



На кинетических кривых рис. 1,2 обращает на себя внимание тот факт, что кристаллизация начинается не в самом начале полимеризации. При этом время начала кристаллизации практически не зависит от концентрации активатора. Увеличение начальной концентрации активатора (рис.1, кр.1-4) практически не влияет на предельную степень кристалличности, приводит к повышению текущих скоростей кристаллизации.

Рис.1. Кинетические кривые кристаллизации поли - ϵ - капролактама в ходе адиабатической полимеризации ϵ - капролактама. $T_0=125^\circ\text{C}$; $C_0=3.35 \cdot 10^{-2} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ и $A_0 \cdot 10^{-2}, \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$: 3,35(1); 4,78(2); 5,74(3); 6,70(4). Сплошные линии - эксперимент, точки - рассчитаны по уравнению (4) с учетом (5)

¹ Методика эксперимента подробно описана в работе [27].

Предельная степень кристалличности достаточно сильно зависит от начальной температуры реакции (рис.2, кр. 1-4). Здесь интересно то, что с повышением начальной температуры до 135⁰С (рис.2, кр. 1-3) скорость кристаллизации растет, а дальнейшее повышение приводит к ее уменьшению (рис.2, кр. 4). Наблюдаемая инверсия скоростей кристаллизации в интервале начальных температур 135...140⁰С связана с влиянием температуры на скорости полимеризации и кристаллизации. Так, если с повышением начальной температуры скорость полимеризации растет по обычной аррениусовской зависимости, то скорость кристаллизации определяется конкурирующим действием двух факторов - влиянием температуры на константу скорости кристаллизации и на равновесную степень кристалличности, т.е. на $\eta_p(T)$. В условиях адиабатической полимеризации (-капролактама при начальных температурах 135⁰С и выше определяющей становится величина $\alpha\eta_p(T)$, поэтому скорость кристаллизации замедляется.

По-видимому, конкурирующим действием указанных факторов можно объяснить тот факт, что при адиабатической полимеризации ϵ -капролактама до начальных температур <150⁰С полимеризация и кристаллизация идут параллельно, а при $\geq 150^0\text{C}$ скорость кристаллизации замедляется настолько, что лишь после полного завершения полимеризации начинается кристаллизация образовавшегося полимера.

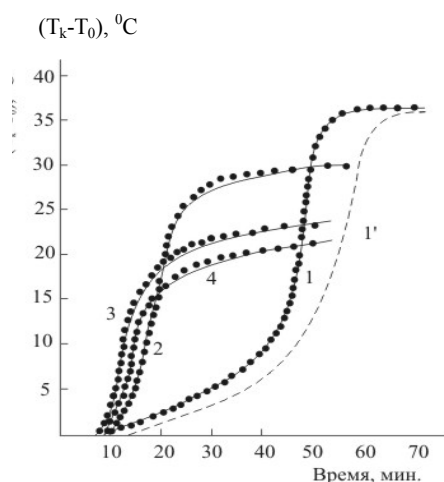


Рис. 2. Кинетические кривые кристаллизации поли- ϵ -капролактама, образовавшегося в ходе адиабатической полимеризации ϵ -капролактама. $C_0=A_0=3,35 \cdot 10^{-2} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} T_0$,
⁰С :110(1); 125(2); 135(3); 140(4). Сплошные линии -эксперимент, точки - рассчитаны по уравнению (4) с учетом (5)

Для всех кинетических кривых рис.1,2 характерно достаточно интенсивное повышение температуры, а на конечных стадиях кристаллизации - их замедление. Подобный характер изменения кинетических кривых кристаллизации может быть объяснен интенсивной первичной кристаллизацией поли- ϵ -капролактама, приводящей к образованию рыхлых сферолитных структур, и последующей вторичной кристаллизацией, когда медленная докристаллизация

полимера сопровождается уплотнением рыхлых структур до мелкосферолитных образований, типичных для кристаллического поли-ε-капролактама.

Таким образом, полученные кинетические закономерности кристаллизации поли-ε-капролактама необходимо сопоставить с уравнением (4) с учетом выражений (3), (5) и начальных условий (6). Для этого величины, входящие в уравнение (4), необходимо выразить через адиабатическое повышение температуры как за счет полимеризации (T_n), так и кристаллизации (T_k) (рис.1,2).

В работе [27] нами было показано, что в условиях адиабатической анионной активированной полимеризации ε-капролактама величины α и β могут быть выражены текущими температурами полимеризации и кристаллизации следующим образом:

$$\alpha = \frac{T_n - T_0}{T_n^\infty - T_0}, \quad \eta = \frac{T_k - T_0}{\frac{q_\beta}{q_\infty} (T_n^\infty - T_0)}, \quad (7)$$

где T_0 - начальная температура реакции; T_n^∞ - предельная температура адиабатического разогрева за счет полимеризации, рассчитанная на полное превращение мономера в полимер; q_∞ , q_β - тепловые эффекты полимеризации и кристаллизации.

Уравнение (4) с учетом (5)-(7) интегрировалось численно с использованием значений параметров (E , ϕ , K_0 , a_0 , $T_{пл}$, η_p , T), полученных в работах [19,20]. В качестве массива значений $T_{пл}$ (следовательно, и T) задавались экспериментальные данные по адиабатической анионной активированной полимеризации ε-капролактама [27].

Сравнение результатов численного счета с кинетическими кривыми рис.1,2 показало, что теоретические кривые по кинетике повышения температуры за счет кристаллизации отстают от экспериментальных. В качестве примера на рис. 2 (кр. 1) пунктирной линией представлена расчетная кинетическая кривая. Наблюдаемое различие между экспериментальными и теоретическими данными может быть результатом недостоверных значений отношения q_β / q_∞ и величины a_0 , полученных в работах [19,20]. Действительно, по разным данным [15-20,28] отношение q_β / q_∞ меняется от 1,3 до 1,8, и, кроме этого, как видно из кинетических кривых рис. 1, скорость кристаллизации зависит от начальных концентраций активатора и катализатора. Поэтому естественно предположить, что величина a_0 , являющаяся мерой интенсивности автоускорения процесса кристаллизации, зависит от их концентрации. С этой целью при значении $q_\beta / q_\infty = 1,79$ и заданных начальных условиях проводился численный анализ для определения значений параметра a_0 , при которых теоретические кривые максимально соответствуют экспериментальным. На основе результатов численного анализа было показано, что при $a_0 = 37(1 + 10^4 A_0 C_0)$ теоретические кривые кристаллизации достаточно хорошо согласуются с экспериментом. На рис. 1,2 теоретические результаты представлены в виде точек. На конечных стадиях

кристаллизации некоторое расхождение теоретических и экспериментальных кривых связано с тем, что в уравнении (4) не учтен процесс вторичной кристаллизации.

Таким образом, исходя из того, что в анионной активированной адиабатической полимеризации ϵ -капролактама кинетика кристаллизации образовавшегося полимера удовлетворительно описывается уравнением (4), можно утверждать, что в этом уравнении учтены основные положения процесса кристаллизации. Уравнение может быть использовано для решения различных задач по макрокинетике полимеризации.

В заключение можно предположить, что поскольку в ходе анионной активированной адиабатической полимеризации ϵ -капролактама кинетика кристаллизации образовавшегося полимера удовлетворительно описывается уравнением (4), то описанный в данной работе подход и уравнение (4) могут быть использованы для количественного описания кинетики как изотермической, так и неизотермической кристаллизации других систем.

Работа выполнена по теме “Разработка новых методов получения полимерных нанокомпозитов, синтез и исследование их свойств”, осуществляемой в рамках целевого финансирования Министерства образования и науки РА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Avrami M.** Kinetics of phase change. 1. General Theory // J. Chem. Phys.-1939.-N7.-P.1103.
2. **Манделькern Л.** Кристаллизация полимеров/ Под. ред. С. Я. Френкея.-М.: Химия, 1966.-224 с.
3. **Вундерлих Б.** Физика макромолекул. Т.2.-М.: Мир, 1979.- 173 с.
4. **Бороховский В. А., Гаспарян К. А., Мирзоев Р. Г.** и др. // Высокомолек.соед.-1975.-Т.17Б, N1.-С. 31.
5. **Nakamura K., Katagama K., Amano T.** // J. Appl.Polymer Sci.-1973.-V.17,N4.-P. 1031.
6. **Бегитшев В. П., Болгов С. А., Малкин А. Я.** и др. // Высокомолек. соед. - 1979.-Т.21Б, N9.-С. 714.
7. **Рейн Д. М., Бедер Л. М., Баранов В. Г., Чеголя А. С.** // Докл. АН СССР.- 1980.-Т. 255, N6.-С. 1422.
8. **Muzzy I.D., Bright D. G., Hogos G. H.** // Polymer Eng-ng Sci.- 1978.-V.18, N6.-P. 437.
9. **Зеленов Ю. В., Кошелев А. В.** // Высокомолек. соед.-1982.-Т.21Б, N9.-С. 557.
10. **Tomka I., Sebenda I.** // Collection Szechoslov, Chem. Communs.-1967.-V. 32.-P. 2779.
11. **Gornick F., Mandelkern L.** // J. Appl. Phys.-1962.-V.33, N3.- P. 907.
12. **Hoffman I. D., Weeks I. I.** // J. Chem. Phys.-1962.-V.37, N8. - P. 1723.
13. **Marx P., Smith C. W., Worthington A. E., M. Dole** // J. Chem. Phys.-1955.- V.59, N10.- P. 1015.
14. **Hoshino S., Meinecke E., Powers I., Stein R. S., Newman S.** // J. Polymer Sci.-1965.-V.3A, N9.-P. 3041.
15. **Wichterle O., Tomka I., Sebenda I.** // Collection Szechoslov, Chem. Communs.-1964.-V. 29, N3.-P. 610.
16. **Tomka I., Sebenda I., Wicherle O.** // Collection Szechoslov, Communs.-1966.-V. 31, N9.-P. 4341.
17. **Sebena I., Pelzbauer Z., Tomka I.** // Collection Szechoslov, Communs.-1963.-V. 28, N2.-P. 310.
18. **Бегитшев В. П., Кипин И. А., Малкин А. Я.** // Высокомолек. соед.-1982.-Т.245, N9.-С. 656.

19. Бегишев Б. П., Кипин И. А., Андрианова З. С., Малкин А. Я. // Высокомолек. соедин.-1983.-Т.25Б, N5.-С. 343.
20. Бегишев Б. П., Кипин И. А., Андрианова З. С., Малкин А. Я. // Высокомолек. соедин.-1983.-Т.25А, N5.-С. 343.
21. Малкин А. Я., Иванова С. Л. // Высокомолек. соедин.-1977.-Т.19А, N10.-С. 2237.
22. Привалко В. П. Структурные особенности полимеров.-Киев: Наукова думка, 1978.- 32 с.
23. Kubota N., Nowell Y. B. // J. Appl. Polymer Sci.-1975.-V.19, N6.-P. 1521.
24. Вольперт В. А., Меграбова И. Н., Давтян С. П., Бегишев В. П. // Физика горения и взрыва.-1985.-N4.-С. 46.
25. Тоноян А. О., Давтян С. П. // Хим. Журнал Армении.-1996.-Т.49, N4.-С. 92.
26. Давтян С. П. // Хим. Журнал Армении.-1999.-Т. 52, N3.-С. 72.
27. Тоноян А. О., Парикян Э. К., Вардересян А. З., Гевондян Р. В., Давтян С. П. Кинетика адиабатической анионной активированной полимеризации (-капролактама. Описание процесса полимеризации // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2006. - Т. 59, N1. – С. 44.
28. Беязева Н. А., Клычников Л. В., Давтян С. П., Худяев С. И. // Тезисы III Всесоюзной конференции по нелинейной теории упругости.- Сыктывкар, 1987.- С. 51-53.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.06.2005.

**Ա. Ն. ՏՈՆՈՅԱՆ, Մ.Գ.ՊՈԳՈՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
ՔՐԻՍՏՈՖ ՇԻԿ, Ս. Պ. ԴԱՎԻԹՅԱՆ**

ԲՅՈՒՐԵՂԱՑՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱ ՈՉ ԻԶՈԹԵՐՄԻԿ ՊՈԼԻՄԵՐԻՑՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ուսումնասիրված է պոլի -ε- կապրոլակտամի բյուրեղացման կինետիկան ε - կապրոլակտամի ոչ իզոթերմիկ պոլիմերացման պայմաններում: Իրականացված է պոլիմերների բյուրեղացման որոշ տեսական մոդելների կարճ վերլուծություն: Փորձական տվյալների հիման վրա առաջարկվել է բյուրեղացման մոդել, որը քանակապես նկարագրում է ε- կապրոլակտամի անիոնային ակտիվացված ադիաբատիկ պոլիմերացման ընթացքում առաջացած պոլի -ε- կապրոլակտամի բյուրեղացման պրոցեսը:

Առանցքային բառեր. բյուրեղացում, ոչ իզոթերմիկ պոլիմերացում, ε- կապրոլակտամ, պոլի - ε - կապրոլակտամ:

**A.H. TONoyAN, M.G.POGHOSYAN, A.G.SARGSYAN, CHRISTOPH SCHICK,
S. P. DAVTYAN
CRYSTALLIZATION KINETICS IN THE NONISOTHERMIC POLYMERIZATION**

Poly-ε-kaprolactam's crystallization kinetics in the nonisothermal polymerization regimes has been investigated .The brief analysis of some theoretical models of polymer crystallization is given. Based on the obtained experimental result the model of crystallization quantitatively describing the crystallization process of poly-ε-kaprolactam obtained by the anion - activated adiabatic polymerization has been proposed.

Keywords: crystallization, nonisothermal polymerization, ε-kaprolactam, poly-ε-kaprolactam.

М.А. ПОГОСЯН, Л.А. МКРТЧЯН, О.К. ГЕОКЧЯН, Л.М. САВЧЕНКО

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКЛОПОКРЫТИЙ НА ПРИРОДНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КАМНИ АРМЕНИИ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются вопросы разработки составов стеклопокрытий для защиты и улучшения эстетического вида поверхности природных строительных камней (туфов и базальтов) Армении. В разработанных стеклопокрытиях, которые хорошо стеклуются на поверхностях камней, в качестве основного компонента (более 50% по весу) используется перлит Арагацского месторождения.

Ключевые слова: природные строительные камни, стеклопокрытие, перлит Арагацского месторождения.

Армения богата природными камнями, и на ее территории встречаются почти все виды известных на земле каменных пород. Не случайно, что очень часто Армению называют страной камней. Изучению природных каменных богатств Армении посвящено много работ, причем не только в качестве строительных материалов, но и в качестве сырья для различных отраслей промышленности. Наиболее подробные данные о видах, месторождениях и свойствах камней Армении содержатся в [1].

Целью настоящей работы является разработка составов стеклопокрытий (прозрачных, цветных глазурей) для внешних поверхностей основных строительных камней – туфов и базальтов, широко используемых у нас в качестве местных сырьевых материалов. Данная задача актуальна, поскольку, как показала жизнь, поверхности туфов и базальтов, несмотря на их красивый вид, со временем загрязняются, выветриваются и теряют свою привлекательность. Кроме того, создание разноцветных, декоративных покрытий расширит область их применения, в частности, для оформления различных внутренних интерьеров.

В качестве основы для исследований и разработок были приняты образцы туфа ереванского типа и базальта абовянского типа. Такой выбор был сделан для облегчения проводимых исследований, а также исходя из того, что если покрытие подходит для туфа или базальта одного типа или месторождения, то практически оно подходит для туфа и базальта других типов и месторождений.

Для решения поставленной задачи, в первую очередь, необходимо было выяснить вопрос термической устойчивости образцов туфа и базальта, определить, теряют ли они свою механическую прочность при температурах нанесения стеклопокрытий. Для этого была предварительно изучена механическая прочность (прочность на изгиб) исходных образцов. Образцы представляли собой штабики размерами 5х5х50 мм. Они ставились на две опоры, и их центр подвергался механическим усилиям, приводящим к разрушению образца. Прочность определялась как отношение разрушающей нагрузки к площади поперечного сечения. Испытанию подвергались пять одинаковых образцов, и

бралось среднее значение разрушающей нагрузки. Далее такие же образцы подвергались термообработке по режиму нанесения стеклопокрытий (глазурей), их механическая прочность на изгиб контролировалась по той же методике. Максимальная температура термообработки принималась равной 900°C, исходя из того, что стекла, используемые в качестве стеклопокрытий, дают хорошо остеклованную пленку при вязкости $10^{7.5}...10^8$ пуаз [2], а это значение для подавляющего большинства силикатных стекол характерно при температуре не выше 900°C. Таким образом, образцы погружались в муфельную печь, нагревались до 900°C, выдерживались при этой температуре в течение 30 мин, потом охлаждались вместе с выключенной печью.

Результаты проведенных исследований приведены в табл. 1. Как показывают данные таблицы, термообработка образцов туфа и базальта по вышеуказанному термическому режиму не приводит к какому-либо ощутимому изменению механической прочности на изгиб.

Другой важный вопрос на пути к решению поставленной задачи – выяснение величины термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и характера кривой термического расширения. Эти исследования проводились на штабиках туфа и базальта размерами 5х5х50 мм на dilatометре ДКВ – 5А.

Таблица 1

Образец	Механическая прочность на изгиб, кг/мм ² , до термообработки	Механическая прочность на изгиб, кг/мм ² , после термообработки при 900°C
Туф	0,024	0,025
Базальт	0,11	0,10

Дилатогаммы камней приведены на рисунке. Как видно из рисунка, они представляют собой почти идеально прямолинейные кривые без каких-либо аномальных изгибов. Цифровые характеристики линейного расширения (ТКЛР в интервале 20...300 °C) составляют:

- для туфа – $64,05 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹;
- для базальта – $45,75 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹.

Таким образом, для обеспечения согласованного по ТКЛР покрытия необходимо иметь стекла с ТКЛР не выше 60...65 единиц для туфа и не выше 40...45 единиц для базальта. Первоначально разработку стеклооснов вели именно в таком направлении. Низкое значение ТКЛР стекол по сравнению с ТКЛР камней обеспечивает возникновение в слое стеклопокрытия механических напряжений сжатия. В противном случае возникают напряжения растяжения, которые легко разрушают покрытие, так как стекло более устойчиво к напряжениям сжатия, чем растяжения. В дальнейшем, анализируя данные [3,4] и основываясь на наших предварительных результатах, приходим к выводу, что для обеспечения ТКЛР стеклоосновы в пределах значений 45...65 единиц необходимо обеспечить содержание SiO₂ не менее 60 масс. %. Поскольку компонентом, вносящим оксид кремнезема, является перлит, получается, что он должен составлять не менее 85 масс.% исходной шихты. Опыт показал, что такие шихты весьма тугоплавки, трудно провариваются, а их расплавы отличаются высокой вязкостью, что затрудняет осветление, повышается температура

нанесения стеклопокрытия. Исходя из этого, содержание перлита в шихте ограничено 60 масс.%. Остальные 40 % - это добавки, которые облегчают процесс варки, придают шихте легкоплавкость и технологичность.

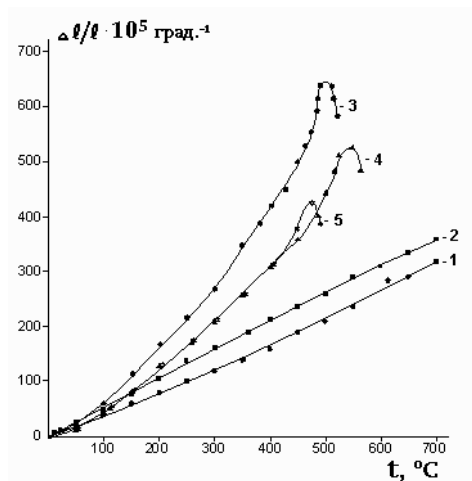


Рис. Дилатограммы базальта (1), туфа (2) и стекол №1 (3), №2 (4) и №3 (5), снятые на dilatометре ДКВ-5А

В табл. 2 приведены химические составы трех наиболее перспективных составов стекол .

Таблица 2

№ стекла	Содержание компонентов, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	ZnO	Na ₂ O+K ₂ O	Li ₂ O	Стек-лобой
1	44,15	6,6	2,05	2,4	0,35	-	13,11	18,23	-	13,11
2	47,8	8,1	0,6	-	0,4	16,2	5,4	21,5	-	-
3	52,8	9,1	0,6	-	0,5	17,5	6,0	3,5	10,0	-

На рисунке кривые 3, 4, 5 представляют дилатограммы стекол № 1, 2, 3 соответственно. В табл. 3 представлены цифровые характеристики дилатограмм этих же стекол.

Таблица 3

№ стекла	ТКЛР, $\alpha_{20-300} 10^{-7} \text{ град}^{-1}$	Температура стеклования, $t_g, ^\circ\text{C}$	Температура начала деформации, $t_{нд.}, ^\circ\text{C}$
1	101,9	465	503
2	80,5	490	545
3	80,5	445	480

Все три состава, приведенные в табл. 2, при температуре 850°C дают хорошие покрытия на туфы и базальты, несмотря на значительные различия ТКЛР, особенно для стекла № 1. По приближенным оценкам, толщина слоя покрытия составляет 250...300 мкм. При толщине слоя покрытия более 300 микрон на стекле № 1 появляются мелкие трещины. На поверхностях стекол № 2 и 3 трещины появляются при толщине слоя более 400...450 микрон. Данные табл. 3 показывают, что из этих составов стекол более предпочтителен состав № 3. При одинаковой величине ТКЛР со стеклом № 2 стекло № 3 значительно

легкоплавко, температура начала деформации на 65 градусов ниже, чем у стекла № 2. Тот факт, что все три стекла дают хорошее покрытие как на туфе, так и на базальте, несмотря на значительные различия по ТКЛР особенно у стекла № 1, можно, вероятно, объяснить тем, что благодаря пористой структуре камней расплав стекол проникает в открытые поры поверхности камней и образует некоторый промежуточный переходный слой, который, вероятно, и ослабляет разрушительные остаточные механические напряжения.

Полученные в ходе проведения работы образцы камней показывают, что нанесенное стеклопокрытие значительно улучшает эстетический вид и может иметь большую перспективу для широкого внедрения в строительную практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ацагорцян З.А.** Природные каменные материалы Армении. - М.: Изд-во лит-ры по строит-ву, 1967. - 470 с.
2. А.с. № 987928 СССР. Стекло для изготовления электроизоляционного ситаллоцемента / **М.А. Погосян, Р.М. Кочкянян и др.** - Опубл. 1982.
3. **Андреасян М.К.** Разработка состава и технологии получения облицовочных стеклокристаллических материалов на основе горных пород: Автореферат дис. ... к.т.н.- Ереван, 2001. - 22 с.
4. **Язычян Р.Н.** Химически стойкие силикатные строительные материалы на основе вулканических пород: Автореферат дис. ... к.т.н.- Ереван, 2002. - 22 с.

НПП Материаловедения РА. Материал поступил в редакцию 05.10.2003.

Մ.Ա. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Լ.Հ. ՄԿՐՏՅԱՆ, Օ.Ղ. ԳԵՕՔՅԱՆ, Լ.Մ. ՍԱՎՉԵՆԿՈ

ԱՊԱԿԵԾԱԾԿՈՒՅԹԻ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄ ՏԵՂԱԿԱՆ ՀՈՒՄՔԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ՝
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՍՆԵՐԻ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ

Քննարկվում է ապակեծածկույթների բաղադրությունների մշակման հարցը Հայաստանի բնական շինարարական քարերի (տուֆերի և բազալտների) մակերեսների պաշտպանության համար: Մշակված ապակեծածկույթներում, որոնք լավ ծածկում են քարերի մակերևույթը, որպես հիմնական հումք (ավելի քան 50 կշ. %) օգտագործվում է Արագածի պեղիտը: Մշակված ապակեծածկույթներն ունեն գեղեցիկ տեսք և հուսալիորեն պաշտպանում են քարերի մակերեսները:

Առանցքային բաներ. բնական շինարարական քարեր, ապակեծածկույթ, Արագածի շրջանի պեղիտ:

M.A. POGHOSYAN, L.A. MKRTCHYAN, O.C. GEOKCHYAN, L.M. SAVCHENKO

GLASS COVERING COMPOSITION DEVELOPMENT ON NATURAL BUILDING STONES IN ARMENIA BASED ON LOCAL RAW MATERIAL

Problems of glass covering composition development for protection and improvement of aesthetic view of natural building stone (tuffa and basalt) surface in Armenia are considered. In the developed glass covering well glassed on the stone surfaces as a basic component (more than 50% in weight) the perlite of Aragats deposit is used.

Keywords: natural building stones, glass covering, perlite of Aragats deposit.

Կ.Գ.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

**ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿԱՐԾՐ
ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԵ ԹԻԹԵԴԻԿՆԵՐԻ ԾԱԿՈՏԿԵՆՈՒԹՅՈՒՆԻՑ ԵՎ
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅԱՆ ԽՈՐՀՈՒԲՈՐՀՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻՑ**

Քննարկվում են մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևութային խորդուբորդությունների և ծակոտկենության ազդեցությունը գործիքների մաշակայունության բարձրացման վրա ի հայտ բերելու հարցեր: Բացահայտված է, որ ծակոտկենությունը և խորդուբորդությունները փոքրացնում են գործիքի մաշակայունությունը, և այդ ազդեցությունը նվազեցնելու համար նպատակահարմար է թիթեղիկի մակերևույթը պատել նիտրիդների, կարբոնիտրիդների, ինչպես նաև դժվարահալ մետաղների մաշակայուն ծածկույթով:

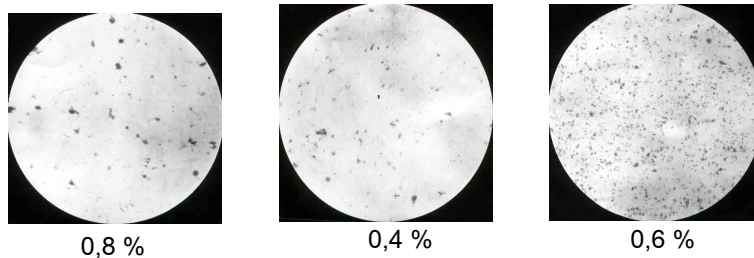
Առանցքային բառեր. կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներ, ծակոտկենություն, խորդուբորդություն, մաշակայունություն, մակերևութային շերտ:

Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների կառուցվածքային հետազոտությունները ցույց են տվել, որ թիթեղիկների մակերևութային վրա գոյություն ունեն խորդուբորդություններ և ծակոտկենություն: Ծակոտկենությունը տատանվում է մինչև 0,8% - ի սահմաններում և կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների պատրաստման գործընթացներում ծակոտկենության չափերը գտնվում են թույլատրելի սահմաններում: Անհավասարաչափ մեծություններ ունեցող և մոտավորապես հավասարաչափ տարածված ծակոտկենությունները բացասական են ազդում կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մաշակայունության վրա, և այս առումով թիթեղիկի կտրող եզրում ծակոտկեն տեղամասերը հանդս են գալիս որպես ինտենսիվ մաշման օբյեկտներ (օջախներ):

Աշխատանքի նպատակն է՝ նվազեցնել կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ծակոտկենության և խորդուբորդությունների բացասական ազդեցությունը գործիքների մաշակայունության վրա, բարձրացնել գործիքանյութերի որակական հատկանիշները:

Վերոհիշյալ խնդրի պարզաբանման համար հետազոտվել են կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ջերմային և ջերմաքիմիական մի շարք եղանակներ, որից պարզվել է, որ ջերմաքիմիական մշակման առանձին եղանակների դեպքում տիտանի նիտրիդից և կարբոնիտրիդից ստացվող շերտերը որոշակիորեն փակում են չափերով շատ փոքր ծակոտկենությունը, իսկ հիմնական «խոռոչներ»-ը մնում և հետագա կտրման գործընթացում օժանդակում են թիթեղիկի ինտենսիվ մաշմանը:

Կատարված գիտափորձերի արդյունքներից պարզվել է, որ կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մաշումը կախված է նաև միայն սովյալ թիթեղիկի մեջ գոյություն ունեցող ծակոտկենությունից (նկ.1), և թիթեղիկի մակերևութային մաքրությունից:



Նկ. 1. Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ծակոտկենության աստիճանը, T15K6

Հետազոտելով կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկի և մշակվող նյութի շփման մոդելը, կարելի է հաշվել միկրոանհարթությունները կտրման զոնայում [1].

$$Z_n = Z_m \left(\frac{a_n}{\ell_m} \right)^q = \frac{S}{4R^2} \left(\frac{a_n}{\ell_m} \right)^q, \quad (1)$$

որտեղ S - ը կտրման զոնայում կոնտակտի մակերեսն է, ℓ_m - ը՝ կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևույթների խորդուբորդությունների առավելագույն չափը, a_n - ը՝ շփվող կետերի մոտեցման աստիճանը, q - ն՝ ըստ բարձրության խորդուբորդությունների բաշխման ցուցանիշ ($q = 1 \dots 2$):

Միկրոանհարթությունների վրա ազդող ուժը կարելի է արտահայտել հետևյալ բանաձևով.

$$P_i = R_i \delta_{Tm} R a_i, \quad (2)$$

որտեղ R_i - ն համաչափության գործակից է, δ_{Tm} - ը՝ մշակվող մակերևույթի հոսունության սահմանը, a_i - ն՝ միկրոանհարթությունների աստիճանը:

Երկու մակերևույթների (կարծր համաձուլվածք և մշակվող նախապատրաստվածք) միջև ազդող ուժը կարելի է արտահայտել հետևյալ օրինաչափությամբ.

$$P = \int_0^z P_i dx = \int_0^{a_n} P_i \frac{dx}{da} da: \quad (3)$$

Կտրման ընթացքում կոնտակտի մեջ գտնվող կարբիդների հատիկների միջև առաջանում են միկրոճաքեր, որոնք լարումների կոնցենտրացման շնորհիվ մեծանում են, և առանձին կարբիդային մասնիկներ պոկվում - դուրս են գալիս՝ տեղը զիջելով կտրման գործընթացի մեջ մտնող նոր մասնիկներին: Փոքրագույն մասնիկների քայքայման հետ է կապված կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մաշումը, որի ինտենսիվությունը կախված է ինչպես կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների խորդուբորդությունների մեծությունից, այնպես էլ կտրման զոնայում գոյություն ունեցող կտրող թիթեղիկի ծակոտկենությունից:

Գծային մաշման ինտենսիվությունն արտահայտվում է

$$I_n = I_v / S \quad (4)$$

արտահայտությամբ, որտեղ

$$I_v = \int_0^{z_n} I_{v_t} dz = \int_0^{a_n} I_{v_t} \frac{dz}{da} da, \quad (5)$$

որ I_v - ն մաշման ինտենսիվությունն է ամբողջ մակերևույթի վրա:

Առավել խորը ուսումնասիրելով կտրման գործընթացում տեղի ունեցող բազմաբնույթ գործոնների տարաբնույթ ազդեցությունները՝ պարզ է դառնում, որ յուրաքանչյուր գործոնի ազդեցությունը ինքնատիպ չէ, այլ հանդես է գալիս ընդհանուր ազդեցությունների ոլորտում և չի կարելի հետազոտել առանձին: Այս առումով հետաքրքիր է որոշել գործիքի մաշակայունությունը՝ չանտեսելով նաև կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների կտրման զոնայում գոյություն ունեցող թիթեղիկների միկրոձակոտկենությունը:

Գործիքի կայունությունը որոշվել է հետևյալ բանաձևով [1].

$$T = \frac{C_i h_3 \delta_B^t}{(\text{ctg} \alpha - \text{tg} \gamma) V \sigma_{T_m}^{t-v}}, \quad (6)$$

որտեղ h_3 - ը գործիքի հետևի նիստի վրա առաջացող մաշվածքի չափն է, V - ն՝ կտրման արագությունը, γ - ն՝ կտրիչի առջևի անկյունը, α - ն՝ գործիքի հետևի անկյունը, C_i - ն՝ համեմատականության գործակիցը:

Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներ ունեցող գործիքների մաշակայունությունը վերոհիշյալ [6] բանաձևով որոշելիս պարզվում է, որ ճշգրիտ և միանշանակ արդյունքներ չեն ստացվի՝ առանց հաշվի առնելու թիթեղիկների ծակոտկենությունը: Ծակոտկենությունների ազդեցությունները ևս միանշանակ չեն, քանի որ դրանց ազդեցությունները կարող են փոխվել կտրման ռեժիմներից, կտրման զոնայում առաջացող ջերմաստիճանից և, ինչու չէ, նաև թիթեղիկի մակերևույթային խորդուբորդություններից:

Կատարված հետազոտություններից պարզվել է, որ եթե ծակոտկենության տոկոսը բարձր է (ըստ ծավալի՝ 0,8%), գործիքի մաշման ինտենսիվությունը մեծ է: Նույնը կարելի է ասել կտրման զոնայում առկա մեծ «խոռոչներ»-ի մասին, որոնք արագացնում են գործիքի մաշումը:

Հաշվի առնելով ծակոտկենության գործոնը՝ բանաձևը կարելի է արտահայտել հետևյալ ձևով.

$$T = \frac{C_i h_3 \delta_B^t}{(\text{ctg} \alpha - \text{tg} \gamma) V \sigma_{T_m}^{t-v}} \cdot K, \quad (7)$$

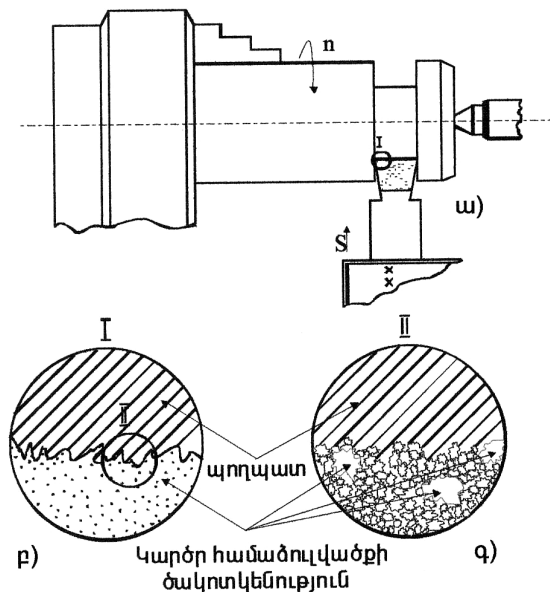
որտեղ K - ն բնորոշում է կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ծակոտկենությունը, որի մոտավոր արժեքները տրված են աղյուսակում:

Ծակոտկենությունը, %	0,8...0,7	0,6...0,5	0,4...0,3
K գործակցի մոտավոր արժեքները	0,88...0,92	0,90...0,96	0,95...0,98

Փորձնական տվյալները ցույց են տալիս, որ կարծր համաձուլվածքե գործիքի մաշակայունության կախվածությունը ծակոտկենությունից և թիթեղիկի խորդուբորդությունից կարող է փոփոխվել 10-15%-ի սահմաններում, ինչը հատկապես պարզորոշ երևում է կտրման արագությունը (V), խորությունը (t), մատուցումը (S)

ավելացնելիս, որի դեպքում մեծանում են կտրման ուժերը, և կտրման զոնայում գտնվող «խոռոչներ»-ում մաշման ինտենսիվությունը մեծանում է:

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևույթների ծակոտկենության և խորդուբորդությունների ազդեցությունը մշակվող մետաղի մաքրության աստիճանի վրա սխեմատիկորեն ցույց է տրված խառատային հաստոցի վրա ակոսի մշակման դեպքում, ուր կտրող գործիքը՝ ակոսահան կտրիչը, շարժվում է միայն լայնական ուղղությամբ և գործիքի կտրող եզրը արտատպվում է նախապատրաստվածքի մշակված ակոսի մակերևույթի վրա (նկ. 2): Փաստորեն մշակվող նախապատրաստվածքի վրա, ակոսի վզիկի տեղամասում, ստացվում է գործիքի կտրող եզրի ճիշտ պատկերը: Կտրման գործընթացում նախապատրաստվածքի վզիկի տեղամասում խորդուբորդությունների մեծությունները անընդհատ փոփոխվում են, որը կապված է կտրիչի կտրող եզրի մաշման, ինչպես նաև կարբիդների պոկվելու և կտրող եզրում քայքայման նոր «օջախների» առաջացման հետ: Առավել ծանր վիճակ է ստեղծվում այն մասնիկների համար, որոնք կից են ծակոտկենությանը, քանի որ վերոհիշյալ մասնիկների համար պոկվելու հավանականությունն ավելի մեծ է:



Նկ. 2. Կարծր համաձուլվածքե գործիքով խառատային հաստոցի վրա մշակման սխեմա

Միանշանակ ճիշտ է այն ենթադրությունը, որ կտրող եզրում ծակոտկենության հայտնվելը օժանդակում է մշակվող մակերևույթի վրա խորդուբորդությունների նոր, ժամանակավոր գագաթների առաջացմանը (նկ. 2բ,գ): Ծակոտկեն տեղամասերը մշակմանը ամնիջականորեն չեն մասնակցում, մշակումը կատարվում է ծակոտկենությանը կից կարբիդների միջոցով, որոնք ժամանակի ընթացքում մաշվում, իսկ առանձին դեպքերում, մյուս, ավելի հեռու գտնվող կարբիդների համեմատությամբ

հայտնվում են ավելի թույլ կապերի մեջ, քանի որ ծակոտկենության տեղամասերում կապերը խզվում են, ինչն էլ պատճառ է դառնում կարբիդների պոկվելուն: Կտրիչի կտրող եզրի տվյալ տեղամասում այս երևույթը դադարում է գործելուց, երբ գործիքի կտրող եզրը մաշվում է և ծակոտկենության տվյալ կետը, ի հաշիվ կից կարբիդների մաշվելուն դադարում է գոյություն ունենալուց, և այս անգամ հնարավոր է դառնում ծակոտկենության ուրիշ կետերի երևան գալը կտրիչի կտրող եզրի տարբեր տեղամասերում (նկ. 2 գ):

Փորձնական տվյալները ցույց են տվել, որ ժամանակի առումով գործիքի կտրող եզրի բթացմանը զուգընթաց մշակվող մակերևույթի խորդուբորդությունների ցուցանիշներն աստիճանաբար մեծանում են, իսկ առանձին միկրոտեղամասերում, դրանք կարող են ինչպես աճել, այնպես էլ նվազել՝ կապված գործիքի կտրող եզրի տվյալ դիրքի վիճակից:

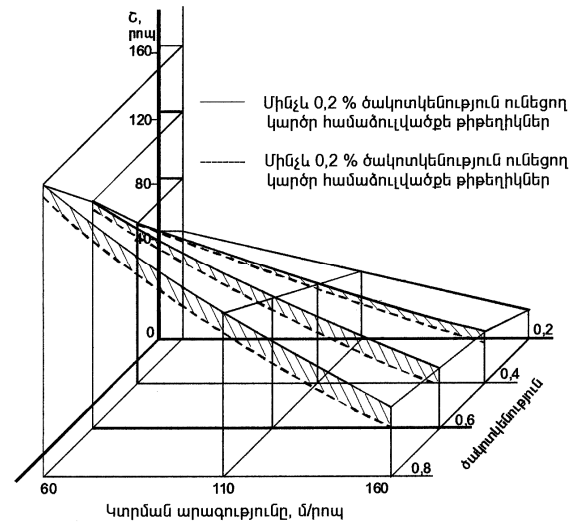
Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ծակոտկենության և մակերևութային խորդուբորդությունների ազդեցությունները վերացնելու և մաշակայունությունը բարձրացնելու, համար առաջարկվում է թիթեղիկների մակերևույթներն ամրացնել դժվարահալ մետաղով՝ ռենիումով: Ռենիումն օժտված է ֆիզիկամեխանիկական բարձր հատկանիշներով (մաշակայունություն, ջերմակայունություն, կոռոզակայունություն, շփման փոքր գործակից, ամրություն և այլն): Ռենիումի մաշակայուն շերտը ստացվում է ամոնիումի պերռենատից (NH_4ReO_4), որի անհրաժեշտ թանձրության ջրային լուծույթով կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկները պատվում են, չորացվում և $1000...1200^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանում ջրածնի միջավայրում ենթարկում ջերմաքիմիական մշակման՝ թիթեղիկների մակերևույթներին նստեցնելով մաքուր ռենիումի և նոր ֆազերից բաղկացած մաշակայուն շերտ [2]: Թիթեղիկները ռենիումի շերտով ծածկութապատումը, նվազեցնում է մակերևութային խորդուբորդությունները, ռենիումը կոբալտի հետ առաջացնում է անընդհատ պինդ լուծույթներ՝ ամուր կապ ստեղծելով կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկի և մաշակայուն շերտի միջև:

16B16K խառատային հաստոցի վրա կատարած փորձերը ($V=60,110,160$ մ/րոպ, $S=0,12$ մմ/պտ, $t=1,2$ մմ, կտրիչ T5K10, մշակվող նյութը՝ պողպատ 45) ցույց են տվել, որ ռենիումով ամրացված կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մաշակայունությունը սովորական գործարանային թիթեղիկների համեմատ բարձրանում է $1,8...2,0$ անգամ: Ռենիումապատված գործիքների մաշակայունության բարձրացումը կապված է ռենիումից ստացված և նոր ֆազերից բաղկացած մաշակայուն շերտի հետ: Նվազագույն (մինչև $0,2\%$) ծակոտկենություն ունեցող կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մաշակայունությունը $8\text{--}12\%$ -ի չափով գերազանցել է այն թիթեղիկների մաշակայունությանը, որոնց ծակոտկենությունը տատանվել է $0,7$ - ից մինչև $0,8\%$ ըստ ծավալի (նկ.3):

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևութային անհարթությունների ազդեցությունը գործիքի մաշակայունության վրա պարզելու համար ընտրել ենք քառանիստ թիթեղիկներ՝ $0,5\%$ ծավալային ծակոտկենությամբ և “НЕРИС-ЧШП” սարքի օգնությամբ ողորկել, փայլեցրել, վերածել հայելային մակերևույթի և կատարել մեխանիկական փորձարկումներ, որոշել կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների խորդուբորդությունների ազդեցությունները գործիքի մաշակայունության վրա:

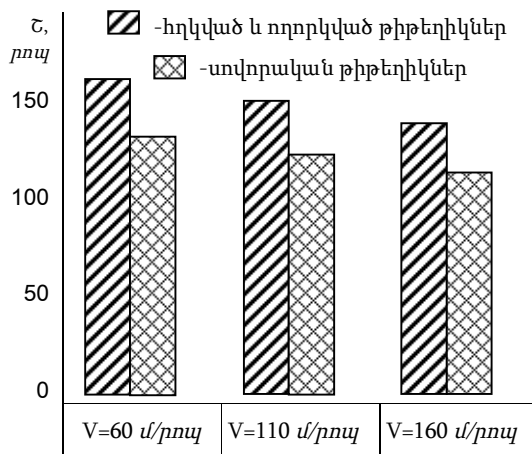
Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ողորկումը և փայլեցումը կատարել ենք տարբեր մեծության ալմաստի փոշիներ պարունակող ալմաստային էլաստիկ սկավառակների վրա և ողորկման ժամանակ թիթեղիկների տաքացումից

խուսափելու համար օգտագործել ենք հովացնող հեղուկ: Թիթեղիկների մակերևութային խորդուբորդությունները որոշել ենք պրոֆիլագիր-պրոֆիլաչափ «Կալիբր» գործարանի 201 տիպի սարքի օգնությամբ, իսկ ծակոտկենությունը՝ МИМ – 7 տիպի միկրոսկոպի օգնությամբ x200 խոշորացմամբ:



Նկ.3. Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքի գործիքի մաշակայունության կախվածությունը կտրման արագությունից և թիթեղիկի ծակոտկենությունից:
Գործիք – T5K10, $S \times t = 0,12 \times 1,2$

Մեխանիկական փորձարկումները կատարել ենք քառանիստ թիթեղիկներ ունեցող մեխանիկական ամրացումով գործիքների միջոցով, որի արդյունքները բերված են նկ. 4 - ում:



Գիտափորձերի արդյունքները պարզորոշ ցույց են տալիս, որ մակերևութային խորդուբորդություններ ունեցող կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկները ունեն համեմատաբար փոքր մաշակայունություն՝ ողորկված թիթեղիկների մաշակայունության ցուցանիշների հետ համեմատած՝ կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևութային խորդուբորդությունների դեպքում մշակված մետաղի մակերևութի մաքրությունը ևս ցածր է ողորկված թիթեղիկներով մշակված մետաղի մակերևութային մաքրությունից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Крагельский И.В.** Трение и износ. –М.: Машиностроение, 1968.
2. **Овсеян Г.С., Галоян А.Г., Карапетян К.Г.** Применение тугоплавких металлов в инструментальном хозяйстве // Аспирант и соискатель. – М., 2003. – № 4. – С. 233-235.

«Էներգոկոմպլեքս» ՍՊԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 17.03.2006:

К.Г. КАРАПЕТЯН

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ОТ ПОРИСТОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН

Рассматриваются вопросы выявления влияния пористости и шероховатости металлокерамических твердосплавных пластин на повышение износостойкости инструментов. Выявлено, что пористость и шероховатость уменьшают износостойкость инструментов. Для уменьшения этого влияния целесообразно покрыть поверхности пластин слоем нитрида, карбонитрида, а также износостойким покрытием тугоплавких металлов.

Ключевые слова: твердосплавные пластины, пористость, шероховатость, износостойкость, поверхностный слой.

K.G. KARAPETYAN

DEPENDENCE OF INSTRUMENT DURABILITY ON POROSITY AND SURFACE ROUGHNESS OF CARBIDE PLATE

The problems of revealing the porosity and roughness of metal-ceramic carbide plate influence on increase of tool durability is considered. It is revealed that porosity and roughness decrease the tool durability and for decreasing this influence it is expedient to cover the surface of the plate with nitride and carbonitride as well as with durable covering of refractory metals.

Keywords: durability, porosity, roughness, carbide plate.

Т.Г. АФРИКЯН

МИКРОПРОФИЛЬ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ЗЕРНАМИ

Проведено экспериментальное исследование рабочих поверхностей экструдированных плоско-периферийных шлифовальных кругов 1A1 с ориентированными зернами и базовыми кругами. Показано, что количество зерен на рабочей поверхности шлифовальных кругов с ориентированными зернами почти в три раза больше, чем у кругов, изготовленных по традиционной технологии. Изучена однородность распределения алмазных зерен на рабочей поверхности шлифовальных кругов.

Ключевые слова: микрорельеф, ориентированные зерна, экструзия, шлифовальный круг, однородность.

Одним из путей реализации скрытых возможностей повышения резерва износа абразивных зерен является создание шлифовальных кругов с ориентированными зернами относительно их рабочей поверхности. Поэтому для производства абразивного инструмента весьма актуальной задачей является разработка и исследование технологии получения шлифовальных кругов с ориентированными зернами.

В настоящее время абразивный инструмент изготавливают прессованием, литьем и гальваническим заравниванием, где алмазные зерна занимают случайное, произвольное положение, в результате чего их режущая способность используется не полностью.

С целью повышения производительности, уменьшения удельного расхода алмазов, снижения температуры в зоне резания, повышения чистоты обработанной поверхности весьма перспективным является создание инструмента с упорядоченным расположением зерен.

Для осуществления геометрической ориентации зерен ориентаторами служат электростатические или электромагнитные поля, центробежные силы, вязкое течение среды в виде потока с большим градиентом скорости и т.д. Среди известных методов наиболее перспективным является способ ориентирования путем формирования абразивоносного слоя экструзией, при котором процесс ориентирования совмещается с процессом формования и происходит автоматически. Другим достоинством этого метода является возможность автоматизации процесса формования абразивного инструмента в целом.

Наряду с совмещением процессов формования и ориентирования абразивных зерен технология изготовления шлифовальных кругов экструзией позволяет избежать ручных операций укладки и выравнивания шихты в пресс-форме, что создает большие возможности для автоматизации технологии изготовления шлифовальных кругов.

При испытании кругов на работоспособность выяснилось, что в случае обработки кругов с ориентированными зернами чистота поверхности выше, чем в случае обработки кругов с неориентированными зернами [1]. При этом возникает вопрос о причинах такого явления, поскольку ориентированные зерна должны давать более глубокие царапины на шлифовальной поверхности. Возможно, что здесь играет роль возрастающее количество зерен, участвующих в резании. Поэтому важно исследование микропрофиля рабочей поверхности круга.

Рис.1

313

125/100 100%-й концентрации. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Таблица

1 квад- ра- та	Круги с ориентированными зернами				Базовые круги			
	Количество зерен с острыми вершинами				Количество зерен с острыми вершинами			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	114	124	112	116	43	35	37	40
2	121	119	118	123	32	38	34	31
3	117	115	121	109	46	42	36	35
4	112	128	113	120	43	39	33	41
5	111	117	129	122	34	32	46	38

Из таблицы видно, что при обработке кругами с ориентированными зернами в резании участвует большое количество алмазных зерен с острыми вершинами, и, следовательно, чистота обработанной поверхности выше, чем при обработке базовыми кругами.

При испытании экструдированных кругов на работоспособность выявлено, что высота микронеровностей отшлифованной поверхности в 1,41 раза меньше кругов, изготовленных по традиционной технологии [1].

На количество и работоспособность шлифовальных кругов оказывает значительное влияние однородность распределения зерен, являющаяся одним из важных показателей качества алмазно-абразивных инструментов. Однако обеспечение однородности распределения зерен в алмазных инструментах сложно из-за значительной разности удельных весов и размеров частиц компонентов шихты, из которого формируется алмазносный слой инструмента. Для этого используют известные методы оценки однородности порошковых смесей [2], а также специальные методы контроля однородности распределения зерен [3].

В литературе отсутствуют данные о влиянии способа формирования абразивоносного слоя инструмента на однородность распределения зерен, а также об их количественной оценке. Между тем известно, что экструзия порошковых материалов позволяет получать более однородную структуру и высокие физико-механические свойства изделий по сравнению с прессованными.

В данной работе приводятся результаты исследования влияния технологии формирования абразивоносного слоя шлифовальных кругов на однородность распределения зерен. При этом дается количественная оценка степени однородности распределения алмазных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга.

В исследованиях в качестве критерия оценки однородности распределения абразивных зерен нами принималось теоретическое количество зерен на единице поверхности абразивоносного слоя. С этой целью рабочие поверхности экструдированных и прессованных шлифовальных кругов разбивали

на квадраты. Были взяты круги с разными коэффициентами вытяжки ($k=4$; $k=6$; $k=10$). Сторону квадрата, в котором подсчитывали количество абразивных зерен, принимаем равной 2 мм.

На том же микроскопе, снабженном окулярным винтовым микрометром, производился подсчет зерен в каждом квадрате. По результатам подсчета построены гистограммы плотности распределения абразивных зерен (рис.2).

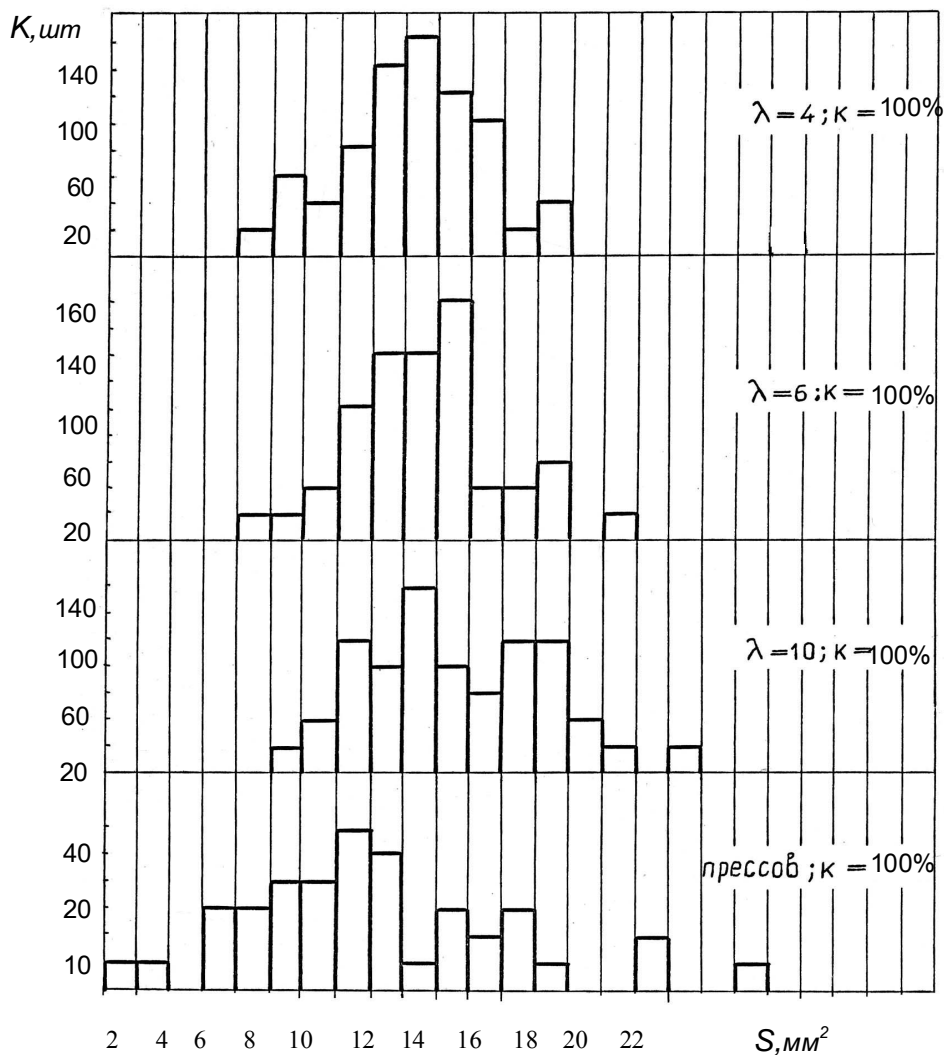


Рис.2. Гистограммы распределения алмазных зерен на рабочих поверхностях экструдированных и прессованных кругов

Как видно из гистограмм, распределение количества алмазных зерен на рабочей поверхности алмазоносного слоя приближается к нормальному.

Исходя из гистограммы, с помощью программного пакета “Excel” построены кривые нормального распределения, которые наглядно иллюстрируют влияние технологии формования на однородность распределения зерен в объеме абразивоносного слоя круга. На рис 3 приведены кривые нормального распределения зерен (160/125) экструдированных и прессованных кругов 100%-ной относительной концентрации.

Как видно, однородность распределения зерен в экструдированных кругах выше, чем в прессованных. С увеличением коэффициента вытяжки однородность распределения абразивных зерен значительно возрастает.

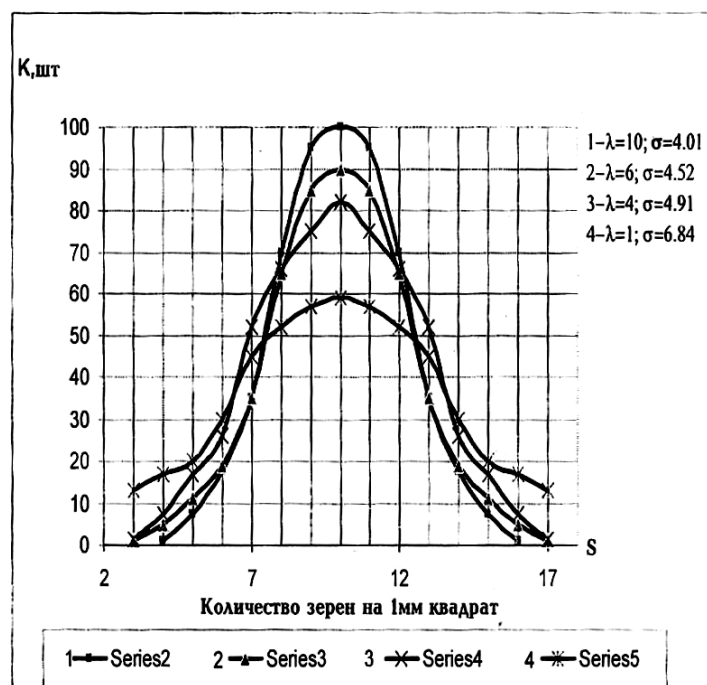


Рис.3. Кривые распределения абразивных зерен на рабочих поверхностях экструдированных и прессованных кругов

Повышение однородности распределения зерен в экструдированных кругах является одним из преимуществ технологии экструзии по сравнению с традиционным методом прессования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Африкян Т.Г.** Работоспособность экструдированных алмазных шлифовальных кругов // Сверхтвердые материалы. – 2004. - 1 5. – С. 65-73.
2. **Федорченко И.М., Андриевский Р.А.** Основы порошковой металлургии. – Киев: Наук. думка, 1984. – 408 с.
3. **Бурдун Г.Д., Сурогин В.Ф., Даршевский В.Г.** Методы и средства контроля качества алмазного инструмента. – М.: Машиностроение, 1989. – 119 с.

Гаварский государственный университет. Материал поступил в редакцию 10.10.2004.

S.Z. ԱՖՐԻԿՅԱՆ

ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՎԱԾ ՀԱՏԻԿՆԵՐՈՎ ԱՐՏԱՄՂՎԱԾ ՀՂԿԱՍԿԱՎԱՌԱԿՆԵՐԻ ԲԱՆՎՈՐԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՄԻԿՐՈՊՐՈՖԻԼԸ

Փորձնականորեն հետազոտվել են արտամղված կողմնորոշված հատիկներով 1A1 տիպի հարթ-պարագծային և բազային հղկասկավառակների աշխատանքային մակերևույթները: Հաշվարկվել է միավոր մակերեսի վրա հատիկների քանակը: Ցույց է տրված, որ ասեղնաձև հատիկների քանակը կողմնորոշված հատիկներով հղկաքարի բանվորական մակերևույթի վրա մոտավորապես երեք անգամ ավելի է, քան ավանդական տեխնոլոգիայով ստացված հղկաքարերի բանվորական մակերևույթի վրա: Հետազոտվել է նաև հղկաքարերի բանվորական մակերևույթի վրա ալմաստե հատիկների բաշխման համասեռությունը:

Առանցքային բառեր. միկրոռելիեֆ, կողմնորոշված հատիկներ, արտամղում, հղկասկավառակ, համասեռություն:

T.H. AFRIKYAN

RASP-DISK WORKING SURFACE MICROPROFILE ORIENTED BY EXTRUDED DIAMOND GRANULES

Working surfaces of smooth, circled and oriented diamond rasps of 1A1 type with usual beans have been experimentally researched. The quantity of the rasp beans on one square centimeter is calculated. It is shown that the bean quantity on the working surface with oriented rasp beans is three times more than that of the beans on the working surface with usual rasps. The distribution homogeneity of the diamond granule on the working surface of the rasps is also investigated.

Keywords: microrelief, oriented beans, extrusion, diamond rasp, homogeneity.

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Տ.Ս. ԱՂԱՄՅԱՆ, Մ.Է. ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ

ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐԿԱԹԻ ԵՎ ՊՂՆՁԻ ՍՈՒԼՖԻԴՆԵՐԻ ՌԵԱԿՑԻՈՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ուսումնասիրվել է մեխանաքիմիական ակտիվացման ազդեցությունը երկաթի և պղնձի սուլֆիդների ռեակցիոն կարողությունների վրա: Ցույց է տրվել է, որ սուլֆիդները ակտիվացումից հետո ենթարկվում են այլումինաթերմային վերականգնման՝ առաջացնելով մետաղներ: Մանրացման աստիճանի մեծացման հետ այլումինաթերմային վերականգնման արագությունն աճում է: Ուսումնասիրվել են երկաթի և պղնձի սուլֆիդների հետ այլումինումի փոխազդեցության կինետիկական օրինաչափությունները: Ցույց է տրվել, որ փորձարարական տվյալները լավ նկարագրվում են մեխանաքիմիական ռեակցիաների կինետիկական մոդելով:

Առանցքային բառեր. մեխանաքիմիա, այլումինաթերմիա, սուլֆիդ, ակտիվություն, երկաթ, պղինձ:

Պինդֆազ քիմիական ռեակցիաներն ընկած են շատ քիմիական և մետալուրգիական արտադրական գործընթացների հիմքում: Այդ ռեակցիաների բնորոշ առանձնահատկությունները դրանց փոքր արագություններն են, ինչին հասնում են այդ ռեակցիաների ակտիվության մեծացմանը հանգեցնող նոր արդյունավետ եղանակներ փնտրելով: Այդ տեսակետից ժամանակակից արդյունավետ եղանակ է համարվում մեխանաքիմիական ակտիվացումը, որի հիմքում ընկած է նյութերի նուրբ մանրացումը, ինչի հետևանքով նյութերը ենթարկվում են յուրահատուկ ֆիզիկաքիմիական փոփոխությունների, և ոչ միայն ստացվում են որակապես նոր հատկանիշներով նյութեր, այլև տեխնոլոգիական գործընթացները կարող են ընթանալ բոլորովին այլ ուղղություններով:

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է մեխանաքիմիական ակտիվության ազդեցությունը, երկաթի և պղնձի սուլֆիդների այլումինաթերմային վերականգնման վրա, այսինքն՝ ուսումնասիրվում են նուրբ մանրացման հետևանքով երկաթի և պղնձի սուլֆիդների այլումինաթերմային վերականգնման հարցերը: Այդ ուսումնասիրություններն ընկած են պղինձ պարունակող սուլֆիդային հանքանյութերի և խտանյութերի այլումինաթերմային վերականգնման գործընթացի հիմքում:

Սուլֆիդային պղնձային հանքանյութերի ուղղակի այլումինաթերմային վերականգնումը հնարավորություն կտա շրջանցել սուլֆիդների նախնական թրծման փուլը, որը բարդ է և կապված է SO_2 -ի կորզման բնապահպանական բազմաթիվ լուծում չստացած հարցերի հետ:

Երկաթի և պղնձի սուլֆիդների ֆիզիկաքիմիական հատկությունների փոփոխություններին նվիրված բազմաթիվ աշխատանքներում [1-4] մանրամասն ուսումնասիրված են սուլֆիդների օքսիդիչ թրծման և ջերմային դիսոցման հարցերը, երկաթի և պղնձի սուլֆիդների ֆիզիկաքիմիական փոխարկումները թրծման և օքսիդացման գործընթացներում:

Օրինակ՝ ցույց է տրված, որ պիրիտի օքսիդացման և դիսոցման արդյունքներն իրար մոտ են, մի բան որ չի նկատվում այլ սուլֆիդներում: Այդ էֆեկտը բացատրվում է նրանով, որ FeS_2 -ի օքսիդացումն ընթանում է նրա ջերմային քայքայմանը զուգահեռ՝ ըստ հետևյալ ռեակցիայի՝ $2\text{FeS}_2 = 2\text{FeS} + \text{S}_2$ [1]:

Ուսումնասիրված են նաև երկաթի և պղնձի սուլֆիդների ռեակցիոն ակտիվության հարցերը նույն մանրացման հետևանքով [5,6]: Ցույց է տրված, որ մանրացնելիս տեղի է ունենում մետաղների օքսիդացում մինչև համապատասխան թիո- և պոլիթիոմիացություններ և օքսիդներ: Ցույց է տրված նաև, որ մետաղների սուլֆիդների օքսիդացումը ակտիվացումից հետո ընթանում է համեմատաբար ցածր ջերմաստիճաններում: Աշխատանքում ուսումնասիրվում է նույն մանրացման ազդեցությունը FeS_2 , FeS , CuS , CuS_2 -ի և ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացների վրա [7,8]: Գիբսի էներգիայի փոփոխության հաշվարկը երկաթի և պղնձի սուլֆիդների ալյումինաթերմային վերականգնման ռեակցիաների համար ցույց են տվել, որ այդ ռեակցիաները թերմոդինամիկորեն ընթացող են:

$$\Delta G_{\text{Fe}_2\text{S}_3+\text{Al}} = -73,77 \text{ կկալ/մոլ} = -309,09 \text{ կՋ/մոլ},$$

$$\Delta G_{\text{FeS}+\text{Al}} = -69,47 \text{ կկալ/մոլ} = -291,08 \text{ կՋ/մոլ},$$

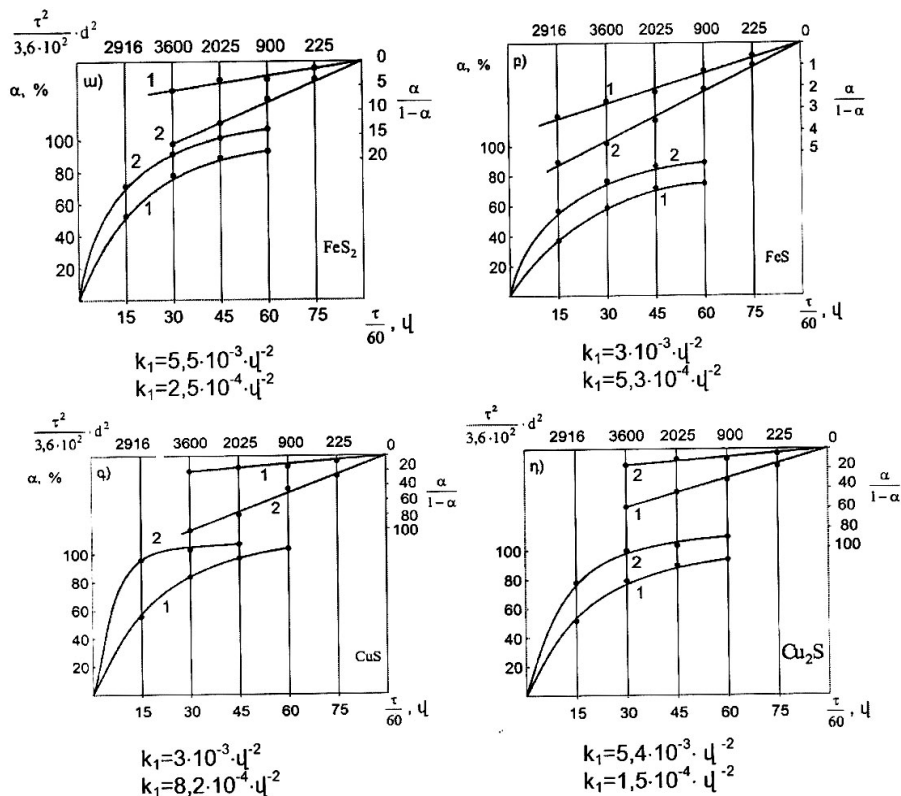
$$\Delta G_{\text{CuS}+\text{Al}} = -91,61 \text{ կկալ/մոլ} = -384,18 \text{ կՋ/մոլ},$$

$$\Delta G_{\text{Cu}_2\text{S}+\text{Al}} = -115,27 \text{ կկալ/մոլ} = -482,98 \text{ կՋ/մոլ}:$$

Փորձարարական ուսումնասիրությունները կատարվել են քիմիապես մաքուր FeS_2 , FeS , CuS և Cu_2S միներալների համար, որոնց մաքրությունը հաստատված է ռենտգենաֆազ վերլուծության տվյալներով: Նյութերի սկզբնական մանրացման աստիճանը կազմել է $-0,1...-0,074$ մմ: Հետագա մանրացումը կատարվել է լաբորատոր M-30 տիպի հունգարական թրթռաղացում: Մեխանիկական էներգիայի փոխանցման ինտենսիվությունը եղել է 2 և 4,7 կՋ/ր (40 և 80 Վտ հզորություններով): Հակադիր կողմերում տեղավորված երկու թմբուկներից յուրաքանչյուրի ծավալը կազմել է 600 սմ³: Մանրացումը կատարվում է 50 գ փորձանմուշի և 15 գ ալյումինիումի փոշու խառնուրդի հետ: Ծծումբը կապելու նպատակով ավելացվել է նաև 15 գ CaO (Al -ի և CaO -ի քանակները վերցված են փորձանմուշի 30%-ի չափով, որն ընդունված է ալյումինաթերմային գործընթացներում) [2]:

Ստացված խառնուրդը մանրացվել է տարբեր տևողություններով՝ 15, 30, 60, 75 և 90 ր: Մանրացնող գնդերի շառավիղը կազմել է 0,8 սմ, իսկ զանգվածը՝ փորձանմուշի զանգվածից 35 անգամ մեծ: Ստացված ֆրակցիաները ենթարկվել են անվառարան ալյումինաթերմային վերականգնման ($\text{Ti}+\text{C}$)՝ հարուցչի առկայությամբ, ավագով լցված հրակայուն թասի մեջ: Ալյումինաթերմային վերականգնման են ենթարկվել նաև նույն սուլֆիդների չակտիվացված փորձանմուշներ: Սուլֆիդների ալյումինաթերմային վերականգնումը բուռն է ընթանում՝ անջատելով մեծ քանակությամբ ջերմություն: Այդ ջերմության հաշվին տեղի է ունենում մետաղական ֆազի առաջացում, որը սատելուց հետո հեշտ պոկվում է՝ առաջացնելով մետաղական գնդիկներ: Մետաղական գնդիկները կշռվել են և ենթարկվել քիմիական վերլուծության: Այդ նպատակով ստացված մետաղական գնդիկները լուծվել են երեք թթուներում (HCl , HNO_3 և H_2SO_4) և, որոշակի ծավալի բերելուց հետո լուծությունում որոշվել է երկաթի քանակը՝ տրիոլոնոմետրային և Cu -ի քանակը՝ յոդոմետրային եղանակներով: Բացի դրանից, երկաթի և պղնձի քիչ քանակները որոշվել են ֆոտոկալորիոմետրային և ատոմաադսորբցիոն եղանակներով: Մետաղների կորզման աստիճանը (α ,%) որոշվել է ստացված մետաղի զանգվածի և տեսականորեն ստացվելիք զանգվածի հարաբերությամբ՝ արտահայտված տոկոսներով:

Քննարկված սուլֆիդների չակտիվացված նմուշների այլումինաթերմային վերականգնման փորձերի արդյունքները զգալիորեն զիջում են ակտիվացված փորձանմուշների տվյալներին: Այս դեպքում առավելագույն կորզման աստիճանը երկաթի սուլֆիդների դեպքում չի գերազանցում 50%-ը, իսկ պղնձի սուլֆիդների դեպքում՝ 62%-ը: Նկարում ներկայացված են երկաթի և պղնձի սուլֆիդների այլումինաթերմային վերականգնման արդյունքները մեխանիկական ակտիվացված փորձանմուշներով: Ինչպես երևում է, այդ տվյալները խիստ տարբերվում են ոչ ակտիվացված նմուշների տվյալներից: 60 *ր* մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքում 4,7 *կՋ/ր* ռեժիմով ակտիվացնելիս FeS₂-ի և CuS-ի մետաղները կորզվում են 100%-ով, FeS-ից մետաղի կորզման աստիճանը կազմում է 80%, իսկ Cu₂S-ից՝ 86%:



Նկ. Սուլֆիդների այլումինաթերմային վերականգնման կինետիկական կորերը
 1 - 2,0 *կՋ/ր* և 2 - 4,5 *կՋ/ր* աղացի հզորությունների դեպքում հետևյալ ռեակցիաների համար՝
 ա) FeS₂+Al; բ) FeS+Al; գ) CuS+Al; դ) Cu₂S+Al

Այսպիսով, մեխանաքիմիական ակտիվացման ընթացքում մանրացման արագությունը կախված է սուլֆիդների ֆիզիկամեխանիկական հատկություններից: Նույր մանրացման ընթացքում սուլֆիդների բյուրեղային ցանցը ենթարկվում է

խաթարումների՝ կախված միջբյուրեղային տարածությունների փոքրացումից: Հետևաբար, սուլֆիդների ռեակցիոն ունակությունը կապված է ոչ միայն տեսակարար մակերեսի մեծացման, այլև բյուրեղային ցանցի խաթարումների հետ: Այս երկու գործոնները չի կարելի առանձնացնել, քանի որ դրանք գործում են միասին. կարելի է խոսել միայն այս կամ այն գործոնի գերակշռության մասին՝ կոնկրետ ակտիվացման գործընթացում: Սուլֆիդների մեխանաքիմիական ակտիվացման ժամանակ ընթացող պինդֆազ ռեակցիաներն իրենց բնույթով տարբերվում են թրծման ժամանակ ընթացող ռեակցիաներից: Մակերեսի վրա կատարվող ակտիվ փոխարկումների և մակերեսի անընդհատ թարմացման շնորհիվ ստեղծվում են հարմար պայմաններ, որ ռեակցիաներն ընթանան կինետիկականին նման ռեժիմում: Այդ պատճառով ուսումնասիրվել են նաև սուլֆիդների ալյումինաթերմային վերականգնման կինետիկական օրինաչափությունները: Մեխանաքիմիական ռեակցիաներն ընթանում են անհամասեռ համակարգերում, որոնցում կարևորվում են ռեակցիոն տիրույթի առաջացումը և հարուցման առաջացման եղանակը: Ակտիվացման ժամանակ հարուցումը կախված է երեք գործոններից.

1) բարձր ջերմաստիճանների առաջացման երևույթով, որոշակի ռեակցիոն տեղամասում կամ, այսպես կոչված, «տաք» կետերի առկայությամբ, որոնց կյանքի տևողությունը շատ փոքր է և կազմում է $10^{-3}...10^{-5}$ վ, որոնք, սակայն կարող են մեծ դեր խաղալ պինդ նյութերի մեխանաքիմիական ռեակցիաների հարստացման գործում;

2) դիսլոկացիայի երևույթի առկայությամբ: Մոլորաբար, պլաստիկ դեֆորմացիաների ժամանակ մասնիկների ակտիվացումը տեղի է ունենում շնորհիվ այն էներգիայի, որն անջատվում է մակերեսի վրա տեղի ունեցող դիսլոկացիոն երևույթներից;

3) քիմիական կապերի խզման հետ կապված երևույթներով (օրինակ, բյուրեղացման կենտրոնների տեղափոխության հետ ճեղքերով) և լիցքավորված մասնիկների առաջացումով: Այդպիսի կենտրոնների կյանքի տևողությունը կախված է վերականգնված մակերեսային շերտերից և կարող է բավարար պայման հանդիսանալ պինդ փոխարկումների համար:

Նկարում բերված փորձարարական տվյալները մշակվել են ստորև բերված հավասարման կոորդինատներում, քանի որ այստեղ մետաղների կորզման աստիճանն ուղիղ համեմատական է ակտիվացման տևողությանը [8].

$$\frac{\alpha}{1-\alpha} = k\tau \dots, \quad (1)$$

որտեղ α -ն մետաղի կորզման կամ փոխարկման աստիճանն է, τ -ն՝ ակտիվացման տևողությունը, k -ն՝ հաստատուն մեծություն:

Մշակման արդյունքները բերված են նկարում: Ըստ նկարի, երկաթի և պղնձի սուլֆիդների ալյումինաթերմային վերականգնման ռեակցիաների համար ստացված տվյալները (1) հավասարման կոորդինատներով ունեն գծային տեսք, որոնք դուրս են գալիս կոորդինատների սկզբնակետով: K հաստատունը նշված ռեակցիաների համար արագության հաստատունն է և, կախված ակտիվացման ռեժիմից, ունի հետևյալ արժեքները.

$$\begin{aligned} k'_{\text{FeS}_2} &= 2,5 \cdot 10^{-4} q^{-2}, & k''_{\text{FeS}_2} &= 5,5 \cdot 10^{-3} q^{-2}, \\ k'_{\text{FeS}} &= 5,3 \cdot 10^{-4} q^{-2}, & k''_{\text{FeS}} &= 3,0 \cdot 10^{-3} q^{-2}, \end{aligned}$$

$$k'_{\text{CuS}} = 8,2 \cdot 10^{-4} q^{-2}, \quad k''_{\text{CuS}} = 3,5 \cdot 10^{-3} q^{-2},$$

$$k'_{\text{Cu}_2\text{S}} = 1,5 \cdot 10^{-4} q^{-2}, \quad k''_{\text{Cu}_2\text{S}} = 5,4 \cdot 10^{-3} q^{-2}:$$

Ինչպես երևում է k -ի արժեքներից, մանրացման հզորությունից կախված, ռեակցիաների արագությունն աճում է մոտ 10 անգամ: Այսինքն՝ մեխանաքիմիական ռեակցիայի արագությունն աճում է մասնիկների չափերի փոքրացումից, քանի որ այս դեպքում առավելագույնս լավանում են շփման պայմանները, և մեծանում են բյուրեղային ցանցի զանազան խոտորումները:

Այսպիսով, կարելի է սուլֆիդների ուղղակի՝ անվառարան այլումինաթերմային վերականգնման հարց առաջադրել՝ շրջանցելով թրծման ծանրագույն գործընթացը: Միաժամանակ, մեխանաքիմիական ակտիվացման մեթոդը կարելի է հաջողությամբ կիրառել գունավոր մետաղներ պարունակող սուլֆիդային հանքանյութերի և խտանյութերի մշակման տեխնոլոգիական գործընթացներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Смагунов В.Н., Рейнгольд Б.М., Молчанов В. И.** Об особенностях окисления пирита, активированного сверхтонким измельчением // ЖПХ. – 1976. – Т. 49, N10. – С. 2339-2341.
2. **Ормонт Б.Ф.** О связи между химической и механической прочностью очень твердых тел // ДАН СССР. – 1956. – Т. 106, N4. – С. 687-690.
3. **Кузнецов В.Д.** Поверхностная энергия твердых тел. – М.: Гос. изд. техн.-теорет. лит., 1954. – 220 с.
4. **Кармазин В. И., Денисенко А.И., Серго Е.Е.** Бесшаровое измельчение руд. – М.: Недра, 1978.
5. **Петерс К.** Механохимические реакции // В сб.: Труды Европейского совещания по измельчению. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 80-87.
6. **Суанто Е.** Изменение физических и химических свойств твердых тел при измельчении в вибрационной мельнице // Тр. VIII Менс. контр. по обогащению. – Л., 1968.
7. **Аввакумов Е.Г., Болдырев В.В., Кособудский И.Д.** Механическая активация твердофазных реакций. Сообщение 1. О взаимодействии пирита с железом // Изв. СО АН СССР. Серия хим. наук. – 1972. – Вып. 4, N9. – С. 45-50.
8. **Кособудский И.Д., Аввакумов Е.Г.** Механическая активация твердофазных реакций. III О связи степени превращения с величиной механической нагрузки // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1973. – Вып 5, N12. – С.135-137.

ՀՊՀՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 7.11.2005:

В.А. МАРТИРОСЯН, Т.С. АГАМЯН, М.Э. САСУНЦЯН

**ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ СУЛЬФИДОВ
ЖЕЛЕЗА И МЕДИ**

Исследовано влияние механической активации на реакционную способность сульфидов железа и меди. Показано, что сульфиды подвергаются аллюминотермическому восстановлению с получением металлов. Скорость аллюминотермического восстановления сульфидов увеличивается с увеличением дисперсности. Исследована кинетика механохимического взаимодействия сульфидов железа и меди с аллюминием. Показано, что экспериментальные данные хорошо описываются в рамках кинетической модели механохимической реакции.

Ключевые слова: механохимия, аллюминотермия, сульфид, активация, железо, медь.

V.H. MARTIROSYAN, T.S. AGHAMYAN, M.E. SASUNTSYAN

**MECHANO-CHEMICAL IMPACT INVESTIGATION ON COPPER AND IRON SULFIDE
CHEMICAL ACTIVITY**

The mechano-chemical impact on copper and iron sulfide is investigated. It is shown that after preactivation the sulfides can be reduced by the aluminothermic method with the formation of corresponding metals. The rate of thermal reduction increases with the increase of dispersion. The kinetic peculiarities of interaction of copper and iron sulfides with aluminum is exposed after mechano-chemical activation. It is shown that the experimental data are well described by the kinetic model of mechano-chemical reactions.

Keywords: mechano-chemistry, aluminothermic, sulfide, activation, iron, copper.

Ա.Ռ. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

**ՇԱՀՈՒՄՅԱՆԻ ՈՍԿԻ-ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐՈՒՄ
ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՀԱՆՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ
ՌԱՑԻՈՆԱԼԱՑՈՒՄ**

Դիտարկվել են Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրում կիրառվող մշակման համակարգի օպտիմալ տեխնոլոգիական պարամետրերի որոշման հարցերը: Բացահայտվել են բլոկից հանքաքարի կորզման գործակցի և կտրման փորվածքների ծավալների կախվածությունները բարձր մուտքերի միջև եղած հեռավորությունից: Դա թույլ է տալիս անալիտիկ եղանակով, հանքաքարում պայմանական ոսկու պարունակությունից կախված, որոշել բարձր մուտքերի միջև եղած ռացիոնալ հեռավորությունը:

Ստանդային բառեր. բլոկ, հանքաքար, տեխնոլոգիա, ապարաբարձիչ, բնամաս, շտրեկ, վերընթաց, համակարգ, օգտակար բաղադրիչ:

Հայաստանի Հանրապետությունում հետախուզված և շահագործվող մետաղական հանքավայրերի մեջ իր ուրույն տեղն ունի Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրը, որի հումքային հենքի վրա ներկայումս գործում է Կապանի ստորգետնյա հանքը:

Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրը բնութագրվում է հետևյալ լեռնաերկրաբանական և լեռնատեխնիկական պայմաններով.

- ✓ հիմնականում բարակից մինչև միջին հզորության հանքամարմիններ,
- ✓ հանքային մարմինների զառիթափ անկում,
- ✓ հանքաքարը և պարփակող ապարներն ունեն բավարար կայունություն,
- ✓ հանքաքարը չունի տեսակետիկության հակում:

Ըստ շահագործման նախագծի՝ Շահումյանի հանքավայրում նախատեսվում էր կիրառել երկու մշակման համակարգ. ա) 3 մ-ից փոքր հզորության հանքամարմինների դեպքում՝ հանքաքարի պահեստավորումաբ և բ) 3 մ-ից մեծ հզորության դեպքում՝ ենթահարկային շտրեկներով մշակման:

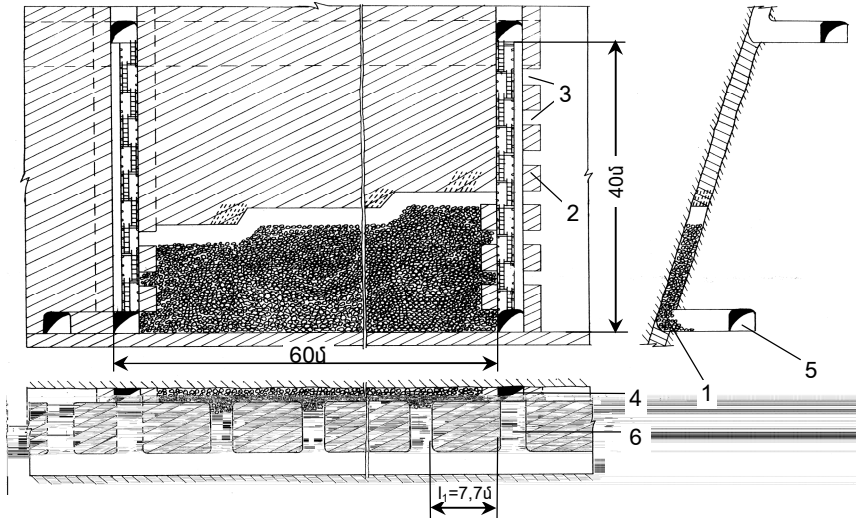
Հանքամարմինների՝ ըստ հզորության խմբավորման արդյունքում պարզվել է, որ հանքաքարի պաշարների հիմնական մասը կուտակված է 0,8...3 մ հզորությամբ հանքամարմիններում [1], ինչը պայմանավորում է հանքաքարի պահեստավորումով մշակման համակարգերի կիրառման տիրույթի ընդլայնումը:

Հանքում պահեստավորումով մշակման համակարգի կիրառվող տարբերակի բնորոշ առաձևահատկությունները հետևյալն են.

1) հանքային վազոնիկների մեջ հանքաքարային զանգվածի բարձր մոնիթինգով և բարձր մուտքերից, ППН-1С մակնիշի ապարաբարձիչի միջոցով (նկ.1),

2) հանությամբ տարածության պահպանման հիմնական միջոցը միջբլոկային բնամասերն են, բացակայում են հատակազանգվածային և առաստաղազանգվածային (միջհարկային) բնամասերը:

Մշակման համակարգի կիրառվող տարբերակի դեպքում զանգվածից պոկված հանքաքարի կորուստներ առաջանում են հանութային տարածության հատակին, բարձր մուտքերի միջև ընկած տարածությունում (l_1), քանի որ տեխնիկապես անհնար է ՍՍՀ-1C մակնիշի ապարաբարձիչի մուտքը հանութային տարածության նշված տեղամաս:



Նկ.1. Հանքաքարի պահեստավորմամբ մշակման համակարգ
1 - պոկված հանքաքար, 2 - բնամաս, 3 - անցումային փորվածք,
4 - վերընթաց, 5 - բացատարման շտրեկ, 6 - բարձր մուտքեր

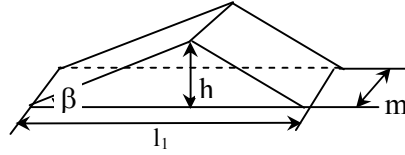
Ակնհայտ է, որ որքան մեծ է բարձր մուտքերի միջև եղած հեռավորությունը (փոքր բարձր մուտքերի թիվը), այնքան մեծ են հանութային տարածության հատակում ձևավորվող հանքաքարի կորուստները: Մյուս կողմից՝ բարձր մուտքերի թվի մեծացումը հանգեցնում է մշակման համակարգի ծախսերի մեծացմանը: Հետևաբար, բարձր մուտքերի միջև գոյություն ունի այնպիսի հեռավորություն, որի դեպքում հանքաքարի կորուստներն արդարացված են:

Այս օպտիմալացման խնդրի լուծման համար որպես նպատակային ֆունկցիա ընդունվում է հետևյալ արտահայտությունը [2], որը բոլորի շահագործումից առավելագույն շահույթ ապահովող պայմանն է.

$$(C_{\Phi} - C_{\text{սվգ}}) \cdot K_{\text{կ}} \rightarrow \max : \quad (1)$$

C_{Φ} -ն հանքաքարային զանգվածում օգտակար բաղադրիչի փաստացի պարունակությունն է, $q/\text{տ}(\%)$, $C_{\text{սվգ}}$ -ը՝ օգտակար բաղադրիչի նվազագույն արդյունաբերական պարունակությունը, $q/\text{տ}(\%)$, $K_{\text{կ}}$ -ն՝ ընդերքից հանքաքարի կորզման գործակից:

Հանութային տարածության հատակում թողնվող հանքաքարի կորուստների ծավալը կարելի է որոշել նկ.2-ում բերված գծապատկերի օգնությամբ.



Նկ.2. Հատակում թողնվող հանքաքարի քանակի որոշման գծապատկեր

$$V_h = \frac{l_1^2}{k_\phi 4} m_0 \operatorname{tg} \beta g_{\text{հատ}}, \text{ տ}, \quad (2)$$

որտեղ l_1 -ը բարձրման մուտքերի միջև ընկած հեռավորությունն է, k_ϕ -ն՝ հանքաքարի փխրեցման գործակիցը, β -ն՝ պոկված հանքաքարի բնական թեքման անկյունը, m_0 -ն՝ այն տեղամասերի քանակը հատակում, որտեղ մնում է պոկված հանքաքար, $g_{\text{հատ}}$:

$$n_h = \frac{L_p - (l_q + l_{pG})}{l_1 + l_{pG}}, \text{ հատ}, \quad (3)$$

որտեղ L_p -ն շահագործական բլոկի երկարությունն է, l_q -ն՝ վերընթացի լայնությունը, l_{pG} -ն՝ վերընթացի պահպանման համար թողնվող բնամասի երկարությունը, l_1 :

Ինչ վերաբերում է վերընթացների պահպանման համար թողնվող բնամասերին, ապա դրանց ծավալը կարելի է որոշել

$$V_{pG} = h_{pG} l_{pG} m n_{pG}, \text{ տ}^3 \quad (4)$$

արտահայտությամբ, որտեղ h_{pG} -ը բնամասի բարձրությունն է, l_{pG} -ը՝ բնամասի լայնությունը, m -ն՝ հանքամարմնի հզորությունը, n_{pG} -ը՝ բնամասերի քանակը, $g_{\text{հատ}}$:

$$n_{pG} = \frac{H_{pL} - (h_{q2} + h_d)}{h_{pG} + h_d}, \text{ հատ}, \quad (5)$$

որտեղ H_{pL} -ը շահագործական բլոկի բարձրությունն է, h_{q2} -ը՝ կտրման շտրեկի բարձրությունը, h_d -ը՝ բարձրման մուտքերի բարձրությունը, l_1 :

Հետևաբար, բլոկից հանքաքարի կորզվող պաշարների ծավալը կկազմի՝

$$V = V_{pL} - (V_h + V_{pG}), \text{ տ}^3, \quad (6)$$

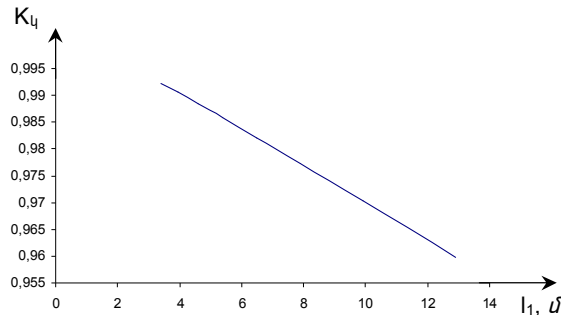
իսկ ընդերքից օգտակար հանածոյի կորզման գործակիցը՝

$$K_q = \frac{V}{V_{pL}} = 1 - \frac{V_h + V_{pG}}{V_{pL}}: \quad (7)$$

Ընդունելով, որ $k_\phi=1,5$, $\beta=40^\circ$, $L_p=60\text{տ}$, $l_q=2,5\text{տ}$, $l_{pG}=3\text{տ}$, $m=2\text{տ}$, $H_{pL}=40\text{տ}$, $h_{q2}=2\text{տ}$, $h_d=2\text{տ}$, $h_{pG}=3\text{տ}$, տեղադրելով V_h , V_{pG} և V_{pL} մեծությունների արժեքները (7) բանաձևի մեջ ու կատարելով որոշակի ձևափոխություններ, կստանանք.

$$K_l = 1 - \frac{0,0036 \cdot l_1^2}{l_1 + 2}, \quad (8)$$

որի գրաֆիկական արտահայտությունը ներկայացված է նկ.3.-ում:



Նկ.3. l_1 -ից կախված K_l -ի փոփոխման գրաֆիկ

Օգտակար բաղադրիչի նվազագույն արդյունաբերական պարունակությունը որոշվում է

$$C_{\text{նվզ}} = \frac{D_{\text{նվզ}}}{q_{\text{սմ}} K_n} - \frac{C_{\text{ս}}}{K_n} \quad (9)$$

արտահայտությամբ [2], որտեղ $D_{\text{նվզ}}$ -ը օգտակար բաղադրիչի նվազագույն արդյունաբերական պարունակության դրամական արտահայտությունն է, \$/տ, $q_{\text{սմ}}$ - ն` պայմանական ոսկու գինը խտանյութում, \$,  $K_n$ -ն` հանքաքարի որակի փոփոխման գործակիցը, $C_{\text{ս}}$ - ն` հարստապոչերում օգտակար բաղադրիչի պարունակությունը, \$/տ:

$D_{\text{նվզ}}$ -ը 1 տ հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման վրա լրիվ ինքնարժեքի և լեռնակապիտալ փորվածքների, շենքերի ու շինությունների ամորտիզացիոն հատկացումների տարբերությունն է [2].

$$D_{\text{նվզ}} = \bar{O}_{\text{նվ}} + \bar{O}_{\text{մ}} + \bar{O}_{\text{այլ}}, \quad \$/տ, \quad (10)$$

որտեղ $\bar{O}_{\text{նվ}}$ -ը 1 տ հանքաքարի հաշվարկով նախապատրաստական և կտրման աշխատանքների ծախսերն են, \$/տ, $\bar{O}_{\text{մ}}$ -ն` 1տ հանքաքարի վրա մաքրահանույթի ծախսերը, \$/տ,  $\bar{O}_{\text{այլ}}$ -ը` 1 տ հանքաքարի հաշվարկով արդյունահանման այլ (առանց մշակման համակարգի ծախսերի) և վերամշակման ծախսեր, առանց վերը նշված ամորտիզացիոն հատկացումների հաշվառման, \$/տ:

Կատարված տեխնիկատնտեսական հաշվարկների համաձայն` $\bar{O}_{\text{նվ}}$ մեծությունը որոշվում է

$$\bar{O}_{\text{նվ}} = \frac{16940,8 \cdot l_1 + 85994,2}{13688,6 \cdot l_1 - 49,4 \cdot l_1^2 + 27377,2}, \$ \quad (11)$$

արտահայտությամբ, իսկ` $\bar{O}_{\text{մ}}=2,65$ \$/տ և $\bar{O}_{\text{այլ}}=13$ \$/տ:

Արդյունքում, $D_{\text{նվզ}}$ -ը որոշելու համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունը.

$$D_{\text{նվզ}} = 15,65 + \frac{16940,8 \cdot l_1 + 85994,2}{13688,6 \cdot l_1 - 49,4 \cdot l_1^2 + 27377,2}, \$/\text{տ}: \quad (12)$$

Հետագա հաշվարկների համար հիմք են ընդունվում հետևյալ ցուցանիշները.
 $Q_{\text{պս}}=13\$/\text{գր}$, $K_n=0,95$, $C_{\text{պ}}=0,8\text{գ}/\text{տ}$:

Հետևաբար, նպատակային ֆունկցիան կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$F(l_1) = \left(C_{\Phi} - 2,1 - \frac{1366,2 \cdot l_1 + 85994,2}{13688,6 \cdot l_1 - 49,4 \cdot l_1^2 + 27377,2} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,0036 \cdot l_1^2}{l_1 + 2} \right) \rightarrow \max:$$

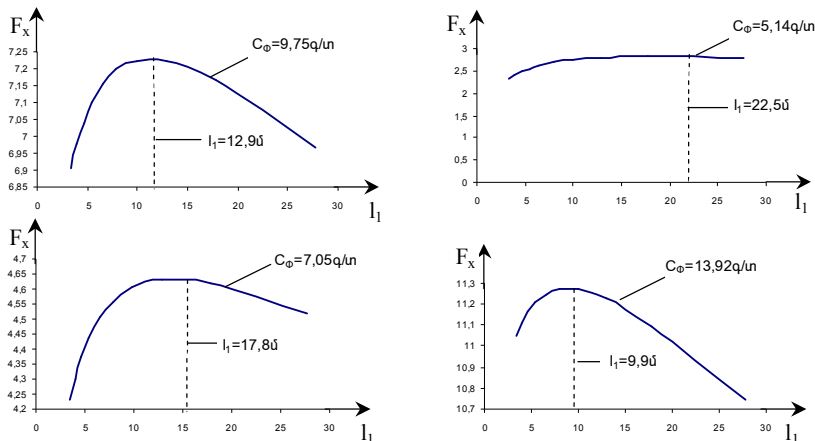
Ստացված արտահայտությունը թույլ է տալիս մշակման համակարգի դիտարկվող տարբերակի դեպքում սահմանել բարձման մուտքերի միջև եղած ռացիոնալ հեռավորությունը՝ կախված հանքաքարային զանգվածում օգտակար բաղադրիչի փաստացի պարունակությունից:

Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրում պահեստավորումով մշակման համակարգին բաժին ընկնող հանքաքարի պաշարները տարբեր հաշվարկային բլոկներում բնութագրվում են պայմանական ոսկու տարբեր փաստացի պարունակություններով, որի մասին վկայում են աղյուսակում բերված տվյալները:

Աղյուսակ

Հանքամարմինների անվանումը	Հաշվարկային բլոկի պարամետրերը	
	հզորությունը, u	պայմանական Au պարունակությունը, $q/\text{տ}$
Երակ 11 ԲԼ-2-Շ ₁ (I տեղամաս)	2,05	13,92
Երակ 17 ԲԼ-3-Շ ₁ (I տեղամաս)	2,14	7,05
Երակ 28 ԲԼ-4-Շ ₁ (II տեղամաս)	2,11	5,14
Երակ 3 ԲԼ-1-Շ ₁ (III տեղամաս)	2,58	9,75

Ստորև բերված են պայմանական ոսկու փաստացի պարունակությունից կախված հանքաքարի պահեստավորմամբ մշակման համակարգի՝ կիրառվող տարբերակի դեպքում բարձման մուտքերի միջև եղած հեռավորության փոփոխման օրինաչափությունների գրաֆիկական արտահայտությունները (նկ.4):



Նկ.4. Բարձման մուտքերի միջև եղած հեռավորության կախվածությունը բլոկի փաստացի պարունակությունից

Ստացված գրաֆիկական կախվածությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ այլ հավասար պայմանների դեպքում, որքան բարձր է հանքաքարային զանգվածում պայմանական ոսկու փաստացի պարունակությունը, այնքան փոքր է հանքաքարի բարձր մուտքերի միջև եղած հեռավորությունը (այնքան մեծ թվով բարձր մուտքերի անցկացման անհրաժեշտություն կա): Այս կարևոր եզրահանգման գործնական նշանակությունն այն է, որ շահագործական բլոկներում կտրման և նախապատրաստական փորվածքների նախագծման ժամանակ բարձր մուտքերի փորվածքների քանակը և նրանց միջև հեռավորությունը որոշելիս անպայման պետք է հաշվի առնել բլոկում օգտակար բաղադրիչի փաստացի պարունակությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Մովսիսյան Ա.Ռ.** Հայաստանի մի շարք ոսկու հանքավայրերում տեխնիկապես կիրառելի մշակման համակարգերի ընտրությունը // Մեր գիտության ապագան / ՀՊՀՀ ուսանողական հոբելյանական գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու. - 23-30 ապրիլի, 2003. - էջ 231-234:
2. **Агабальян Ю. А.** Теория и практика оптимального освоения недр. - М.: Недра, 1994. - 174 с.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացված է խմբագրություն՝ 24.10.2004:

А.Р. МОВСИСЯН

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОБЫЧИ РУДЫ НА ШАУМЯНСКОМ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Рассмотрены вопросы определения оптимальных технологических параметров применяемой системы разработки на Шаумянском золото-полиметаллическом месторождении. Установлены зависимости коэффициента извлечения руды из блока и объема нарезных выработок от расстояния между погрузочными заездами. Это позволяет аналитически определить расстояние между заездами в зависимости от содержания условного золота в руде.

Ключевые слова: блок, руда, технология, погрузчик, целик, штрек, восстающий, система, полезный компонент.

A.R. MOVSISYAN

TECHNOLOGICAL PARAMETER RATIONALIZATION ON SHAHUMYAN GOLD-POLYMETALLIC DEPOSITS

The problems of specifying optimal technological parameters for development system to be applied on Shahumyan gold-polymetallic deposit are considered. The dependences of ore extraction coefficients from the block and volume of development working on the distance between loading races are established. It will enable to analytically define the distance between races depending on the contents of arbitrary gold in ores.

Keywords: block, ore, dependence, extraction, loading races, distance, gold.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Մ.Գ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՄԻՋԻՆԱՑՈՒՑԻՉ ՏԵՂԱԿԱՑԱՆՔԻ ԾԱՎԱԼԻ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Կատարվել է նավթային արգասիքներով աղտոտված հոսքաջրերի մաքրման համակարգերի համադրական վերլուծություն: Մշակվել է միջինացուցիչ տեղակայանքի պահանջվող ծավալի գնահատման հաշվարկային ծրագիր՝ հոսքաջրերի ծախսի և նավթային արգասիքների պարունակության փոփոխականության դիտարկմամբ:

Առանցքային բառեր. նավթային արգասիքներ, սահմանային թույլատրելի խտություն, մաքրման համակարգ, հոսքի փոփոխականություն, միջինացուցիչ տեղակայանք:

ՋԷԿ-ում կարևոր հիմնախնդիրներից մեկը նավթային արգասիքներով աղտոտված հոսքաջրերի վնասագերծումն է: Նավթամթերքների արտանետումը դեպի մակերևութային ջրավազան հանգեցնում է ջրի բնական համահոտային հատկությունների փոփոխության, խախտվում է գազափոխանակության գործընթացը, ձևավորվում են հատակային նստվածքագոյացումներ: Նավթային արգասիքների ազդեցությունը ջրամբարի վրա ունի տևական բնույթ, քանի որ դրանք դասվում են թույլ օքսիդացող նյութերի շարքին: Այս ամենով է պայմանավորվում դրանց սահմանային թույլատրելի խտության փոքր մեծությունը ($0,05 \text{ մգ/մ}^3$):

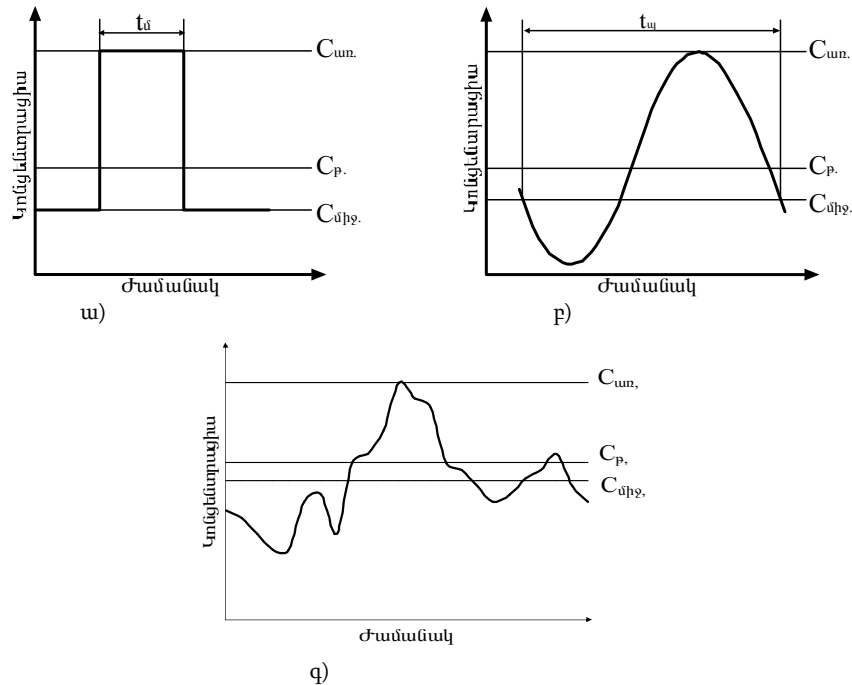
Նավթային արգասիքներով աղտոտված հոսքաջրերի մաքրման խնդիրը տեխնիկապես լուծված է: Գոյություն ունեն մաքրման տիպարային տեղակայանքներ: Ներկայումս կիրառվում են մաքրման պարզեցման, ֆլոտացիոն և գտման մեթոդները: Այս մեթոդներից յուրաքանչյուրն առավելագույնս արդյունավետ է նավթամթերքների ելակետային խտության և դիսպերս կազմի որոշակի միջակայքում, ուստի առավել տարածում է գտել բազմաստիճանային մաքրումը՝ նշված մեթոդների հաջորդական կիրառմամբ [1,2]:

Համանման համակարգերի համադրական վերլուծությամբ ընտրված մաքրման համակարգի նկարագրությունն ու վերլուծությունը բերված են [3]-ում: Այս սխեմայով հոսքաջրերի մաքրման աստիճանը հասնում է 95%-ի և գրեթե կախված չէ նավթամթերքների ելակետային խտությունից: Մաքրման դիտարկվող համակարգի ելքում հոսքաջրում նավթամթերքների մնացորդային կոնցենտրացիան կազմում է մոտ 1 մգ/լ : Նման որակի ջուրը կարելի է օգտագործել էլեկտրակայանի տեխնոլոգիական կարիքների համար՝ թարմ ջրի փոխարեն: Մաքրված ջուրը կարող է տրվել ջրամշակման համակարգ՝ կրայնացման տեղակայանքի առկայության պարագայում:

Մաքրման տեղակայանքների ծավալի և մաքրման արժեքի էական նվազման կարելի է հասնել հոսքաջրերի ծախսի և աղտոտիչների կոնցենտրացիայի միջինացման ճանապարհով: Միջինացումը հնարավորություն է ընձեռում տեխնոլոգիական շղթայի հաջորդող բոլոր սարքավորումները հաշվարկել հոսքի պարամետրերի ոչ թե առավելագույն, այլ միջին մեծությունների համար:

Զանազանում են հոսքի փոփոխականության երեք տեսակ. բարձր կոնցենտրացիայով հոսքաջրերի՝

- միանգամյա արտանետումներ (նկ.1ա),
- արտանետման պարբերական տատանումներ (նկ.1բ),
- արտանետման կամայական բնույթի տատանումներ (նկ.1գ):



Նկ. 1. Արտանետվող հոսքաջրերի կազմի դինամիկան

Փոքր ծախսերի և ջրի պարբերական արտանետման դեպքում կիրառում են կոն-տակտային միջինացուցիչներ: Սակայն, որպես կանոն, օգտագործվում են հոսքանցքային միջինացուցիչներ, որոնք կառուցվում են բազմանցուղի տարողությունների տեսքով [4]:

Տարբերակում են հոսքանցքային միջինացուցիչների հետևյալ տեսակները.

- ↪ բազմանցուղի. ուղղանկյուն (Դ.Մ. Վանյակինի կառուցվածք) և շրջանաձև (Դ.Ա. Շախլևի կառուցվածք)՝ անցուղիներում ջրի ծախսի անհավասարաչափ բաշխմամբ,
- ↪ խառնիչ-միջինացուցիչներ. բարբոտաժային տեսակի և մեխանիկական խառնմամբ:

Միջինացուցչի տեսակը ընտրվում է՝ կախված չլուծված բաղադրիչների (օրինակ, կախությունային նյութերի) տեսակից և քանակությունից, ինչպես նաև հոսքաջրերի տրման ընթացքից (դինամիկայից) [5]:

Միջինացուցչի ծավալի հաշվարկն իրականացվում է՝ կախված նրա ելքում աղտոտիչների կոնցենտրացիայի և ծախսի պահանջվող մեծություններից, ինչպես նաև հոսքում տատանումների բնույթից: Խնդիրը բարդանում է հոսքի կամայական բնույթով տատանումների դիտարկման պարագայում, երբ օրվա կտրվածքով փոփոխական են թե հոսքաջրերի ծախսը, թե նրանցում նավթային արգասիքների

կոնցենտրացիան: Միջինացուցչի ծավալն այս դեպքում որոշվում է հաջորդական մոտեցման մեթոդով:

Մշակվել է միջինացնող տարողության պահանջվող ծավալի գնահատման ալգորիթմ և համապատասխան բլոկ-սխեմա (նկ. 2):

Ալգորիթմը հիմնված է հետևյալ դրույթների վրա.

1. Այն նախատեսված է հոսքի 24 ժամյա գրաֆիկի համար, որի ժամային քայլը հավասար է 1ժ-ի:

2. Միջինացուցչի ելքում կոնցենտրացիայի հնարավոր նվազագույն մեծությունը որոշվում է՝ ելնելով նյութական հաշվեկշռի հավասարումից.

$$C_{\text{սվ}} = \sum_{i=1}^{24} (C_{i,\text{ս}} q_i) / \sum_{i=1}^{24} q_i, \quad (1)$$

որտեղ $C_{i,\text{ս}}$ -ն միջինացուցչի մուտքում հոսքաջրում աղտոտիչի կոնցենտրացիան է i -րդ ժամում, մգ/լ , q_i -ն՝ միջինացուցչի մուտքում հոսքաջրի ծախսը i -րդ ժամում, $\text{մ}^3/\text{ժ}$:

3. Միջինացուցչի նախնական ծավալը, ըստ կոնցենտրացիաների, որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

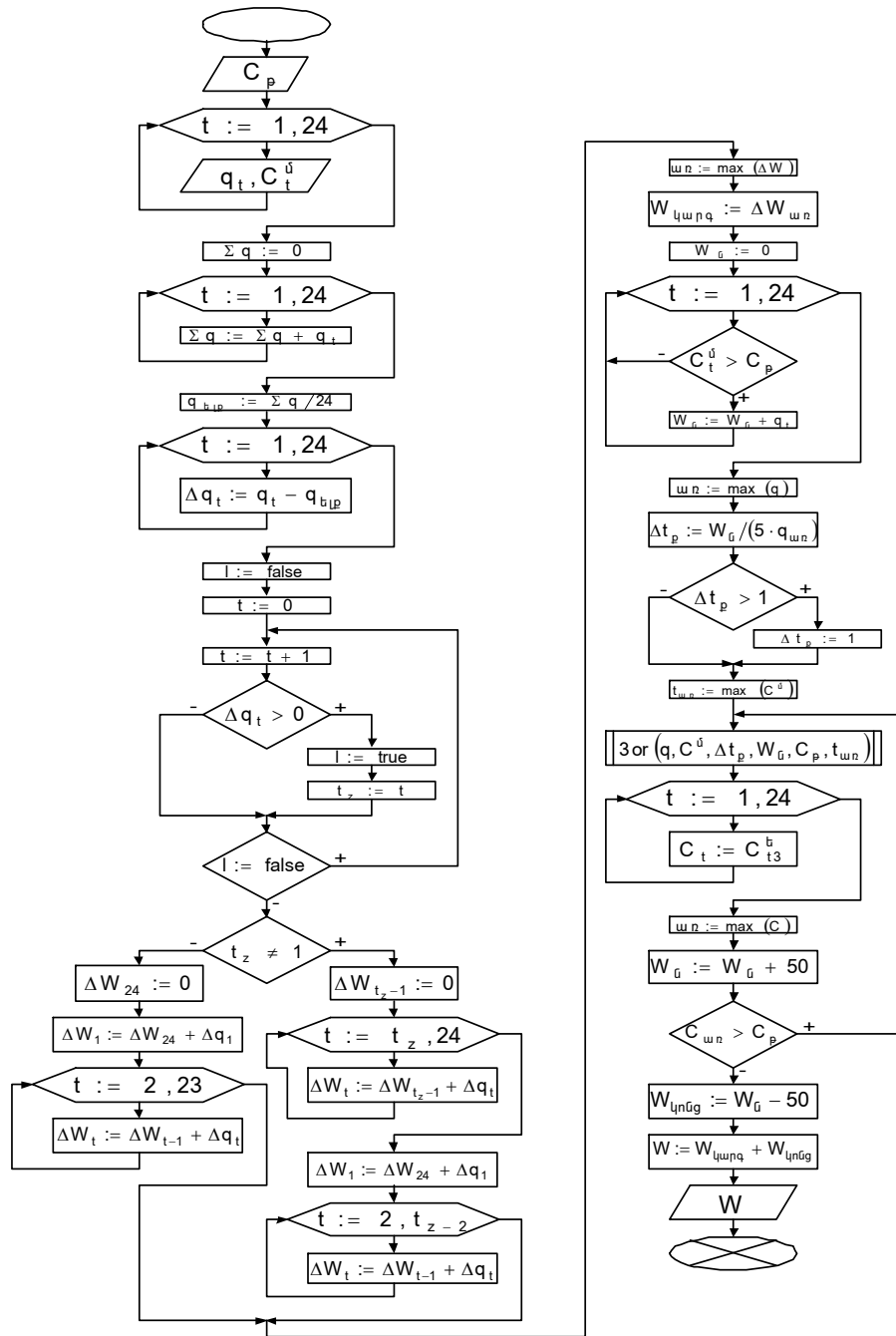
$$W_{\text{գ}} = \frac{C_{z,\text{ս}} q_z}{C_{\text{բ}}}, \quad (2)$$

որտեղ $C_{z,\text{ս}}$ -ն հոսքաջրում աղտոտիչի կոնցենտրացիան է Z ժամում, մգ/լ , q_z -ը հոսքաջրի ծախսն է Z -րդ ժամում, $\text{մ}^3/\text{ժ}$, Z -ը օգրոյական ծավալի ժամն է, երբ միջինացուցչի կարգավորող ծավալն ամբողջությամբ լցվում է, $C_{\text{բ}}$ -ն միջինացուցչի ելքում թույլատրելի (առաջադրված) կոնցենտրացիան է, մգ/լ :

4. Միջինացուցչի ծավալը գնահատվում է որպես երկու մեծությունների գումար. օրվա ընթացքում միջինացուցչի ելքում հաստատուն ծախսի կարգավորման համար անհրաժեշտ ծավալ և որոշակի ծավալ, որն անհրաժեշտ է կոնցենտրացիաների միջինացման համար, ընդ որում՝ ալգորիթմը հաշվի է առնում ծախսի կարգավորման գործառույթում ջրի ծավալի փոփոխականությունը:

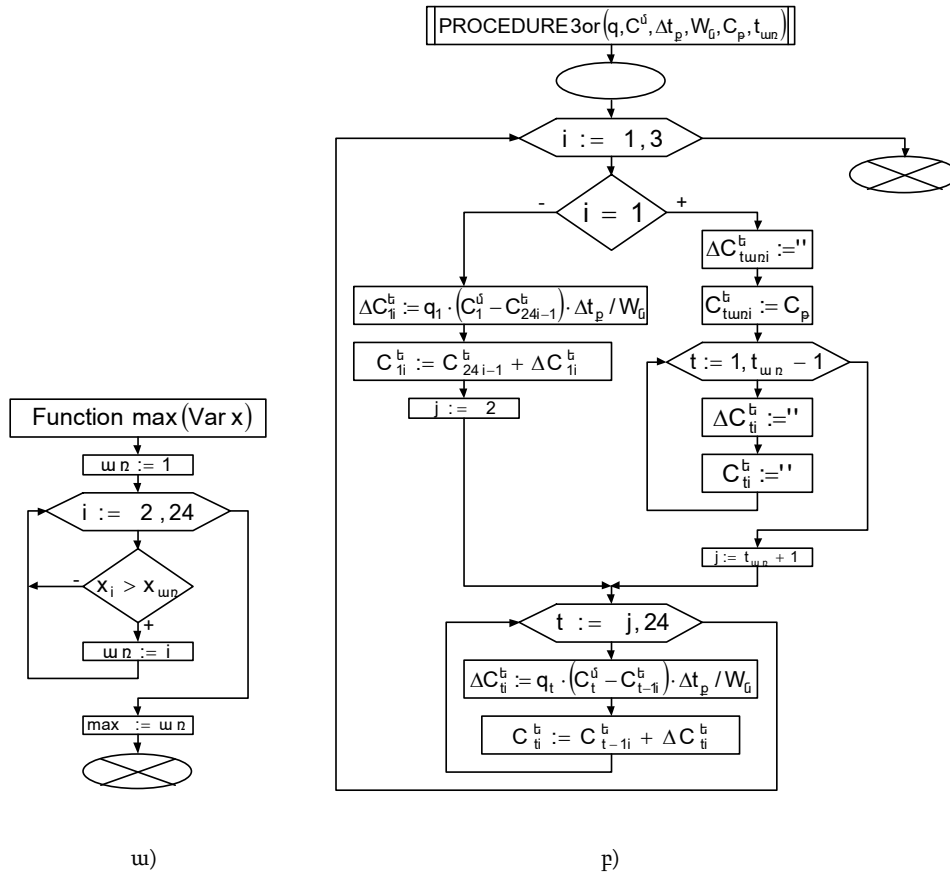
Բլոկ-սխեմայում կիրառվել են երկու ենթաճրագրեր (նկ. 3):

Ծրագրում բազմակի անգամ անհրաժեշտ է լինում գնահատել որևէ մեծության առավելագույն արժեքը օրվա ընթացքում կամ այն ժամը, երբ գրանցվում է այդ արժեքը: Ուստի նպատակահարմար է կիրառել առավելագույնի որոշման ստանդարտ ֆունկցիա (նկ. 3ա): Մյուս կողմից, միջինացուցչի ելքում նավթային արգասիքների կոնցենտրացիայի կարգավորման համար նախնական ծավալի գնահատումն իրականացվում է երեք օրվա կտրվածքով միջինացման դիտարկմամբ, երբ անհրաժեշտ է լինում որոշել այդ ընթացքում յուրաքանչյուր ժամին կոնցենտրացիայի մեծությունը:



Նկ. 2. Միջինացուցչի ծավալի գնահատման բլոկ-սխեմա

Հնարավոր է, որ առաջին փորձից ընտրված նախնական ծավալը չբավարարի առաջադրված (C_p) կոնցենտրացիայի ստացման պայմանը: Այդ դեպքում նախատեսվում է նախնական ծավալի մեծացում և գործողությունների շարքի կրկնում: Այդ իսկ պատճառով եռօրյա ժամկետում կոնցենտրացիաների բաշխումը միջինացուցչի ելքում նախընտրելի է գնահատել ենթածրագրի միջոցով (նկ. 3բ):



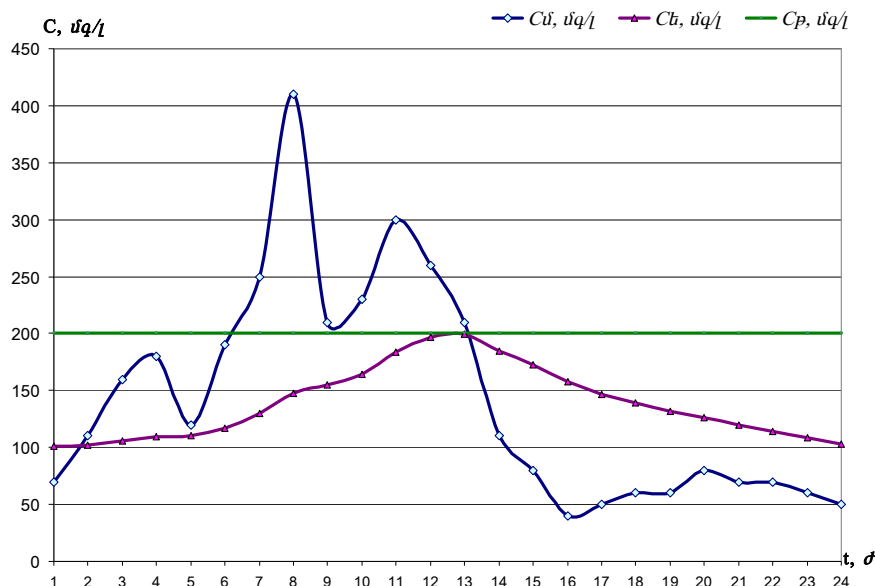
Նկ. 3. Միջինացուցչի ծավալի գնահատման ժամանակ կիրառվող ենթածրագրերը

Առաջարկվող բլոկ-սխեմայով կոնցենտրացիաների և ծախսերի միջինացուցչի ծավալի հաշվարկը տատանումների կամայական բնույթի դեպքում առանց բարդության կարելի է իրականացնել էլեկտրոնային աղյուսակների միջոցով, օրինակ, Microsoft Excel, Lotus 1-2-3, Quattro Pro և այլն:

Բլոկ-սխեմայի կիրառմամբ հետազոտվել է միջինացուցչի պահանջվող ծավալի կախվածությունը երկու բաղկացուցիչներից՝ հոսքաջրերի ծախսի և նավթամթերքների կոնցենտրացիայի կարգավորման համար անհրաժեշտ ծավալներից: Հաշվարկները ցույց են տվել, որ էական դերակատարություն ունի երկրորդ բաղադրիչը: Դիտարկվել է օրվա ընթացքում առավելագույն կոնցենտրացիայով

հոսքաջրերի ծախսի և կոնցենտրացիայի ազդեցությունը պահանջվող ծավալի մեծության վրա:

Ծրագրի կիրառումը թույլ է տալիս դյուրին կերպով որոշել օրվա ընթացքում միջինացուցչի ելքում նավթային արգասիքների կոնցենտրացիան, որը մուտքային տվյալ է հանդիսանում հաջորդող պարզարանային տեղակայանքի համար: Որպես օրինակ իրականացված հաշվարկային արդյունքների գրաֆիկական պատկերումը բերված է նկ. 4.-ում:



Նկ. 4. Հոսքաջրում պարունակվող նավթային արգասիքների կոնցենտրացիայի փոփոխությունը միջինացուցչի մուտքում և ելքում՝ օրվա ընթացքում

Այսպիսով, անհրաժեշտ ծավալով միջինացուցչի նախատեսումը մաքրման համակարգում թույլ է տալիս ապահովել հաջորդող սարքավորումների բնականոն աշխատանքը, ուստի և նավթային արգասիքների մաքրման առավելագույն արդյունավետություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Повышение экологической безопасности ТЭС / **А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезев** и др. - М.: Изд-во МЭИ, 2002.- 377 с.
2. Методические указания по проектированию ТЭС с максимально сокращенными стоками.- М.: Минэнерго СССР, 1991.
3. **Ղազարյան Մ.Գ., Մարտիրոսյան Ո.Զ.** Նավթային արգասիքներով աղտոտված հոսքաջրերի մաքրումը և օգտահանումը // ՀՊՃՀ (պոլիտեխնիկ) տար. գիտ. նյութ. ժողովածու. - 2005.- Հ. 1. - Էջ 302-305:

4. **Гудков А.Г.** Механическая очистка сточных вод: Учебное пособие. – Вологда: ВоГТУ, 2003. – 152с.СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения (К). Минстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 1996. – 183с.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.03.2006:

В.З. МАРУХЯН, М.Г. КАЗАРЯН

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ РАСЧЕТНОГО АЛГОРИТМА ОБЪЕМА УСРЕДНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Проведен сопоставительный анализ систем очистки сточных вод загрязненными нефтепродуктами. Разработана программа оценки необходимого объема усреднительной установки с расчетом нестационарности расхода сточных вод и концентрации нефтепродуктов.

Ключевые слова: нефтепродукты, предельно допустимая концентрация, система очистки, нестационарность потока, усреднительная установка.

V. Z. MARUKHYAN, M.G. GHAZARYAN

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF VOLUME CALCULATION ALGORITHM OF AVERAGING PLANT

A comparative analysis of oil-cut sewage cleaning system is carried out. The calculation programme for necessary volume estimation of averaging plant taking into account non-stationary consumption of sewage and concentration of oil products is developed.

Keywords: mineral oils, maximum permissible concentration, cleaning system, non-stationary stream, averaging plant.

Л. В. ЕГИАЗАРЯН, В.С. САФАРЯН, Г. В. КАЗАРЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕМ ПОТОКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Разработан метод регулирования напряжения и уменьшения потерь активной энергии в электрических сетях управлением потоками реактивной мощности. Поставленная оптимизационная задача решается методом покоординатного спуска, который отличается своей простотой, удобен при учете ограничений как в виде равенства, так и в виде неравенств.

Ключевые слова: оптимизация, регулирование напряжения, полная мощность, целевая функция, тариф электроэнергии, математическая модель.

В электрической цепи или электроэнергетической системе (ЭЭС), независимо от их характера и режима работы, в общем случае происходит и потребление, и обмен энергии, причем это две стороны единого энергетического процесса.

Понятие "реактивная мощность" в течение длительного времени является предметом споров [1-3]. Строгое определение реактивной мощности имеется только для случая, когда токи и напряжения в цепях синусоидальны по форме. Однако даже для таких цепей реактивная мощность определяется чисто формально с помощью выражений активной и полной мощностей [2].

Несмотря на формальное определение реактивной мощности, она используется при оценке эффективности работы электроэнергетического оборудования и показывает степень использования его возможностей. Реактивная мощность приобретает еще большее значение при расчете распределения потоков энергии по электрическим сетям [4, 5].

Цель настоящей работы – разработка метода регулирования напряжения и уменьшения потерь активной энергии в сетях управлением потоками реактивной мощности.

Сначала определим долю активных потерь от активной и реактивной составляющих мощностей нагрузки. Рассмотрим простейшую схему (рис. 1а), состоящую из базисного узла напряжением U_0 и нагрузки с полной мощностью $\tilde{S} = P + jQ$. Полагаем, что режимные параметры сети известны.

Представим эквивалентную схему (рис. 1б) таким образом, чтобы через сопротивления Z_p и Z_Q протекали токи $\dot{I}_p = \frac{P}{U^*}$ и $\dot{I}_Q = \frac{-jQ}{U^*}$ соответственно. Для этого необходимо сопротивления Z_p и Z_Q определить из следующих соотношений [6]:

$$Z_P = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_P} Z = \frac{\dot{S}}{P} Z, \quad Z_Q = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_Q} Z = \frac{\dot{S}}{-jQ} Z = j \frac{\dot{S}}{Q} Z,$$

где $\dot{S}^*$ - комплексно-сопряженная мощность нагрузки; Z - полное сопротивление ветви.

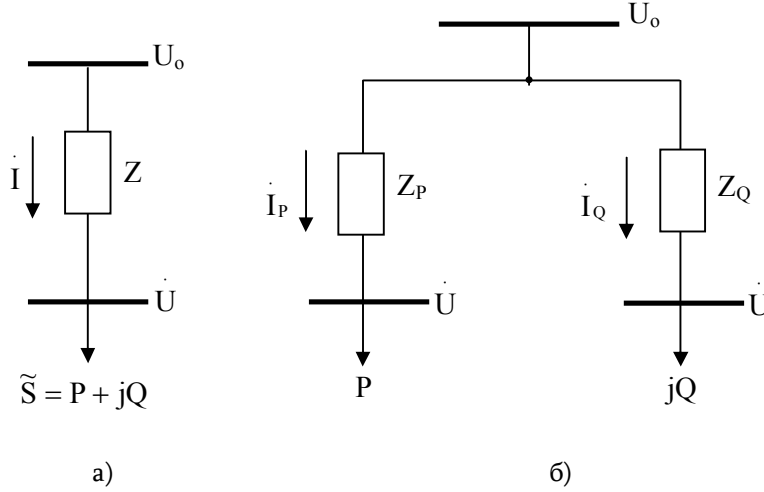


Рис. 1. Расщепление полной мощности нагрузки на активную и реактивную составляющие

Потери полной мощности на сопротивлениях Z_P и Z_Q соответственно определяются соотношениями

$$\Delta \tilde{S}_P = (\dot{U} - U_0)^* \dot{I}_P = Z \dot{I}_P^* = \Delta \tilde{S} \frac{\dot{I}_P}{\dot{I}} = \Delta \tilde{S} \frac{P}{P + jQ} = \Delta \tilde{S} \frac{P - jQ}{P^2 + Q^2} P, \quad (1)$$

$$\Delta \tilde{S}_Q = (\dot{U} - U_0)^* \dot{I}_Q = Z \dot{I}_Q^* = \Delta \tilde{S} \frac{\dot{I}_Q}{\dot{I}} = \Delta \tilde{S} \frac{jQ}{P + jQ} = \Delta \tilde{S} \frac{P - jQ}{P^2 + Q^2} jQ, \quad (2)$$

где

$$\Delta \tilde{S} = \Delta P + j\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} (r + jx). \quad (3)$$

Доли потерь активной мощности от активной и реактивной составляющих мощностей нагрузки (1) и (2), с учетом (3), принимают вид

$$\Delta P_P = \operatorname{Re}(\Delta \tilde{S}_P) = \frac{P^2}{U^2} r + \frac{PQ}{U^2} x, \quad (4)$$

$$\Delta P_Q = \operatorname{Re}(\Delta \tilde{S}_Q) = \frac{Q^2}{U^2} r - \frac{PQ}{U^2} x. \quad (5)$$

Графики зависимостей доли потерь активной мощности от активной и реактивной составляющих мощностей нагрузки, в зависимости от изменения Q , представлены на рис. 2 (пунктиром показан график функции $\Delta P(Q) = \Delta P_p(Q) + \Delta P_Q(Q)$).

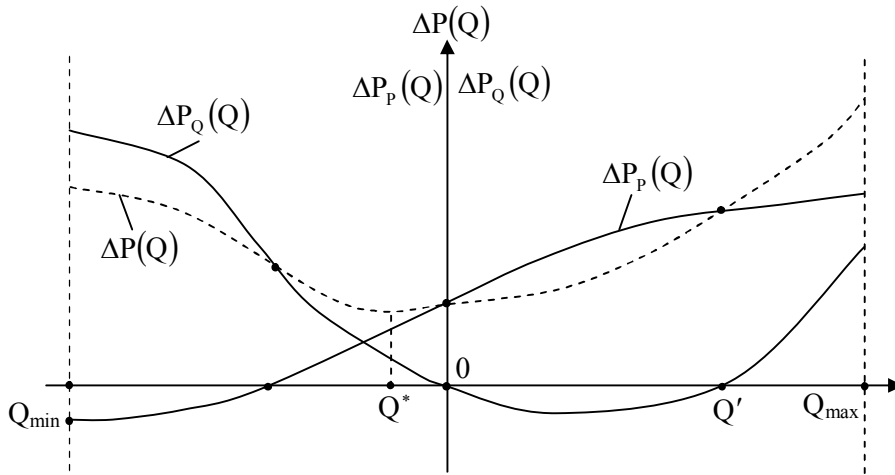


Рис. 2. Графики функций $\Delta P_p(Q)$, $\Delta P_Q(Q)$ и $\Delta P(Q) = \Delta P_p(Q) + \Delta P_Q(Q)$

Величины $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$ - предельные значения реактивной мощности нагрузки. Если $Q < Q_{\min}$ или $Q > Q_{\max}$, то режим сети не существует.

Величины $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$ можно определить аналитически, так как двухузловая сеть переменного тока при задании нагрузки полной мощностью поддается аналитическому исследованию.

Для схемы рис. 1а, полагая заданными напряжение базисного узла (U_0), полное сопротивление ветви ($Z = r + jx$) и полную мощность нагрузки ($\tilde{S} = P + jQ$), можем составить уравнение установившегося режима

$$\left(U_0 - \dot{U} \right) \dot{U}^* = (P - jQ)(r + jx), \quad (6)$$

которое после преобразования имеет вид

$$\begin{cases} (U_0 U)^2 = (U^2 + a)^2 + b^2, \\ \operatorname{tg} \alpha = -\frac{b}{U^2 + a}, \end{cases} \quad (7)$$

где $a = Pr + Qx$; $b = Px - Qr$; α - аргумент комплексного напряжения $\dot{U} = Ue^{j\alpha}$.

Из первого уравнения системы (7) определяем U^2 по формуле

$$U^2 = \left(\frac{U_o^2}{2} - a \right) \pm \sqrt{\left(\frac{U_o^2}{2} - a \right)^2 - a^2 - b^2}. \quad (8)$$

Условие существования режима сводится к соотношениям

$$\begin{cases} \left(\frac{U_o^2}{2} - a \right)^2 \geq a^2 + b^2, \\ U_o^2 > 2a, \end{cases} \quad (9)$$

решение которых дает значения $Q_{\min}$, $Q_{\max}$. Отметим, что уравнение (8) либо имеет два решения (U_+^2, U_-^2) , либо ни одного, если нарушено условие (9). Можно показать, что

$$\begin{cases} \Delta P_+ = g U_-^2, \\ \Delta P_- = g U_+^2, \end{cases}$$

где ΔP_+ , ΔP_- - потери активной мощности в сети соответственно при решениях U_+^2 и U_-^2

уравнения (8); $g = \frac{\Gamma}{\Gamma^2 + X^2}$.

Таким образом, функция доли потерь активной мощности от реактивной составляющей мощности нагрузки $(\Delta P_Q(Q))$, рис. 2) при $Q \in (0, Q')$ имеет отрицательное значение, однако суммарные активные потери в сети достигают наименьшего значения при $Q^* \notin (0, Q')$.

Рассмотрим электрическую сеть, нагрузки которой заданы независимыми источниками тока. Установившийся режим такой сети описывается системой комплексных линейных уравнений. Выделим в сети (рис. 3) k -ю ветвь (выделенная ветвь может быть как продольной, так и поперечной) и рассмотрим функцию зависимости потерь активной мощности в сети от изменения сопротивления выделенной ветви при неизменной исходной независимой информации.

Известно, что ток произвольной ветви зависит от комплексного сопротивления выделенной ветви дробно-линейной функцией комплексного переменного [7]:

$$\dot{I}_i = \frac{a_i + b_i Z}{c + dZ}, \quad i \neq k, \quad (10)$$

$$\dot{I}_k = \frac{a_k}{c + dZ}, \quad (11)$$

где $a_i, b_i, i = \overline{1, n}$ - комплексные величины, зависящие от пассивных параметров ветвей схемы сети (кроме k -й ветви) и узловых токов; c, d -

комплексные величины, зависящие только от пассивных параметров ветвей схемы; n - число ветвей схемы.

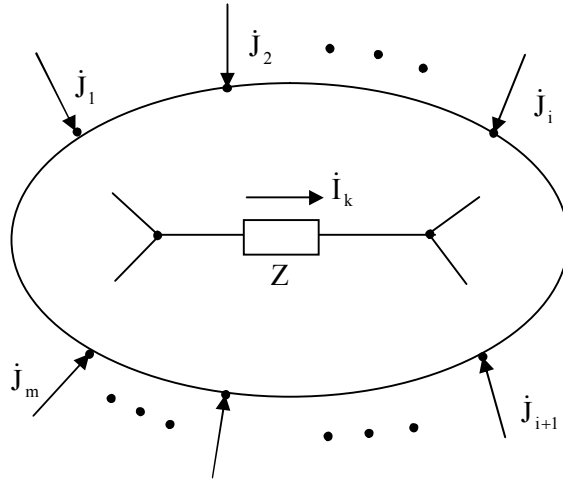


Рис. 3. Электрическая сеть, питаемая независимыми источниками тока

Поскольку при компенсации реактивной мощности к узлам сети подключают компенсирующие устройства, то рассмотрим формулы (10) и (11) при $Z = jx$:

$$\dot{I}_i = \frac{a_i + b_i jx}{c + djx} = \frac{a'_i + b'_i x}{c' + d'x}, \quad i \neq k, \quad (12)$$

$$\dot{I}_k = \frac{a_k}{c + djx} = \frac{a_k}{c' + d'x}. \quad (13)$$

Пользуясь выражениями (12), (13), выразим потери активной мощности в сети как функцию от реактивного сопротивления x :

$$\Delta P(x) = \frac{1}{|c' + d'x|^2} \sum_{i=1}^n |a'_i + b'_i x|^2 r_i, \quad (14)$$

где r_i – активное сопротивление i -й ветви.

Преобразуя (14), получим

$$\Delta P(x) = \frac{\sum_{i=1}^n r_i [(a_{i1} + b_{i1}x)^2 + (a_{i2} + b_{i2}x)^2]}{(c_1 + d_1x)^2 + (c_2 + d_2x)^2} = \frac{A_1 x^2 + B_1 x + C_1}{Ax^2 + Bx + C}, \quad (15)$$

где $c' = c_1 + jc_2$, $d' = d_1 + jd_2$, $a'_i = a_{i1} + ja_{i2}$, $b'_i = b_{i1} + jb_{i2}$, $A_1 > 0$, $C_1 > 0$, $A > 0$, $C > 0$.

Покажем, что функция $\Delta P(x)$, как правило, имеет два экстремума, минимум и максимум. Определим производную функции $\Delta P(x)$:

$$\begin{aligned}\Delta P'(x) &= \frac{(2A_1x + B_1)(Ax^2 + Bx + C) - (2Ax + B)(A_1x^2 + B_1x + C_1)}{(Ax^2 + Bx + C)^2} = \\ &= \frac{(A_1B - AB_1)x^2 + 2(A_1C - AC_1)x + (B_1C - BC_1)}{(Ax^2 + Bx + C)^2} = \frac{\bar{A}x^2 + \bar{B}x + \bar{C}}{(Ax^2 + Bx + C)^2}.\end{aligned}$$

Обозначим через x_1 и x_2 ($x_1 < x_2$) корни уравнения $\Delta P'(x) = 0$. Нетрудно показать, что если $\bar{A} > 0$, то x_1 является точкой максимума, а x_2 - точкой минимума, и наоборот - при $\bar{A} < 0$. Вычислим также $\Delta P(0) = \frac{C_1}{C}$, $\Delta P(\infty) = \Delta P(-\infty) = \frac{A_1}{A}$.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что график функции $\Delta P(x)$ имеет следующую форму (рис. 4).

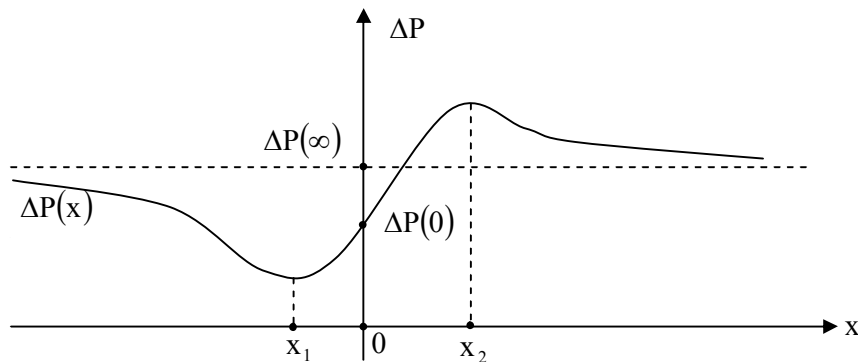


Рис. 4. График функции $\Delta P(x)$ при $\bar{A} < 0$.

Форма кривой целевой функции имеет большое значение в оптимизационных задачах при выборе метода реализации задачи.

Задача оптимальной компенсации реактивной мощности в сетях предполагает решение следующих подзадач:

- определение оптимальных мест (узлов) установки компенсирующих устройств;
- определение оптимальных значений компенсирующих реактивных мощностей (проводимостей).

Остановимся на второй задаче, предполагая известными месторасположения компенсирующих устройств.

Математическая модель поставленной задачи. Минимизировать

$$\Delta WCT + Z \rightarrow \min \quad (16)$$
(ΔW - годовые потери электроэнергии в сети; C - тариф электроэнергии; T - срок окупаемости; $Z = \sum_{i=1}^{\ell} Z_i$, Z_i - затраты на приобретение, установку и эксплуатацию компенсирующего устройства в течение времени T ; ℓ - количество компенсирующих устройств) при ограничениях:

$$U_i \sum_{j=1}^m Y_{ij} \dot{U}_j = \dot{S}_i^*, \quad i = \overline{1, m}, \quad (17)$$

$$U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (18)$$

$$P_j^{\min} \leq P_j \leq P_j^{\max}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (19)$$

$$Q_j^{\min} \leq Q_j \leq Q_j^{\max}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (20)$$

где U_i - модуль комплексного напряжения i -го узла; $\dot{S}_i^*$ - комплексная мощность i -го узла; P_j , Q_j - перетоки активной и реактивной мощностей через j -ю ветвь; Y_{ij} - элементы комплексной матрицы узловых проводимостей.

Вторая составляющая целевой функции вносит дополнительную нелинейность, и при этом график целевой функции отличается от приведенного выше (рис. 4).

Поставленная оптимизационная задача реализована методом покоординатного спуска [8], который отличается своей простотой (не требует вычисления частных производных неявных функций), удобен при учете ограничений как в виде равенства, так и в виде неравенств.

Разработана программа в среде Delphi-5 и выполнены конкретные расчеты для сетей 0,4...35 кВ Армении. Годовое уменьшение потерь активной энергии составляет до 0,26% от передаваемой через сеть электроэнергии.

Выводы

1. Аналитическим исследованием двухузловой сети переменного тока получены соотношения, выражающие доли потерь активной мощности от активной и реактивной составляющих полной мощности нагрузки.
2. Показано, что функция доли потерь активной мощности от реактивной составляющей мощности нагрузки $(\Delta P_Q(Q))$ имеет экстремальную точку (минимум), однако суммарные активные потери в сети достигают наименьшего значения вне этой точки.
3. Для сетей, питаемых независимыми источниками тока, получено аналитическое выражение активной потери в сети в зависимости от

реактивного сопротивления выделенной ветви. Исследовано поведение этой функции.

4. Основываясь на результатах вышеупомянутых аналитических исследований, разработаны модель и программа оптимальной компенсации реактивной мощности в сетях.
5. Внедрение программы позволяет за счет оптимальной компенсации реактивной мощности в сетях 0,4...35 кВ Армении уменьшить годовые активные потери энергии на 740000 кВт·ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савиновский Ю. А., Стратонов А. В. Некоторые противоречия теории мощности // Изв. вузов. - 1984. - №10. - С.58-60.
2. Демирчян К. С. Реактивная или обменная мощность // Изв. АН СССР. - 1984. - №2. - С. 66-72.
3. Мельников Н. А. Реактивная мощность в электрических сетях. - М.: Энергия, 1975. - 128 с.
4. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. - М.: Энергоиздат, 1981. - 200 с.
5. Карпов Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. - М.: Энергия, 1975. - 184 с.
6. Сафарян В. С. Структурный анализ потоков и потерь мощности в электрических цепях // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. - Т. 54, №1. - С. 52-57.
7. Сафарян В. С. Применение дробно-линейных функций комплексной переменной к исследованию линейных электрических цепей // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1987. - №2. - С.11-15.
8. Ортега Д., Рейнбольт В. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными. - М.: Мир, 1975. - 558с.

ЗАО (НИИ энергетики). Материал поступил в редакцию 16.10.2004.

**Լ.Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱԳԱՐՅԱՆ, Գ.Վ. ԴԱԶԱՐՅԱՆ
ՌԵԱԿՏԻՎ ԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀՈՍԹԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՄԲ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ**

Մշակված է ռեակտիվ հզորության հոսքերի կառավարմամբ էլեկտրական ցանցերում լարման կարգավորման և ակտիվ էներգիայի կորուստների նվազեցման նոր մեթոդ: Լավարկման խնդիրը լուծվում է կոորդինատային վայրէջքի մեթոդով, որը տարբերվում է պարզությամբ, հարմար է հավասարությունների և անհավասարությունների տեսքով տրված սահմանափակումների հաշվառման համար:

Առանցքային բառեր. լավարկում, լարման կարգավորում, ընդհանուր հզորություն, նպատակային գործառույթ, էլեկտրաէներգիայի սակագին, մաթեմատիկական մոդել:

**L.V. EGHIAZARYAN, V.S. SAFARYAN, G.V. GHAZARYAN
ELECTROPOWER SYSTEM RATES OPTIMIZATION BY REACTIVE POWER STREAMS
MANAGEMENT**

The method of voltage regulation and active energy losses reduction in grid has been developed by reactive power streams management. The problem of optimization is solved by the method coordinate descent, which differs by its simplicity and is convenient for accounting limitations both in equality form and in inequalities.

Keywords: optimization, voltage regulation, total power, purposeful energy, electricity tariff, mathematical model.

В. С. ХАЧАТРЯН, Н. П. БАДАЛЯН, К. В. ХАЧАТРЯН,
С.Э. ГРИГОРЯН

РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается метод решения системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом Ньютона.

Ключевые слова: модель, электроэнергетическая система, узел, параметр, нагрузка, мощность, матрица, аргумент, модуль.

При решении задачи расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) большое значение имеет случай, когда независимые станционные узлы одновременно могут быть как типа P-Q, так и типа P-U [1-10].

Настоящая статья посвящена построению и реализации соответствующей математической модели, когда пассивная часть электрической сети задается в Y-Z гибридной форме.

Для построения соответствующей математической модели применяется следующая система индексов: $m(n) = 0, 1, 2, \dots, \tilde{A}_1$, где $\tilde{A}_1$ - число станционных узлов типа P-Q относительно которых в качестве исходной информации задаются активные и реактивные мощности. Станционный узел с нулевым индексом, называемый зависимым узлом, выбирается в качестве базисного по напряжению и балансирующего по мощностям; $k(\ell) = \tilde{A}_1 + 1, \tilde{A}_1 + 2, \dots, \tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = \tilde{A}$, где $\tilde{A}_2$ - число станционных узлов типа P-U, относительно которых в качестве исходной информации задаются активные мощности и модули комплексных напряжений; $i(j) = \tilde{A} + 1, \tilde{A} + 2, \dots, \tilde{A} + N$, где N - число нагрузочных узлов типа P-Q.

Основой для построения математической модели установившегося режима ЭЭС является Y-Z расчетная матрица, которая с учетом принятой выше системы индексов в развернутой форме принимает вид

$$\begin{bmatrix} \overline{Y}_{m,n} & \overline{Y}_{m,\ell} & \overline{A}_{m,j} \\ \overline{Y}_{k,n} & \overline{Y}_{k,\ell} & \overline{A}_{k,j} \\ \overline{B}_{i,n} & \overline{B}_{i,\ell} & \overline{Z}_{i,j} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} \overline{Y}_{m,n} &= Y_{mn} - Y_{mj} Z_{in} Y_{in}, & \overline{Y}_{m,\ell} &= Y_{m\ell} - Y_{mj} Z_{ij} Y_{i\ell}, \\ \overline{Y}_{k,n} &= Y_{kn} - Y_{kj} Z_{in} Y_{in}, & \overline{Y}_{k,\ell} &= Y_{k\ell} - Y_{kj} Z_{ij} Y_{i\ell}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Y_{mj} Z_{ij} &= \dot{A}_{m,j}, & Y_{kj} Z_{ij} &= \dot{A}_{k,j}, \\ -Z_{ij} Y_{in} &= \dot{B}_{i,n}, & -Z_{ij} Y_{i\ell} &= \dot{B}_{i,\ell}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$Z_{i,j} = Y_{ij}^{-1}. \quad (4)$$

На основании (1) строится математическая модель установившегося режима ЭЭС, которая представляется в виде

$\begin{aligned} \Phi_{pm} &= P_m - [P_{Am} + \varphi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; \Psi_{u\ell})] = 0, \\ \Phi_{qm} &= Q_m - [Q_{Am} + \varphi_{qm}(U_n, \Psi_{un}; \Psi_{u\ell})] = 0, \\ \Phi_{pk} &= P_k - [P_{Ak} + \varphi_{pk}(U_n, \Psi_{un}; \Psi_{u\ell})] = 0; \end{aligned}$	
$\begin{aligned} \Phi_{pi} &= P_i - [P_{Ai} + \varphi_{pi}(I'_j, I''_j)] = 0, \\ \Phi_{qi} &= Q_i - [Q_{Ai} + \varphi_{qi}(I'_j, I''_j)] = 0. \end{aligned}$	(5)

Здесь

$$\begin{aligned} \varphi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) &= U_m \sum_{n=1}^{\Gamma_1} [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n + \\ &+ U_m \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} [g_{m,\ell} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell}) + b_{m,\ell} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell})] U_\ell, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{pm}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) &= U_m \sum_{n=1}^{\Gamma_1} [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n + \\ &+ U_m \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} [g_{m,\ell} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell}) - b_{m,\ell} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell})] U_\ell, \\ \varphi_{pk}(U_n, \Psi_{un}; U_\ell, \Psi_{u\ell}) &= U_k \sum_{n=1}^{\Gamma_1} [g_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + b_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] U_n + \\ &+ U_k \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} [g_{k,\ell} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) + b_{k,\ell} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell})] U_\ell; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{pi}(I'_j, I''_j) &= \sum_{j=\bar{A}+1}^M [R_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) + X_{i,j} (I''_i I'_j - I'_i I''_j)], \\ \varphi_{qi}(I'_j, I''_j) &= \sum_{j=\bar{A}+1}^M [X_{i,j} (I'_i I'_j + I''_i I''_j) - R_{i,j} (I''_i I'_j - I'_i I''_j)]. \end{aligned} \quad (8)$$

Величины $P_{Bm}, Q_{Bm}, P_{Bk}, P_{Bi}, Q_{Bi}$, входящие в математическую модель (5), определяются выражениями

$$P_{\dot{A}m} = p_{\dot{A}m} + \sum_{j=\dot{A}+1}^M [(A'_{m,j} I'_j - A''_{m,j} I''_j) \cos \Psi_{Um} + (A'_{m,j} I''_j + A''_{m,j} I'_j) \sin \Psi_{Um}] U_m, \quad (9)$$

$$Q_{\dot{A}m} = q_{\dot{A}m} + \sum_{j=\dot{A}+1}^M [(A'_{m,j} I'_j - A''_{m,j} I''_j) \sin \Psi_{Um} - (A'_{m,j} I''_j + A''_{m,j} I'_j) \cos \Psi_{Um}] U_m;$$

$$P_{\dot{A}k} = p_{\dot{A}k} + \sum_{j=\dot{A}+1}^M [(A'_{k,j} I'_j - A''_{k,j} I''_j) \cos \Psi_{Uk} + (A'_{k,j} I''_j + A''_{k,j} I'_j) \sin \Psi_{Uk}] U_k; \quad (10)$$

$$P_{Bi} = p_{Bi} + \sum_{t=1}^{\Gamma} [(B'_{i,t} I'_i + B''_{i,t} I''_i) \cos \Psi_{Ut} - (B''_{i,t} I'_i - B'_{i,t} I''_i) \sin \Psi_{Ut}] U_t, \quad (11)$$

$$Q_{Bi} = q_{Bi} + \sum_{t=1}^{\Gamma} [(B''_{i,t} I'_i - B'_{i,t} I''_i) \cos \Psi_{Ut} + (B'_{i,t} I'_i + B''_{i,t} I''_i) \sin \Psi_{Ut}] U_t.$$

С другой стороны, $p_{Bm}, q_{Bm}, p_{Bk}, p_{Bi}, q_{Bi}$ определяются в виде

$$p_{Bm} = - \sum_{t=1}^C (g_{m,t} \cos \Psi_{Um} + b_{m,t} \sin \Psi_{Um}) U_m U_0, \\ q_{Bm} = - \sum_{t=1}^C (g_{m,t} \sin \Psi_{Um} + b_{m,t} \cos \Psi_{Um}) U_m U_0, \quad (12)$$

$$p_{Bk} = - \sum_{t=1}^C (g_{k,t} \cos \Psi_{Uk} + b_{k,t} \sin \Psi_{Uk}) U_k U_0, \\ p_{Ai} = I'_i U_0 - \sum_{t=1}^C (B'_{i,t} I'_i + B''_{i,t} I''_i) U_0, \quad (13)$$

$$q_{Ai} = -I''_i U_0 + \sum_{t=1}^C (B'_{i,t} I''_i - B''_{i,t} I'_i) U_0.$$

Верхняя левая математическая подмодель установившегося режима из (5) позволяет определить численные значения модулей и аргументов комплексных напряжений станционных узлов типа P-Q и аргументов комплексных напряжений станционных узлов типа P-U. Нижняя правая математическая подмодель из (5) позволяет установить численные значения составляющих комплексных токов нагрузочных узлов.

Реализация верхней левой и нижней правой математических подмоделей осуществляется вторым методом Ньютона с использованием матрицы Гессе, при котором соответствующие рекуррентные выражения имеют вид [9]

$$\begin{bmatrix} U_m \\ \vdots \\ \Psi_{um} \\ \vdots \\ \Psi_{uk} \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} U_m \\ \vdots \\ \Psi_{um} \\ \vdots \\ \Psi_{uk} \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial U_m \partial U_n} & \frac{\partial^2 F}{\partial U_m \partial \Psi_{un}} & \frac{\partial^2 F}{\partial U_m \partial \Psi_{u\ell}} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial \Psi_{um} \partial U_n} & \frac{\partial^2 F}{\partial \Psi_{um} \partial \Psi_{un}} & \frac{\partial^2 F}{\partial \Psi_{um} \partial \Psi_{u\ell}} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial \Psi_{uk} \partial U_n} & \frac{\partial^2 F}{\partial \Psi_{uk} \partial \Psi_{un}} & \frac{\partial^2 F}{\partial \Psi_{uk} \partial \Psi_{u\ell}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial U_m} \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial \Psi_{um}} \\ \vdots \\ \frac{\partial F}{\partial \Psi_{uk}} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} I'_i \\ \vdots \\ I''_i \end{bmatrix}^{\dot{E}+1} = \begin{bmatrix} I'_i \\ \vdots \\ I''_i \end{bmatrix}^{\dot{E}} - \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_i \partial I'_j} & \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I'_i \partial I''_j} \\ \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I''_i \partial I'_j} & \frac{\partial^2 F(I)}{\partial I''_i \partial I''_j} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial F(I)}{\partial I'_j} \\ \vdots \\ \frac{\partial F(I)}{\partial I''_j} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Аналитические выражения частных производных первого и второго порядков, входящих в (14), приводятся в [9] соответственно в виде (50)-(51) и (53)-(64). В эти выражения входят частные производные от функций Φ_{pm} , Φ_{qm} и Φ_{pk} , которые целесообразно представить в виде

$$\Phi_{pm} = P_m - \left\{ P_{bm} + g_{m,m} U_m^2 + U_m \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma_1} [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n + \right. \\ \left. + U_m \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} [g_{m,\ell} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell}) + b_{m,\ell} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}; \quad (16)$$

$$\Phi_{qm} = Q_m - \left\{ Q_{bm} - b_{m,m} U_m^2 + U_m \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma_1} [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n + \right. \\ \left. + U_m \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} [g_{m,\ell} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell}) - b_{m,\ell} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}; \quad (17)$$

$$\Phi_{pk} = P_k - \left\{ P_{bk} + g_{k,k} U_k^2 + U_k \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\Gamma_1} [g_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + b_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] U_n + \right. \\ \left. + U_k \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} [g_{k,\ell} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) + b_{k,\ell} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell})] U_\ell \right\}. \quad (18)$$

Частные производные первого порядка от функций (16)-(18), входящие в (14), определяются в виде:

- при одинаковых индексах, когда $n = m$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um}} &= Q_m + b_{m,m} U_m^2, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um}} &= -P_m + g_{m,m} U_m^2,\end{aligned}\tag{19}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk}} &= Q_k + b_{k,k} U_k^2; \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_m} &= -\frac{P_m}{U_m} - g_{m,m} U_m, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_m} &= -\frac{Q_m}{U_m} + b_{m,m} U_m;\end{aligned}\tag{20}$$

- при разных индексах, когда $n \neq m$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}} &= -U_m [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n, \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um}} &= U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n,\end{aligned}\tag{21}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk}} &= -U_k [g_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) - b_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] U_n; \\ \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_n} &= -U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})], \\ \frac{\partial \Phi_{qm}}{\partial U_n} &= -U_m [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})], \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_n} &= -U_k [g_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + b_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un})].\end{aligned}\tag{22}$$

Частные производные (19)-(22) входят в выражения (53)-(64) [9], в которые входят также частные производные вторых производных от функций Φ_{pm} , Φ_{qm} и Φ_{pk} .

Частные производные вторых порядков определяются в виде:

- при одинаковых индексах, когда $n = m$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um}^2} &= P_m - g_{m,m} U_m^2, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um}^2} &= Q_m + b_{m,m} U_m^2,\end{aligned}\quad (23)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk}^2} &= P_k - g_{k,k} U_k^2; \\ \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_m^2} &= -2g_{m,m}, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m^2} &= 2b_{m,m};\end{aligned}\quad (24)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um} \partial U_m} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_m \partial \Psi_{um}} = \frac{Q_m}{U_m} + b_{m,m} U_m, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um} \partial U_m} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m \partial \Psi_{um}} = -\frac{P_m}{U_m} + g_{m,m} U_m;\end{aligned}\quad (25)$$

- при разных индексах, когда $n \neq m$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um} \partial \Psi_{un}} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un} \partial \Psi_{um}} = -U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{um} \partial \Psi_{un}} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un} \partial \Psi_{um}} = -U_m [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n,\end{aligned}\quad (26)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk} \partial \Psi_{uk}} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk} \partial \Psi_{uk}} = -U_k [g_{k,n} \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + b_{k,n} \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] U_n; \\ \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_m \partial U_n} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_n \partial U_m} = -[g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})], \\ \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_m \partial U_n} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n \partial U_m} = -[g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})],\end{aligned}\quad (27)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{un}^2} &= U_m [g_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + b_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n, \\
\frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial \Psi_{un}^2} &= U_m [g_{m,n} \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - b_{m,n} \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] U_n, \\
\frac{\partial^2 \Phi_{pm}}{\partial U_n^2} &= 0, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{qm}}{\partial U_n^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial U_n^2} = 0.
\end{aligned} \tag{28}$$

С другой стороны, имеем

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial U_m \partial U_n} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial U_n \partial U_m} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial U_m \partial \Psi_{un}} = \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{un} \partial U_m} = 0, \\
\frac{\partial^2 \Phi_{qk}}{\partial U_m \partial U_n} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qk}}{\partial U_n \partial U_m} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{qk}}{\partial U_m \partial \Psi_{un}} = \frac{\partial^2 \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{un} \partial U_m} = 0, \\
\frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{um} \partial \Psi_{un}} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{un} \partial \Psi_{um}} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{um} \partial \Psi_{un}} = \frac{\partial^2 \Phi_{qk}}{\partial \Psi_{un} \partial \Psi_{um}} = 0.
\end{aligned} \tag{29}$$

В (29) $k \neq m \neq n$.

При установлении выражений необходимых частных производных первых и вторых порядков необходимо использовать адекватность индексов m и n , k и ℓ , а также i и j .

Несмотря на громоздкость выражений (53)-(64), приведенных в [9], при учете полученных выражений частных производных (19)-(29) можно заметить, что они в действительности упрощаются и могут быть широко использованы для решения практических задач.

Как было сказано выше, реализация нижней правой математической подмодели осуществляется также вторым методом Ньютона с помощью рекуррентного выражения (15). Аналитические выражения частных производных первого и второго порядков, входящих в (15), приводятся в виде (65) и (66) [9]. Для установления аналитических выражений частных производных, входящих в (65) и (66), необходимо воспользоваться функциями Φ_{pi} и Φ_{qi} , которые целесообразно представить в виде

$$\begin{aligned}
\Phi_{pi} &= P_i - \left\{ P_{Ai} + R_{ii} (I_i'^2 + I_i''^2) + \sum_{\substack{j=\bar{A}+1 \\ j \neq i}}^M [R_{i,j} (I_i' I_j' + I_i'' I_j'') - X_{i,j} (I_i' I_j'' - I_i'' I_j')] \right\}, \\
\Phi_{qi} &= Q_i - \left\{ Q_{Ai} + X_{ii} (I_i'^2 + I_i''^2) + \sum_{\substack{j=\bar{A}+1 \\ j \neq i}}^M [X_{i,j} (I_i' I_j' + I_i'' I_j'') + R_{i,j} (I_i' I_j'' - I_i'' I_j')] \right\}.
\end{aligned} \tag{30}$$

Пользуясь (30), можно установить аналитические выражения

необходимых частных производных, входящих в рекуррентное выражение (15):

- для одинаковых индексов, когда $i = j$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_i} &= - \left[\frac{\partial P_{Ai}}{\partial I'_i} + 2R_{i,i}I'_i + \sum_{\substack{j=A+1 \\ j \neq i}}^M (R_{i,j}I'_j - X_{i,j}I''_j) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_i} &= - \left[\frac{\partial P_{Ai}}{\partial I''_i} + 2R_{i,i}I''_i + \sum_{\substack{j=A+1 \\ j \neq i}}^M (R_{i,j}I''_j + X_{i,j}I'_j) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_i} &= - \left[\frac{\partial Q_{Ai}}{\partial I'_i} - 2X_{i,i}I'_i + \sum_{\substack{j=A+1 \\ j \neq i}}^M (R_{i,j}I''_j + X_{i,j}I'_j) \right], \\ \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_i} &= - \left[\frac{\partial Q_{Ai}}{\partial I''_i} - 2R_{i,i}I''_i - \sum_{\substack{j=A+1 \\ j \neq i}}^M (R_{i,j}I''_j - X_{i,j}I'_j) \right],\end{aligned}\tag{31}$$

где

$$\begin{aligned}\frac{\partial P_{Bi}}{\partial I'_i} &= U_0 - \sum_{t=1}^{\Gamma} B'_{i,t} U_0 + \sum_{t=1}^{\Gamma} (B'_{i,t} \cos \Psi_{ut} - B''_{i,t} \sin \Psi_{ut}) U_t, \\ \frac{\partial P_{Bi}}{\partial I'_i} &= - \sum_{t=1}^{\Gamma} B''_{i,t} U_0 + \sum_{t=1}^{\Gamma} (B'_{i,t} \sin \Psi_{ut} + B''_{i,t} \cos \Psi_{ut}) U_t, \\ \frac{\partial Q_{Bi}}{\partial I'_i} &= - \sum_{t=1}^{\Gamma} B''_{i,t} U_0 + \sum_{t=1}^{\Gamma} (B'_{i,t} \sin \Psi_{ut} + B''_{i,t} \cos \Psi_{ut}) U_t, \\ \frac{\partial P_{Bi}}{\partial I'_i} &= -U_0 + \sum_{t=1}^{\Gamma} B'_{i,t} U_0 - \sum_{t=1}^{\Gamma} (B'_{i,t} \cos \Psi_{ut} - B''_{i,t} \sin \Psi_{ut}) U_t;\end{aligned}\tag{32}$$

- при разных индексах, когда $j \neq i$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I'_j} &= -(R_{i,j}I'_i + X_{i,j}I''_i), & \frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial I''_j} &= -(R_{i,j}I''_i - X_{i,j}I'_i), \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I'_j} &= -(-R_{i,j}I''_i + X_{i,j}I'_i), & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial I''_j} &= -(R_{i,j}I'_i + X_{i,j}I''_i).\end{aligned}\tag{33}$$

Вышеприведенные частные производные первых порядков входят как в (65), так и (66) [9].

Частные производные вторых порядков, входящие в (66), определяются в виде:

- при одинаковых индексах, т.е. когда $j = i$:

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I'^2_i} = -2R_{i,i}, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I''^2_i} = -2R_{i,i},\tag{34}$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i'^2} = -2X_{i,i}, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i''^2} = -2X_{i,i}, \quad (35)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_i' \partial I_i''} = \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_i'' \partial I_i'} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i' \partial I_i''} = \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i'' \partial I_i'} = 0; \quad (36)$$

- при разных индексах, т.е. когда $j \neq i$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_i' \partial I_j'} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_j' \partial I_i'} = -R_{i,j}, & \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i' \partial I_j'} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_j' \partial I_i'} = -X_{i,j}, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_i'' \partial I_j''} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_j'' \partial I_i''} = -R_{i,j}, & \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i'' \partial I_j''} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_j'' \partial I_i''} = -X_{i,j}, \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_i' \partial I_j''} &= \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_j'' \partial I_i'} = X_{i,j}, & \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_i' \partial I_j''} &= \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_j'' \partial I_i'} = R_{i,j}; \\ \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_j'^2} &= 0, & \frac{\partial^2 \Phi_{pi}}{\partial I_j''^2} &= 0, \\ \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_j'^2} &= 0, & \frac{\partial^2 \Phi_{qi}}{\partial I_j''^2} &= 0. \end{aligned} \quad (38)$$

Полученные выражения частных производных второго порядка (34)-(38) показывают, что они являются заданными постоянными величинами, что определенно упрощает их выражения.

Фактически при организации итерационного процесса поиска составляющих комплексных токов нагрузочных узлов варьируются только частные производные первых порядков. Итерационный процесс считается завершенным, если численные значения искомых режимных параметров принимают желаемые значения. При этом критерием сходимости решения систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС является

$$|P_m - (P_{\dot{A}m} + \Phi_{pm})| \leq \Delta P_m, \quad (39)$$

$$|Q_m - (Q_{\dot{A}m} + \Phi_{qm})| \leq \Delta Q_m; \quad (40)$$

$$|P_k - (P_{\dot{A}k} + \Phi_{pk})| \leq \Delta P_k; \quad (41)$$

$$|P_i - (P_{\dot{A}i} + \Phi_{pi})| \leq \Delta P_i, \quad (42)$$

$$|Q_i - (Q_{\dot{A}i} + \Phi_{qi})| \leq \Delta Q_i, \quad (43)$$

где $\Delta P_m, \Delta Q_m, \Delta P_k, \Delta P_i, \Delta Q_i$ - выбранные нами положительные величины, характеризующие точность получения численных значений искомых частных производных.

Для ослабления условия сходимости принимается, что

$$\Delta P_m = \Delta P_k = \Delta P_i = \Delta P, \quad (42)$$

$$\Delta Q_m = \Delta Q_i = \Delta Q. \quad (43)$$

После решения полной задачи определяются численные значения реактивных мощностей станционных узлов типа P-U, пользуясь следующим выражением:

$$Q_k = Q_{Ak} + U_k \sum_{n=1}^{\bar{A}_1} [g_{k,n} \sin(\Psi_{Uk} - \Psi_{Un}) - b_{k,n} \cos(\Psi_{Uk} - \Psi_{Un})] U_n + \\ + U_k \sum_{\ell=\bar{A}_1+1}^{\bar{A}} [g_{k,\ell} \sin(\Psi_{Uk} - \Psi_{U\ell}) - b_{k,\ell} \cos(\Psi_{Uk} - \Psi_{U\ell})] U_\ell, \quad (44)$$

где

$$Q_{Ak} = q_{Ak} + \sum_{j=\bar{A}+1}^M [(A'_{k,j} I'_j - A''_{k,j} I''_j) \sin \Psi_{Uk} - (A'_{k,j} I''_j + A''_{k,j} I'_j) \cos \Psi_{Uk}] U_m, \quad (45)$$

с другой стороны,

$$q_{Ak} = - \sum_{t=1}^C (g_{k,t} \sin \Psi_{Uk} + b_{k,t} \cos \Psi_{Uk}) U_k U_0. \quad (46)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В.С., Хачатрян С.Ц., Сафарян В.С.** Расчет установившихся режимов электрических систем с применением матрицы Гессе при Z- форме задания состояния сети // Известия вузов СССР. Энергетика.- 1990.- № 1.- С. 20-23.
2. **Хачатрян В.С., Аль-Дарвиш М.Б.** Решение Y-Z формы уравнений установившегося режима электроэнергетической системы с применением матрицы Гессе // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 1997.- Т. 50, №3.- С. 194-203.
3. **Бадалян Н.П.** Построение "Y-Z, P-Q" математической модели установившегося режима ЭЭС и ее реализация методом минимизации // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2001.- Т. 54, №3.- С. 372-378.
4. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П.** Диакоптическая "Y-Z, P-U" математическая модель установившегося режима электроэнергетической системы и ее реализация методом минимизации // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2002.- Т. 55, №3.- С. 392-399.
5. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П.** Расчет установившегося режима большой электроэнергетической системы методом диакоптики // Электричество.-2003.- № 6.- С. 13-17.
6. **Григорян С.Э.** Новый метод расчета установившегося режима электроэнергетической системы // Вестник МАНЕБ. - Санкт-Петербург. -2004.-Т 9, № 3.-С. 69-73.
7. **Хачатрян К.В.** Метод коррекции установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество.-2005.- N 5.-С. 8-11.
8. **Бадалян Н.П.** Реализация математической модели установившегося режима электроэнергетической системы // Электричество.-2005.- N 6.-С. 33-41.
9. **Хачатрян В.С., Бадалян Н.П., Хачатрян К.В., Григорян С.Э.** Решение системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима электроэнергетической системы методом минимизации // Вестник ИАА.-2005.-Т. 2, N 3.-С. 355-362.
10. **Войтов О.Н., Семенов Л.В., Челпанов А.В.** Алгоритм оценки потерь электроэнергии в электрической сети // Электричество.-2005.-N 10.-С. 45-53.

ГИУА Материал поступил в редакцию 28.09.2004.

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն. Պ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Կ. Վ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ,
Ս. Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՑՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ
ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ

Առաջարկվում է ԷԷՀ-ի կայունացված ռեժիմի ոչ գծային հանրահաշվական հավասարումների համակարգի լուծում Նյուտոնի մեթոդով:

Առանցքային բառեր. մոդել, էլեկտրաէներգետիկական համակարգ, հանգույց, պարամետր, բեռն, հզորություն, մատրից, արգումենտ, մոդուլ:

V. S. KHACHATRYAN, N. P. BADALYAN, K.V. KHACHATRYAN
S.E. GRIGORYAN

NONLINEAR ALGEBRAIC EQUATION SYSTEM SOLUTION OF THE ESTABLISHED
ELECTROPOWER SYSTEM MODE

The method of the nonlinear algebraic equation system solution of the established electropower system mode is offered by Newton`s method.

Keywords: model, electropower system, unit, parameter, loading, capacity, matrix, argument, module.

Г.Г. НАЛБАНДЯН, Г.А. МАРТОЯН, А.В. ЗАРАНЦЯН

ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА В ПЕРВОМ КОНТУРЕ РЕАКТОРОВ ТИПА PWR

Развитие ядерной энергетики требует создания экономически обоснованных и экологически безопасных технологий переработки радиоактивных отходов. В НП ЗАО “Арев” разработан новый электролитический метод [1], применение которого в системе спецводоочистки первого контура реакторов типа PWR позволяет создать новую технологию переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) [2], тем самым существенно уменьшая количество образующихся радиоактивных отходов (РО).

В настоящей статье представлены некоторые технико-экономические показатели при внедрении данного электролитического метода в системах спецводоочистки первого контура реакторов типа PWR.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, новый электролитический метод, первый контур, реактор.

В системах действующих реакторов типа PWR ионообменные фильтры спецводоочистки теплоносителя первого контура частично или полностью насыщаются реагентами, регулирующими реактивность и водно-химический режим. При этом расходуется значительное количество дорогостоящих реагентов (${}^7\text{LiOH}$, обогащенный изотопом ${}^7\text{Li}$ [3], и H_3BO_3 , обогащенный изотопом ${}^{10}\text{B}$, в частности, в реакторе типа EPR), ионообменных смол и образуется большое количество твердых радиоактивных отходов.

Целью исследования является создание на основе нового электролитического метода систем регенерации и многократной рециркуляции ${}^7\text{LiOH}$ и H_3BO_3 , а также переработки ЖРО, обеспечивая при этом эффективное выделение из них долгоживучих радиоактивных изотопов и, тем самым, существенно уменьшая объем РО для последующего хранения.

Предложенные установки регенерации реагентов ${}^7\text{LiOH}$ и H_3BO_3 и переработки ЖРО внедрены в НП ЗАО “Арев” и Армянской АЭС.

В процессе эксплуатации АЭС образуется большое количество ЖРО среднего и низкого уровня активности. В настоящее время на практике с целью уменьшения объемов ЖРО широко применяются методы упаривания, ионообмена и электролиза. Не останавливаясь на преимуществах, отметим лишь недостатки этих методов:

1. Метод упаривания. Основным недостатком этого метода является то, что все радионуклиды остаются в продукте упаривания, являющемся твердым радиоактивным отходом, в результате чего возникает проблема их дальнейшего длительного хранения.

Метод упаривания воды с последующим глубоким упариванием, применяемый часто на практике, является не только дорогим способом очистки с экономической точки зрения, но и источником образования

значительного количества твердых радиоактивных отходов (60 т/год) со средним уровнем активности по данным АрмАЭС. Радиоактивность продукта установки глубокого упаривания (УГУ) обусловлена наличием в его составе радионуклидов Cs^{134} , Cs^{137} , Mn^{54} , Co^{60} , Na^{24} . В табл. 1 приведены данные по активности этих изотопов в составе продукта УГУ и их время распада.

Таблица 1

Активность основных радиоактивных изотопов в продукте УГУ

Радионуклид	Активность, Бк/л	Время полураспада
Cs^{134}	$6,6 \cdot 10^5$	2,07 года
Cs^{137}	$1,4 \cdot 10^6$	30 лет
Mn^{54}	$2,9 \cdot 10^4$	312,3 сут.
Co^{60}	$3,8 \cdot 10^4$	5,3 года
Na^{24}	$1,9 \cdot 10^4$	14,9 час

2. Метод ионообмена. Основными недостатками этого метода является то, что:

- его применяют для ЖРО с солесодержанием не более 1 г/л;
- применяемые ионообменные смолы превращаются в радиоактивные отходы;
- он практически не обеспечивает необходимой глубины очистки, поэтому его применяют только при закрытых циклах работы.

3. Метод электролиза с применением диафрагмы, ртутного катода и образованием амальгама. Основные недостатки этого метода:

- требуется дальнейшая переработка амальгама, в ходе которой ввиду образования новых объемов ЖРО эффективность переработки ухудшается;
- производительность переработки ЖРО ограничена малой скоростью образования амальгама.

Ранее используемые электродиализные установки не нашли дальнейшего применения, так как не давали существенного уменьшения объемов ЖРО по сравнению с методом упаривания и не обеспечивали необходимой глубины очистки.

В методах электродиализа глубина выделения радиоактивных изотопов лимитируется обратной диффузией из электродных отсеков этих изотопов, как только их концентрация в этих отсеках начинает расти. Таким образом, для увеличения глубины выделения нужно уменьшить концентрацию изотопов в электродных отсеках. Этого можно достичь, например, увеличением объема воды в этих отсеках, что приводит к ухудшению общей эффективности.

В НП ЗАО «Арев» разработан новый электролитический метод, позволяющий с высокой эффективностью (табл. 2) выделить изотопы в виде твердой фазы [4], тем самым существенно уменьшая объем ЖРО (см. рис.).

В рабочую камеру электродиализатора с целью очистки подавалась трапная вода активностью $2,2 \cdot 10^4$ Бк/л. В процессе электродиализа под влиянием постоянного тока происходит перенос катионов через катионообменную мембрану в катодный отсек и перенос анионов через

анионообменную мембрану в анодный отсек электродиализатора. Об окончании процесса очистки можно судить по ходу изменения тока через ячейки электродиализатора. Объем ЖРО, образующихся в анодном и катодном отсеках, определяет эффективность уменьшения объемов для метода электродиализа.

Таблица 2

Эффективность выделения радиоактивных изотопов из ЖРО

Радионуклид	Активность, Бк/л	Активность изотопов после переработки, Бк/л	Эффективность выделения изотопов из ЖРО
¹³⁷ Cs	15000	1,70	8820 : 1
⁹⁰ Sr	6000	1,30	4620 : 1
¹³⁴ Cs	5000	0,60	8330 : 1
⁶⁰ Co	1200	0,70	1710 : 1
⁵⁴ Mn	600	-	-
²⁴ Na	200	-	-
Суммарная активность, Бк/л	28000	4,30	6500 : 1

Новый электролитический метод был использован именно с целью концентрирования анолита и католита. В Армянской АЭС аналогичная схема установки была внедрена для переработки ЖРО [5]. Технические характеристики данной установки представлены в табл. 3.

Как показывают технико-экономические расчеты, сделанные на примере Армянской АЭС, переработка ЖРО с помощью данной установки обходится гораздо дешевле по сравнению с выпарной установкой. Это обусловлено следующими факторами:

- переработка ЖРО выпарным методом в 15 раз превышает затраты по сравнению с предлагаемым методом;
- объем продукта УГУ уменьшается больше чем на порядок, что существенно уменьшает расходы на консервацию твердых отходов.

Таблица 3

Технические характеристики установки, построенной в Армянской АЭС, для переработки ЖРО

Вес	10 т
Площадь размещения	100 м ²
Содержание солей в первоначальных ЖРО	не более 5 г/л
Производительность установки	10 т/ч
Электрическая мощность	50 кВт
Выделение изотопов Cs	более 99,9 %
Степень радиоактивности в очищенной воде	менее 10 ⁻¹¹ Ки/л

В табл. 4 представлены преимущества нового электролитического метода по сравнению с существующими методами переработки ЖРО.

При операциях водообмена теплоноситель в действующих реакторах типа PWR для очистки подается в ионообменные фильтры, где все количество лития задерживается в ионообменных смолах. В связи с этим предлагается внедрить систему полной регенерации и рециркуляции лития и бора, которая достигается с помощью новой установки для выделения лития и бора из теплоносителя [6]. Предложенная установка работает по принципу нового электролитического метода.

Таблица 4

Преимущества нового электролитического метода по сравнению с существующими методами переработки ЖРО

Характеристики	Переработка ЖРО с использованием выпарной установки	Метод электролиза с образованием амальгама	Предложенный электролитический метод
Степень очистки ЖРО, %	99,99	99,99	99,99
Уменьшение объема ЖРО	160:1	~ 2:1	>2000:1
Необходимый срок хранения ЖРО после переработки	186 лет	~ 6 лет	~ 6 лет
Борная кислота	не выделяется	выделяется	выделяется

С этой целью в исследовательской лаборатории НП ЗАО «Арев» создана физическая модель электролитической установки, на которой имитируются физико-химические процессы, проходящие в первом контуре PWR. На созданной лабораторной установке (см. рис.) осуществлен следующий эксперимент: 10 л раствора концентрацией H_3BO_3 8 г/л и LiOH 6,5 мг/л из бака обрабатываемого раствора 1 подается в бак для воды 2 с расходом 20 мл/с, а из него по линии рециркуляции 7 подается в камеру переработки электродиализатора-сепаратора 4. Электродиализатор-сепаратор имеет четыре рабочих отсека с эффективной поверхностью мембран 1000 см². В процессе электродиализа анионы по контуру циркуляции анионов 6 накапливаются в баке анолита 3, а катионы по контуру циркуляции катионов 5 – в баке католита 8. После сепарации щелочной раствор по контуру рециркуляции католита 9 подается в камеру переработки электролитического концентратора 10, где в баке 11 происходит концентрирование LiOH. Количество извлеченного и концентрированного лития зависит от величины тока, проходящего через электролитический концентратор. По окончании операции переработки водного раствора величина тока в электролитическом концентраторе падает с 5 до 0,007 А. В результате проведенного эксперимента получен концентрированный раствор бора по линиям 12, 13, 14 и лития. По указанной технологии эффективность выделения и концентрирования составляет 99%.

Система полной рециркуляции лития и бора при внедрении установки для выделения лития и бора из теплоносителя имеет следующие преимущества:

- полное выделение лития и бора из теплоносителя в виде концентрата;

- уменьшается количество расходуемых ионообменных смол;
- уменьшается количество твердых радиоактивных отходов;
- возможность рециркуляции ${}^7\text{LiOH}$ и H_3BO_3 ;
- значительно снижается радиоактивность теплоносителя.

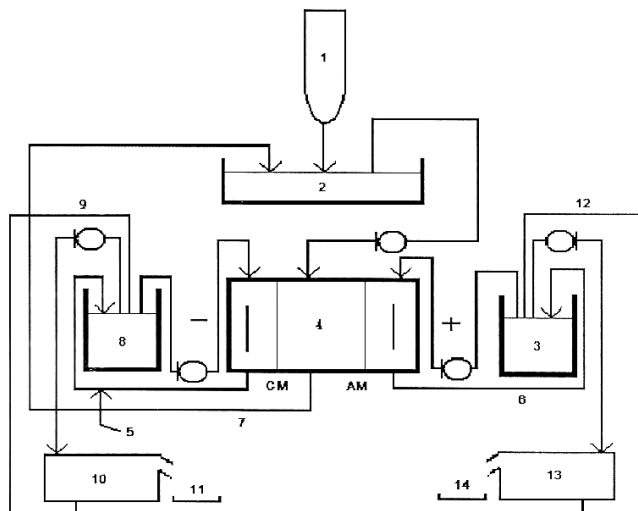


Рис. Принципиальная схема установок по переработке ЖРО и регенерации и многократной рециркуляции ${}^7\text{LiOH}$ и H_3BO_3 на основе нового электролитического метода, разработанная в НР ЗАО “Арев”

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. В НР ЗАО “Арев” разработан новый электролитический метод, позволяющий с высокой эффективностью выделить радиоактивные изотопы в виде твердой фазы, тем самым существенно уменьшая объем ЖРО.
2. Внедрение установки полной рециркуляции лития и бора в первом контуре реакторов типа PWR позволит значительно уменьшить расходы на переработку теплоносителя первого контура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Patent No. PST/AM03/00002 (Patent Cooperation Treaty–PST, World Intellectual Property Organization–WIPO, Geneva), “Electrolytic Method for the Extraction of Metals” /**Gagik Martoyan, Sahak Intsheyan, Sukias Tonikyan, Manuk Demirchyan and Zaven Guiragossian**, 2003.
2. **Guiragossian Z.G., Martoyan G.A., Intsheyan S.G., Tonikyan S.G. and Nalbandyan G.G.** The extraction of Heavy Metals by Means of a New Electrolytic Method //

Proceedings of the 29th Waste Management Symposium WM03.-February 23–27, 2003.-Tucson, Arizona, USA. 2003, www.x-sd.com/wm03/html/prof217html.

3. **Налбандян Г.Г.** Выбор экономически выгодного химического элемента для регулирования pH теплоносителя в водо-водяных энергетических реакторах // Сборник материалов годичной научной конференции ГИУА.- Ереван, 2002.- Т. 1.-С. 185-186.
4. **Guiragossian Z.G., Martoyan G.A., Demirghyan M., Intsheyan S.G., Nalbandyan G.G., Tonikyan S.G.** New hydrometallurgical method to partition & separate actinides & fission fragments for ADS // International Workshop of P&T and ADS 2003.- 7 October 2003. "AREV" Scientific-Industrial Institute cjsc. www.sckcen.be/sckcen_en/activities/conf/-conferences/2003/006/index.html.
5. **Guiragossian Z.G., Martoyan G.A., Intsheyan S.G., Nalbandyan G.G. and Tonikyan S.G.** Innovative mobile high-volume liquid radioactive waste processing system // Proceedings of the 30th Waste Management Symposium WM04.-February 29 – March 4, 2004.-Tucson, Arizona, USA.
6. **Заранцян А.В., Налбандян Г.Г.** Исследование систем водоподготовки первого контура водо-водяных энергетических реакторов с учетом новых решений // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2003.-Т. 56, № 3.-С. 432 - 436.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.07.2004.

Գ.Գ. ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ, Գ.Ա. ՄԱՐՏՈՅԱՆ, Ա.Վ.ԶԱՐԱՆՅԱՆ

ՆՈՐ ԷԼԵԿՏՐՈԼԻՏԻԿ ՄԵԹՈԴԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ PWR ՏԵՄԱԿԻ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ԵԶՐԱԳԾՈՒՄ

Միջուկային էներգետիկայի զարգացումը պահանջում է ռադիոակտիվ թափոնների մշակման տնտեսապես շահավետ և էկոլոգիապես անվտանգ տեխնոլոգիաների ստեղծում: «Արև» ԳԱ ՓԲԸ-ում մշակվել է նոր էլեկտրոլիտիկ մեթոդ, որի կիրառումը PWR տեսակի ռեակտորների առաջնային եզրագծի հատուկ ջրամաքրման համակարգում թույլ է տալիս ստեղծել հեղուկ ռադիոակտիվ թափոնների մաքրման նոր տեխնոլոգիա՝ էապես նվազեցնելով առաջացող ռադիոակտիվ թափոնների քանակը:

Առանցքային բաներ. ռադիոակտիվ թափոն, նոր էլեկտրոլիտիկ մեթոդ, ռեակտիվ առաջնային եզրագիծ:

G.G. NALBANDYAN, G.A. MARTOYAN, A.V. ZARANTSYAN

NEW ELECTROLYTIC METHOD APPLICATION IN THE FIRST CIRCUIT OF PWR TYPE REACTORS

Some technical economical factors in implementing the given electrolytic method in special water treatment systems of the first circuit of PWR type reactors are given.

Keywords: radioactive wastes, new electrolytic method, first circuit, reactor.

Տ.Ս. ԹԱԹԻԿՅԱՆ

ՋԷԿ-Ի ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՌԵԺԻՄԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ԲՆԱՊԱՀՊԱՆԱԿԱՆ
ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴԳՐԿՄԱՄԲ

Հետազոտվել են ՋԷԿ-երի աշխատանքի ռեժիմներից կախված բնապահպանական գործոնները, դրանցից առանձնացվել են էլեկտրական բեռի բաշխման լավարկման վրա ազդեցություն ունեցող գործոնները: Որպես օրինակ դիտարկվել է Հրազդանի ՋԷԿ-ի 200 ՄՎտ հզորության էներգաբլոկի բեռի լավարկման վրա ազդող երկօքսիդի արտանետման ունեցած ազդեցությունը:

Առանցքային բառեր. էներգահամակարգ, էլեկտրակայաններ, լավարկում, միջանկյալ գերտաքացում, շրջակա միջավայր, բնօգտագործման վճար, ազոտի երկօքսիդ, ծխազագերի վերաշրջանառության աստիճան:

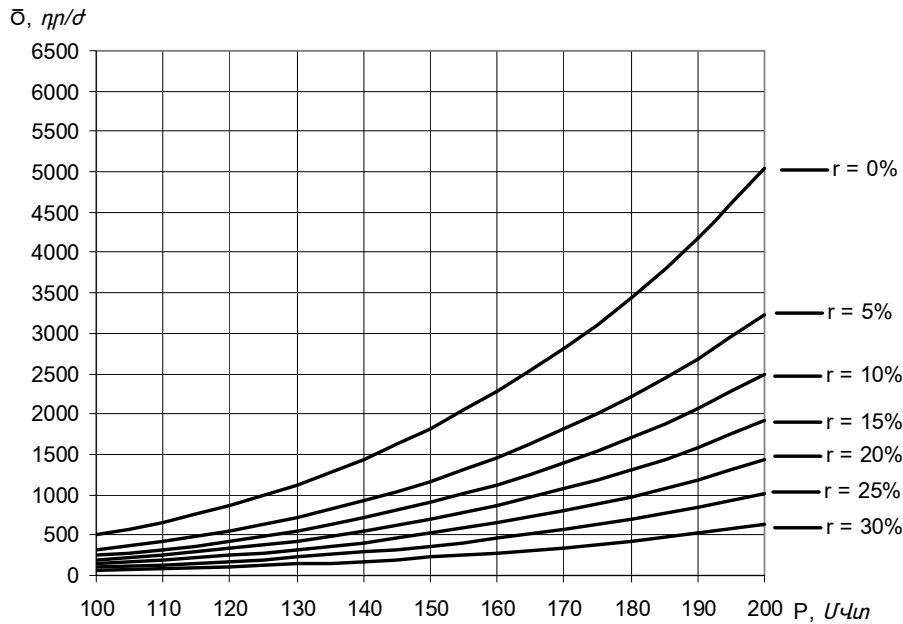
Էներգահամակարգի էլեկտրակայանների միջև էլեկտրական բեռնվածքի բաշխման խնդրի հիմնական փուլերից մեկն առանձին էլեկտրակայանների աշխատանքային ռեժիմների ներկայանային լավարկումն է: Այդ գործընթացում անհրաժեշտ է ստանալ կայանի բեռնվածքից կախված փոփոխական դրամական ծախսերի մեծությունները: Վերջինիս հիմնական մասը կազմում է էներգակրի արժեքը, իսկ բնապահպանական արդի հիմնախնդիրների դիտարկման պարագայում հարկ է լինում ընդգրկել նաև այդ գործոններով պայմանավորված ծախսերը [1]: Բնության պահպանությանն առնչվող կայանային ծախսերը կարելի է դասակարգել ըստ հետևյալ երեք խմբերի. ա) բնօգտագործման և բնապահպանական վճարներ, բ) արտադրական թափոնների վնասազերծման և պահպանման և գ) վնասակար արտանետումների կրճատմանն ուղղված միջոցառումների ծախսեր: ՋԷԿ-երի համար, որպես կայանի կամ առանձին տեղակայանքի բեռնվածքից կախում ունեցող ծախս, ուշադրության արժանի է ազոտի երկօքսիդի արտանետման համար բնապահպանական վճարը, որի արժեքը ներկայումս սահմանված է 14800 դր /տ [2]:

Ջերմային էլեկտրակայաններում օրգանական վառելիքի այրման արգասիքների մեջ ազոտի երկօքսիդի քանակի նվազեցման արդյունավետ միջոց է ծխազագերի վերաշրջանառության կազմակերպումը [3]: Շոգու միջանկյալ գերտաքացմամբ կաթսայական տեղակայանքների համար ծխազագերի վերաշրջանառությունը հնարավորություն է տալիս նաև ապահովել միջանկյալ գերտաքացման ջերմաստիճանի անհրաժեշտ մակարդակ: Սակայն, դրա իրականացումը կապված է վերաշրջանառության մղիչներում էլեկտրաէներգիայի լրացուցիչ ծախսի հետ, ուստի անհրաժեշտ է հետազոտել այդ երեք գործոնների գումարային ազդեցության տնտեսական արդյունավետությունը:

Դիտարկենք ծխազագերի վերաշրջանառության տնտեսական արդյունավետությունը Հրազդանի ՋԷԿ-ի 200 ՄՎտ հզորության էներգաբլոկի օրինակով: Այդ նպատակով անհրաժեշտ է ստանալ վերոհիշյալ գործոնների

դրամական արժեքների կախվածությունը էներգաբյուրեղի հզորությունից (P) և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից (r) :

Էներգաբյուրեղի կաթսայական տեղակայանքից արտանետված ազոտի երկօքսիդի քանակի կախվածությունը տուրբատեղակայանքի հզորությունից և r -ի տարբեր արժեքներից ստանալու համար մշակվել են $M(B,r)$ կապերը [3], այնուհետև, հաշվի առնելով էներգաբյուրեղի $b(P)$ նորմատիվային բնութագիրը (պայմանական վառելիքի տեսակարար ծախսի կախումը հզորությունից), ստացվել են $M(P,r)$ կապերը: Ի վերջո, կիրառելով 14800 η /տ դրույքաչափը, դուրս են բերվել փոփոխական ծախսերի $O(P,r)$ կապերը (նկ. 1):



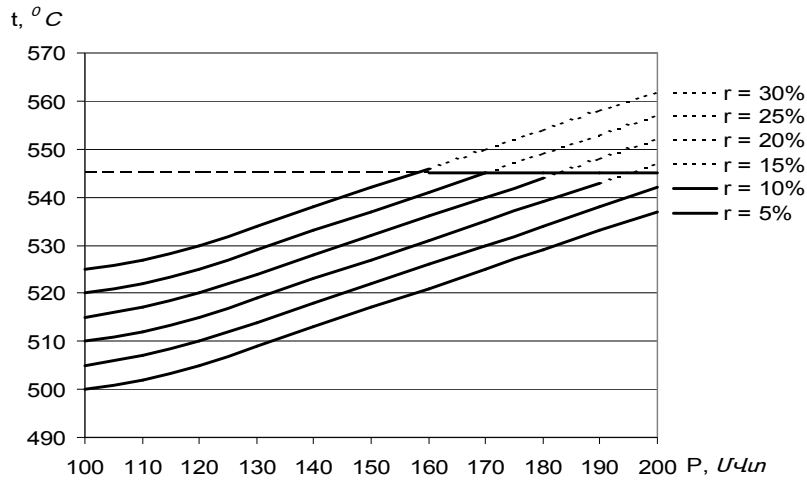
Նկ. 1. Ազոտի երկօքսիդի արտանետման բնօգտագործման վճարը՝ կախված էներգաբյուրեղի հզորությունից և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից

Ինչպես արդեն նշվեց, ծխագազերի վերաշրջանառության միջոցով կարելի է բարձրացնել շոգու միջանկյալ գերտաքացման ջերմաստիճանը ($t_{\text{մգ}}$), որի շնորհիվ ստացվում է էներգաբյուրեղի հզորության որոշակի՝ ΔP աճ: Այդ աճի ֆունկցիոնալ առնչությունները ստանալու համար անհրաժեշտ է ունենալ $t_{\text{մգ}}(P,r)$ բնութագրերը, որոնք ստացվել են պասիվ փորձարկումների մեթոդով (նկ. 2):

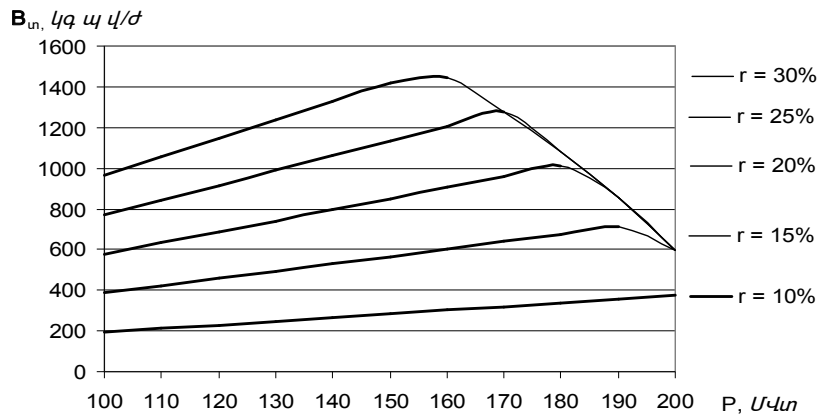
Այս ջերմաստիճանային բնութագրերի միջոցով և ջրային գոլորշու i -s դիագրամի օգնությամբ ստանում ենք միջանկյալ գերտաքացման շոգու էնթալպիայի աճը (Δi , կՋ/կգ): Էներգաբյուրեղի հզորության աճը կարող ենք որոշել

$$\Delta P = \Delta i \cdot \eta_{\text{էմ}} \cdot D_{\text{մգ}}, \text{ կՎտ} \quad (1)$$

արտահայտությամբ, որտեղ $\eta_{\text{էմ}}$ –ը տուրբատեղակայանքի էլեկտրամեխանիկական ՕԳԳ-ն է, իսկ $D_{\text{մգ}}$ –ն՝ միջանկյալ գերտաքացման շոգու ծախսը ($D_{\text{մգ}}$ (D_0), $կգ/վ$):



Նկ. 2. Միջանկյալ գերտաքացման ջերմաստիճանի կախումը էներգաբլոկի հզորությունից և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից



Նկ. 3. Միջանկյալ գերտաքացման ջերմաստիճանի բարձրացման հետևանքով վառելիքի տնտեսման կախումը էներգաբլոկի հզորությունից և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից

Էնթալպիայի աճն ապահովելու համար անհրաժեշտ է հնոցում այրել լրացուցիչ վառելիք, որի քանակությունը որոշվում է

$$\Delta B_i = 3600 \Delta i D_{\text{մգ}} / \eta_{\text{կ}}^0 Q_{\text{ս}}^{\text{բ}}, \text{ կգ/ժ} \quad (2)$$

առնչությամբ, որում $\eta_{\text{կ}}^{\text{բ}}$ -ն շոգեկաթսայի նետոտ ՕԳԳ-ն է, $Q_{\text{ս}}^{\text{բ}}$ -ն՝ պայմանական վառելիքի ստորին բանվորական ջերմարարությունը (կՋ/կգ): Էներգաբլոկի հզորության աճով պայմանավորված պայմանական վառելիքի ժամային տնտեսումը կարելի է որոշել

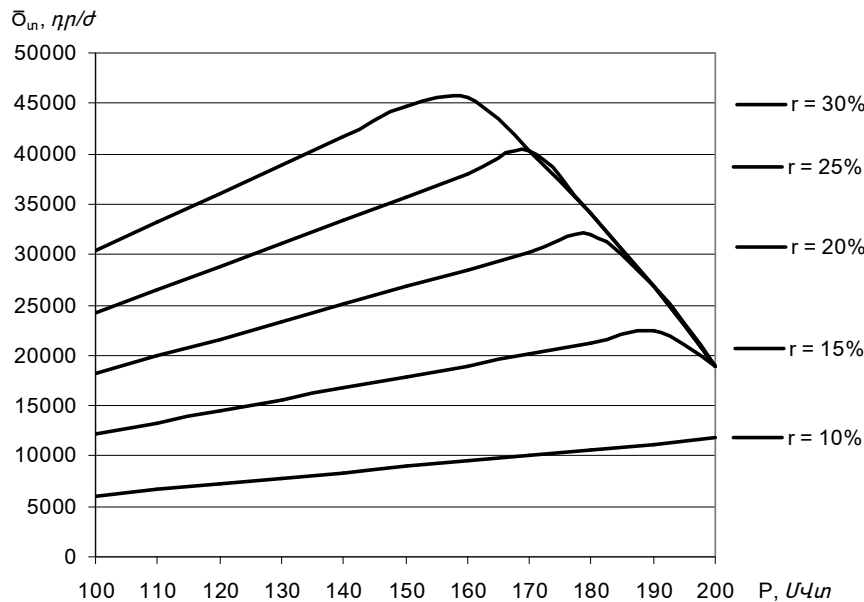
$$B_{\text{տ}} = b \Delta P - \Delta B_{\text{կ}} \quad (3)$$

արտահայտությամբ, որտեղ b -ն պայմանական վառելիքի նորմատիվային ծախսն է, կգ/կՎտ.ժ :

Ունենալով $B_{\text{տ}}(P, r)$ կապը, գազային վառելիքի գինը (C) և ստորին բանվորական ջերմարարությունը ($Q_{\text{սգ}}^{\text{բ}}$)՝

$$\bar{O}_{\text{տ}} = C B_{\text{տ}} Q_{\text{ս}}^{\text{բ}} / Q_{\text{սգ}}^{\text{բ}}, \text{ ղր/ժ} \quad (4)$$

արտահայտությամբ ստանում ենք $\bar{O}_{\text{տ}}(P, r)$ կապերը (նկ.4):



Նկ. 4. Միջանկյալ գերտաքացման ջերմաստիճանի բարձրացման հետևանքով դրամական տնտեսման կախումը էներգաբլոկի հզորությունից և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից

Նկ.3 և 4-ից երևում է, որ, հզորության որոշակի արժեքներից սկսած, տեղի է ունենում վառելիքի, հետևաբար նաև դրամական տնտեսման անկում: Դրա պատճառն այն է, որ տվյալ P -ի և r -ի դեպքում միջանկյալ գերտաքացման շոգու ջերմաստիճանը հասնում է իր անվանական արժեքին՝ 545°C (նկ.2):

Վերաշրջանառության մոլիչների բնութագրերի և պասիվ փորձարկումների արդյունքների համադրմամբ ստացվել են անհրաժեշտ հզորության $N(P, r)$ բնութագրերը, որի միջոցով էլ՝ միավոր արտադրանքին բաժին ընկնող դրամական

$\delta_{\text{tl}}(P, r)$ ծախսը (*դր/կՎտ.ժ*)՝ պայմանավորված վերաշրջանառության իրականացման համար էլեկտրաէներգիայի լրացուցիչ ծախսով՝

$$\delta_{\text{tl}} = c N / P(1 - \Phi_{\text{սկ}}), \quad (5)$$

որտեղ c -ն կայանից առաքված էլեկտրաէներգիայի ինքնարժեքն է, $\Phi_{\text{սկ}}$ -ն՝ էներգաբլոկի սեփական կարիքների գործակիցը:

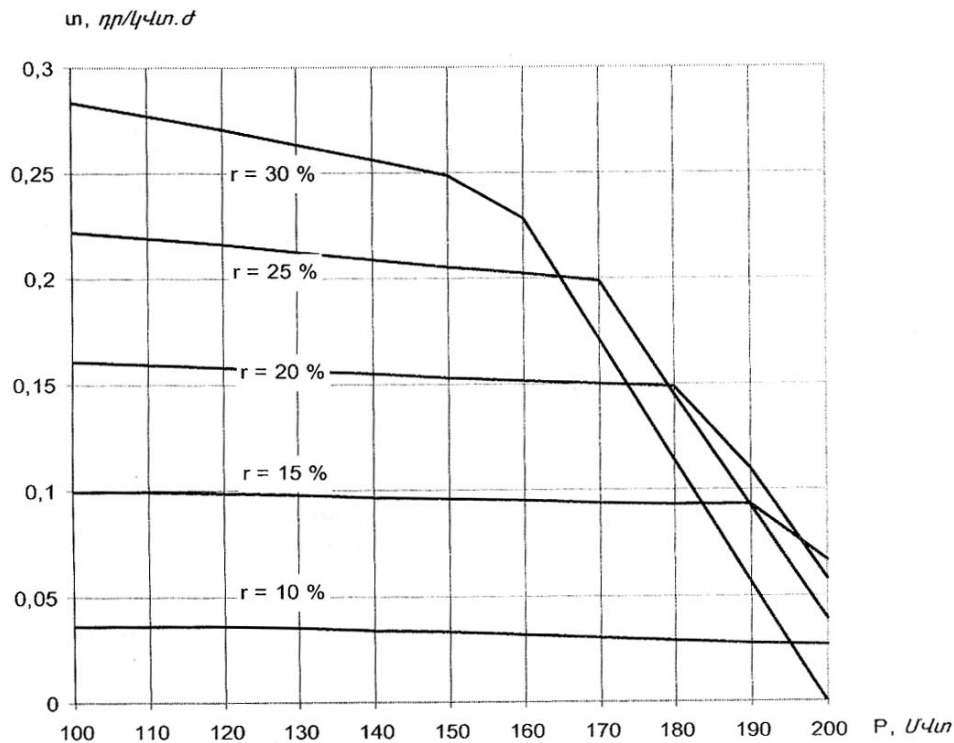
Դրամական տնտեսման գումարային մեծության կախվածությունը էներգաբլոկի հզորությունից և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից (բերված առաքված էլեկտրաէներգիայի *կՎտ.ժ*-ի) ստացվում է հետևյալ բանաձևով.

$$u = \delta_u + \delta_r - \delta_{\text{tl}}, \quad (6)$$

որում

$$\delta_u = \bar{U}_u / P(1 - \Phi_{\text{սկ}}), \quad \delta_r = (\bar{O}_{r=0} - \bar{O}_{r=i}) / P(1 - \Phi_{\text{սկ}}): \quad (7)$$

(6) – ի հիման վրա ստացված արդյունքները բերված են նկ.5.-ում:



Նկ. 5. Դրամական տնտեսման գումարային մեծության կախվածությունը էներգաբլոկի հզորությունից և ծխագազերի վերաշրջանառության աստիճանից (բերված առաքված էլեկտրաէներգիայի կՎտ.ժ -ի)

Ինչպես երևում է նկ.5 – ից, դրամական տնտեսման տեսանկյունից նպատակահարմար է վերաշրջանառության բարձր աստիճան կիրառել ցածր բեռնվածքների տիրույթում, իսկ անվանականին մոտ բեռնվածքների դեպքում՝

հակառակը: Այդ առումով ուշադրության է արժանի (170-200) *ՄՎտ* տիրույթը: Մասնավորապես, 200 *ՄՎտ* - ի համար շահավետ է կիրառել 15 % վերաշրջանառություն, ոչ թե 30 %, քանի որ վերջին դեպքում ծախսերն և ծրարմանների գումարային արժեքը հավասարվում է ծախսված լրացուցիչ էլեկտրաէներգիայի արժեքին:

Կատարված հետազոտության արդյունքները կիրառելով էներգաբաշխիչ դրամական ծախսերի հարաբերական աճերի բնութագրերի ստացման գործընթացում [1]՝ դիտվել է լավարկված բեռի փոփոխություն՝ 2-4 *ՄՎտ* չափով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Մարուխյան Ռ.Զ., Թաթևյան Տ.Ս. ՀՀ էներգահամակարգի էլեկտրակայանների միջև էլեկտրական բեռի բաշխման լավարկումը // ՀԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. - Երևան, 2004. - Հատոր LVII, № 1. - էջ 69-76:
2. ՀՀ Օրենքը Բնապահպանական վճարների դրույքաչափերի մասին // ՀՀ Օրենքում փոփոխություն կատարելու մասին // ՀՀ պաշտոնական տեղեկագիր. - 19 մայիսի, 2005. - N 28(400). - էջ 19:
3. Մարուխյան Ռ.Զ., Թաթևյան Տ.Ս. Ջերմաէլեկտրակայանների գազային վառելիքի այրման արգասիքներում ազոտի օքսիդների պարունակության կախումը վառելիքի ծախսից և այրման ռեժիմից // ՀՀԱԱ. - Երևան, 2005. - Հատոր 2, № 4. - էջ 489-491:

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 30.03.2006:

Т.С. ТАТИКЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТЭС С УЧЕТОМ ПРИРОДООХРАННЫХ ФАКТОРОВ

Исследованы экологические факторы, зависящие от режимов работы ТЭС. Выделены факторы, влияющие на оптимизацию распределения электрической нагрузки. В качестве примера рассмотрено влияние выброса диоксида азота энергоблока 200 *МВт* на оптимизацию нагрузки Разданской ТЭС.

Ключевые слова: энергосистема, электростанция, оптимизация, промежуточный перегрев, окружающая среда, плата за природопользование, диоксид азота, продукты сгорания, степень рециркуляции дымовых газов.

T.S. TATIKYAN

OPTIMIZATION OF THE TPP OPERATING MODE TAKING INTO ACCOUNT THE ENVIRONMENTAL FACTORS

The TPP operating mode-dependent environmental factors influencing the optimization of electric demand distribution are studied. For example, the influence of the nitrogen dioxide emission of 200 *MW* power unit on the optimization of Hrazdan TPP load is examined.

Keywords: power system, power plants, optimization, reheat, environment, environmental payment, nitrogen dioxide, flue gas recycling rate.

Ա.Ա. ՄԱՐԳՍՅԱՆ

ՀԱԷԿ-Ի ՏՈՒՐԲՈՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՄԲ

Ժամանակակից հզոր ատոմային և ջերմային կայանների էներգաբլոկները բարդ կապերով և բազմաթիվ պարամետրերով բնութագրվող համակարգեր են: Լավարկման խնդրի ուսումնասիրության համար ավելի բնութագրական հանգույցը կայանի ցածր պոտենցիալային համալիրն է (ՑՊՀ), որն իր մեջ ներառում է տուրբինի ցածր ճնշման մասը, խտարարը (կոնդենսատոր), տեխնիկական ջրամատակարարման համակարգը և աշտարակահովացուցիչը:

Առանցքային բաներ. ցածր պոտենցիալային համալիր, թերմիկ ՕԳԳ, խտարար, լավարկում, էներգետիկ օբյեկտ, տեխնոլոգիական գործընթաց:

Ինչպես հայտնի է, ջերմային և ատոմային էլեկտրակայանների շահավետության բարձրացման հիմնական ուղին տվյալ կայանում տեղակայված ցիկլի թերմիկ ՕԳԳ-ի բարձրացումն է: Դա պայմանավորված է տուրբինի մտնող թաքմ շոգու պարամետրերի լավարկմամբ: Սակայն հայտնի է, որ ջերմային ցիկլի շահավետությունը էապես պայմանավորված է նաև աշխատող վերջնական պարամետրերով [1, 2]: Գտնվելով նման բարդ և վառելիքային ռեսուրսներից աղքատ աշխարհագրական դիրքում, մեր էներգետիկայում գլխավոր ուղին պետք է լինի ներկայումս գոյություն ունեցող էներգետիկ օբյեկտներից առավելագույնը կորզելը: Հաշվի առնելով ԱԷԿ-ում աշխատող ջերմային ցիկլում շոգու նախնական պարամետրերի բարձրացման անհնարինությունը, խնդրի դիտարկման ժամանակ հիմնական շեշտադրումը կատարվում է վերջնական պարամետրերի փոփոխման հնարավորության, այսինքն՝ ցածր պոտենցիալային համալիրի աշխատանքի ուսումնասիրության և լավարկային աշխատանքային ռեժիմի առաջարկմանը: Օրինակ՝ հանրապետության բնակլիմայական պայմանները զգալիորեն կանխորոշում են վերջնական պարամետրերի կախվածությունը շրջապատող միջավայրի պայմաններից:

ԱԷԿ-ի և ՋԷԿ-ի համար որպես վերջնական պարամետրեր համարվում են կոնդենսացվող շոգու ջերմաստիճանը և կոնդենսատորում բացարձակ ճնշումը (նոսրացումը), որը կախված է կոնդենսացման գործընթացից, այսինքն՝ հովացնող ջրի քանակից, որակից, ջերմաստիճանից և արագությունից, ջերմափոխանցման մակերևույթից, նրա վիճակից և այլ գործոններից [3]:

Ցիկլի թերմիկ ՕԳԳ-ի կախվածությունը վերջնական ջերմաստիճանի փոփոխությունից ավելի զգալի է: Աշխատող միջավայրի սկզբնական և վերջնական ջերմաստիճաններից կախված այն որոշվում է

$$\eta_i = 1 - \frac{T_d}{T_0}$$

արտահայտությամբ [2], որտեղ T_d -ն տուրբինում աշխատած շոգու ջերմաստիճանն է, $^{\circ}C$, T_0 -ն՝ ցիկլի ջերմության հաղորդման միջին թերմոդինամիկական ջերմաստիճանը, որը Կառնոյի համարժեք ցիկլի համար հավասար է նախնական ջերմաստիճանին, $^{\circ}C$:

Դիֆերենցելով այս արտահայտությունը ըստ T_0 -ի և T_d -ի՝ կստանանք.

$$\begin{aligned} \text{ըստ } T_0 \text{-ի } \quad \eta'_{T_0} &= \frac{T_d}{T_0^2}, \\ \text{ըստ } T_d \text{-ի } \quad \eta'_{T_d} &= -\frac{1}{T_0}: \end{aligned}$$

Այս երկու արտահայտությունների հարաբերությունից կստանանք՝

$$\frac{\eta'_{T_d}}{\eta'_{T_0}} = \frac{T_0}{T_d}:$$

Օրինակ, ՀԱԷԿ-ի համար $T_0/T_d=254,9/22=11,58$: Այսինքն՝ միևնույն պայմաններում վերջնական ջերմաստիճանի իջեցումն ավելի քան 11 անգամ ավելի ազդեցիկ է սկզբնական ջերմաստիճանի համանման բարձրացումից:

Ջերմային և ատոմային կայանների ՑՊՀ-ի առանձնահատկությունները համալիրի առանձին հանգույցներում տեխնոլոգիական գործընթացների բավականին նեղ փոխկախվածություններն են, որոնք պայմանավորվում են համալիրի աշխատանքային ռեժիմների տեղայնությամբ և, հետևաբար, դիտարկվող համալիրի պարամետրերի համեմատաբար թույլ կախվածությամբ կայանի մնացած սարքավորումների պարամետրերով և ռեժիմներով, ինչպես նաև իր ջերմային սխեմայով: Վերջին առանձնահատկությունը թույլ է տալիս առանձնացնել տուրբոտեղակայանքի ՑՊՀ-ի պարամետրերի լավարկումը որպես առանձին, անկախ դիտարկվող խնդիր, որը կազմում է ԱԷԿ-ի աշխատանքային ռեժիմների լավարկման խնդրի մի մասը: ՑՊՀ-ի մաթեմատիկական մոդելը ցույց է տալիս պարամետրերի միջև գոյություն ունեցող քանակական փոխհարաբերությունները, արտաքին տեխնոլոգիական և նյութական բնութագրերը և տնտեսական կապերը[4]:

Աշխատանքի նպատակն է՝ ցածր պոտենցիալային համալիրում տեղի ունեցող գործընթացների հիման վրա ստացված մաթեմատիկական արտահայտությունների միջոցով ստեղծել նմանակային մաթեմատիկական մոդել, որը հնարավորություն կտա դիտարկել աշխատանքային ռեժիմների ցանկացած հնարավոր տարբերակ և ընտրել լավարկային եղանակը: Որպես նախնական հաշվարկային պարամետրեր ընդունվում են տեղակայանքի բոլոր պարամետրերի անվանական արժեքները, կամ այն արժեքները, որոնք ժամանակի ընթացքում փոփոխվել են՝ կապված կառուցվածքային փոփոխությունների հետ:

ՑՊՀ-ի աշխատանքը կարող է արտահայտվել հետևյալ ֆունկցիոնալ կախվածության միջոցով [4]՝

$$N=N(i'_l, P_l, i_l, D_l, \Sigma D_{\eta p}, t_{\eta p}, F_l, c_2, t_1, t_2, G_{\eta p}, \beta, K, W_{\eta p}, h, \varphi, v, t_{on}, F, d_1, d_2, \alpha_1, \alpha_2 \dots),$$

որտեղ N - ը տուրբինի հզորությունն է, P_l - ն՝ ճնշումն է կոնդենսատորում, kg/cm^2 , i'_l, i_l - ն՝ շոգու և նրա կոնդենսատի էնթալպիաներն են, $kg/2kg$, $D_l, \Sigma D_{\eta p}$ - ն կոնդենսատորում շոգու և դրենաժների գումարային ծախսը, kg/s , F_l -ն կոնդենսատորում ջերմափոխանակության մակերեսն է, m^2 , t_1, t_2 - ը՝ հովացնող ջրի

ջերմաստիճաններն են կոնդենսատորի մուտքում և ելքում, $^{\circ}C$, K - ն ջերմափոխանցման գործակիցն է կոնդենսատորում, $կՎտ/մ^2$ $^{\circ}C$, G_{hnl} , W_{hnl} - ն հովացնող ջրի ծախսը, $կգ/վ$ և նրա արագությունն են $մ/վրկ$, C_2 - ն շոգու արագությունն է տուրբինի ելքային մասում, $մ/վ$, և այլն:

Վերը նշված ֆունկցիայում տրված են այն բոլոր պարամետրերը, որոնց փոփոխությամբ պայմանավորված է տեղակայանքի հզորության փոփոխությունը:

ՑՊՀ-ը հնարավորություն է տալիս մանրամասնորեն ուսումնասիրել տեղակայանքի պարամետրերի բնութագրերի փոխկապակցվածությունը և նրանց ազդեցությունը տեղակայանքի տեխնիկա-տնտեսական ցուցանիշների վրա, ինչպես նաև գնահատել արտաքին շահագործման պայմանների ազդեցությունը պարամետրերի և տեղակայանքի վրա:

Նկարագրվածը մանրամասնենք ՑՊՀ-ի հանգույցներից մեկի՝ կոնդենսատորի օրինակի վրա:

Կոնդենսատորի հաշվարկի համար ՑՊՀ-ի ցանկացած ռեժիմի դեպքում որպես նախնական տվյալ հանդես են գալիս հովացնող ջրի ծախսը, շոգու ծախսը կոնդենսատոր և ջրի ջերմաստիճանը կոնդենսատորի մուտքում:

Հաշվարկի արդյունքում որոշվում է աշխատած շոգու ճնշումը կոնդենսատորում:

Քանի որ կոնդենսատորում տեղի է ունենում ջերմության փոխանցում մի միջավայրից մյուսին (շոգուց՝ ջրին), ապա ջերմային հաշվեկշիռը կարող ենք արտահայտել և՛ ըստ շոգու, և՛ ըստ հովացնող ջրի:

Ըստ կոնդենսացվող շոգու, կոնդենսատորում ջերմային հաշվեկշիռը արտահայտվում է հետևյալ կերպ [4]՝

$$KF_{\text{կ}}\Delta t_{\text{կ}} = D_2 i_2 + \Sigma D_{\text{դր}} i_{\text{դր}} - D_{\text{կ}} i_{\text{կ}},$$

որտեղ $-\Sigma D_{\text{դր}} i_{\text{դր}}$ -ը դրենաժի ջերմությունն է, իսկ $D_{\text{կ}} = D_2 + \Sigma D_{\text{դր}}$ -ը՝ կոնդենսատի ծախսը:

Մյուս կողմից՝ կոնդենսատորի ջերմային հաշվեկշիռը ըստ հովացնող ջրի արտահայտվում է հետևյալ կերպ՝

$$KF_{\text{կ}}\Delta t_{\text{կ}} = G_{\text{նջ}}(t_2 - t_1):$$

Այս երկու արտահայտությունների մեջ $\Delta t_{\text{կ}}$ - ն ջերմաստիճանների միջին լոգարիթմական տարբերությունն է, որը արտահայտվում է հետևյալ կերպ.

$$\Delta t_{\text{կ}} = \frac{(t_{\text{կ}} - t_1) - (t_2 - t_2)}{\ln \frac{t_{\text{կ}} - t_1}{t_2 - t_2}},$$

որտեղ $t_{\text{կ}}$ -ն՝ կոնդենսատի, t_2 -ն՝ շոգու, t_1 -ը և t_2 -ը՝ կոնդենսատորում հովացնող ջրի մուտքի և ելքի ջերմաստիճաններն են, $^{\circ}C$: $G_{\text{նջ}}$ -ն հովացնող ջրի ծախսն է:

Ջերմափոխանցման գործակիցը աշխատանքային տվյալ ռեժիմում որոշվում է՝ ելնելով հովացնող ջրի ծախսից՝

$$K = K_0 \left(\frac{G}{G_0} \right)^x,$$

որտեղ K_0 -ն և G_0 -ն անվանական արժեքներն են, X -ը կախվածության աստիճանի ցուցիչն է և հավասար է [4]՝

$$x = 0,12\beta_{\text{կ}}(1 + 0,15t_1),$$

ԲԿ-ն կոնդենսատորի խողովակների մակերևույթի կեղտոտվածության ազդեցությունը հաշվի առնող գործակից է :

Այս մոդելի համար ելքային պարամետրեր են կոնդենսատի ջերմաստիճանը, դրանով պայմանավորված բացարձակ ճնշումը կոնդենսատորում և կոնդենսատի ենթալային:

Համանման ձևով արտահայտելով ՑՊՀ-ի մնացած հանգույցներում տեղի ունեցող գործընթացների մաթեմատիկական արտահայտությունները՝ կարելի է դրանք համատեղել և ստանալ տուրբոտեղակայանքի ՑՊՀ-ի նմանակային մաթեմատիկական մոդելը, որի լուծումը կայանի տարբեր ռեժիմների համար հնարավորություն կտա ստանալ լավարկային աշխատանքային ռեժիմ:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը և նրա կիրառելիությունը կպայմանավորվի ՀԱԷԿ-ի երկրորդ էներգաբլոկի շահագործման լավարկային պայմանների առաջարկմամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Попырин Л. С.** Комплексная оптимизация теплосиловых систем. – Новосибирск: Наука, 1976. – 318 с.
2. **Стерман Л. С.** Технико-экономические основы выбора параметров конденсационных электрических станций. – М.: Высшая школа, 1970. – 279 с.
3. **Горшков А. С.** Технико-экономические показатели тепловых электростанций. 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 241 с .
4. **Аршакян Д.Т.** Разработка математической модели и программ прогнозирования режимов работы атомных турбоустановок АрмаЭС (заключительный отчет, шифр ¹ 10(79) 134 с).

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 10.08.2004:

Ա.Ա. ՏԱՐԳՏՅԱՆ

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВКИ ААЭС МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Блоки современных атомных и тепловых станций являются системами, характеризующимися множеством параметров и сложными связями. Более характерным узлом для исследования задачи оптимизации является низкопотенциальный комплекс, который включает в себя часть низкого давления турбины, конденсатор, систему технического водоснабжения и градирню.

Ключевые слова: низкопотенциальный комплекс, термический КПД, конденсатор, энергетический объект, технологический процесс.

A.A. SARGSYAN

OPTIMIZATION OF ANPP TURBOPLANT WORKING CONDITIONS BY MATHEMATICAL MODELLING

Modern nuclear and thermal plant blocks are systems characterized by a set of parameters and complex connections. The low-potential complex including part of low turbine pressure, condenser, system of water supply and cooler is a more characteristic mode for studying the optimization problem.

Keywords: low-potential complex, thermal efficiency, condenser, energetic object, technological process.

М.К. БАГДАСАРЯН, А.М. АВETИСЯН

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Получены аналитические зависимости для исследования характера изменения динамической нагрузки в системе электропривода рудоразмольной мельницы, которые были апробированы на конкретном численном примере. Полученные зависимости позволяют комплексно исследовать динамическую нагрузку в электроприводной системе мельницы с учетом конструктивных особенностей этой системы, наметить пути снижения уровня динамических нагрузок в ней и повысить ее надежность.

Ключевые слова: электропривод, рудоразмольная мельница, динамический коэффициент, нагрузка.

Особенность электропривода рудоразмольной мельницы состоит в том, что между электромеханическими явлениями в приводе и технологическим процессом измельчения руды существует тесная взаимосвязь.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что количественные и качественные показатели выходного продукта (измельченной руды) во многом зависят от состояния рабочих органов его электроприводной системы. Это объясняется тем, что электропривод рудоразмольной мельницы состоит из упругих звеньев, которые находятся под воздействием динамической нагрузки колебательного характера. В некоторых режимах, возникающих в основном за счет увеличения скоростей и ускорений, а также внутри-мельничной нагрузки, для повышения производительности процесса измельчения руды нагруженность системы может достигнуть такого уровня, что из-за изменения характера движения рабочих органов будет нарушен технологический процесс измельчения, что приведет к снижению качества измельченной руды.

Таким образом, влияние динамической нагрузки на нормальную работу привода рудоразмольной мельницы очевидно, и снижение этого влияния представляет практический интерес. В настоящее время работ по этой проблеме немного. Наиболее практический интерес представляет работа [1], где изучены динамические нагрузки, возбуждаемые в электромеханической системе привода рудоразмольных мельниц низкочастотными гармониками кинематической погрешности. В работе выявлены неравномерности распределения нагрузки в двухдвигательных приводах и возможность их снижения. Комплексное исследование динамической нагрузки в электроприводной системе мельницы с учетом конструктивных особенностей систем является актуальным.

Значительное превышение максимальной нагрузки передач от его среднего значения характеризуется динамическим коэффициентом. Поэтому динамический коэффициент является важным показателем условий работы

приводной системы рудоразмольной мельницы, а его определение и исследование являются целью настоящей работы.

В статье рассматривается характер изменения динамического коэффициента системы электропривода рудоразмольной мельницы, механическая часть которой представлена трехмассовой упругой системой, на которую, кроме момента двигателя M_D , действуют момент сопротивления внутримельничной загрузки мельницы M_M и упругие моменты.

На основе метода нормальных координат [2] составлена система дифференциальных уравнений, описывающая динамику упругой системы:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) = M_M, \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + c_2 (\varphi_2 - \varphi_3) - c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) = 0, \\ J_3 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} - c_2 (\varphi_2 - \varphi_3) = -M_D, \end{cases} \quad (1)$$

где J_1, J_2, J_3 - моменты инерции барабана мельницы, редуктора и ротора двигателя соответственно; c_1, c_2 - жесткости связей между барабаном мельницы с редуктором электродвигателя и редуктора со статором; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - соответственно углы поворота мельницы, редуктора и двигателя; M_M - момент сопротивления внутримельничной загрузки; M_D - момент двигателя.

Путем ряда преобразований (1) получим дифференциальные уравнения, описывающие изменение упругих деформаций звеньев:

$$\begin{cases} \frac{d^4 G_{12}}{dt^4} + a_0 \frac{d^2 G_{22}}{dt^2} + a_1 G_{12} = \frac{c_2 (J_2 + J_3)}{J_1 J_2 J_3} M_M + \frac{c_2}{J_2 J_3} M_D, \\ \frac{d^4 G_{23}}{dt^4} + a_0 \frac{d^2 G_{23}}{dt^2} + a_1 G_{23} = \frac{c_1}{J_1^2} M_M + \frac{c_1 (J_1 + J_2)}{J_1 J_2 J_3} M_D, \end{cases} \quad (2)$$

где $G_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$, $G_{23} = \varphi_2 - \varphi_3$, $\frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} - \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = \frac{d^2 G_{12}}{dt^2}$, $\frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} - \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} = \frac{d^2 G_{23}}{dt^2}$,

$$a_0 = c_1 \frac{(J_1 + J_2)}{J_1 J_2} + c_2 \frac{(J_2 + J_3)}{J_2 J_3}, \quad a_1 = \frac{c_1 c_2}{J_1 J_2} \left(\frac{(J_1 + J_2 + J_3)}{J_3} \right).$$

Решение системы уравнений (2), описывающей динамику упругости, в частности деформацию упругости между барабаном мельницы и редуктором G_{12} и между редуктором и двигателем G_{23} , следует искать в виде

$$G_{12}(t) = A_1 \cos p_1 t + A_2 \sin p_1 t + A_3 \cos p_2 t + A_4 \sin p_2 t + \frac{M_D J_1}{c_1 J_0} + \frac{M_M (J_2 + J_3)}{c_1 J_0},$$

$$G_{23}(t) = B_1 \cos p_1 t + B_2 \sin p_1 t + B_3 \cos p_2 t + B_4 \sin p_2 t + \frac{M_D (J_1 + J_2)}{c_2 J_0} + \frac{M_M J_3}{c_2 J_0 J_1},$$

где $J_o = (J_1 + J_2 + J_3)$; p_1 и p_2 - собственные частоты колебаний системы, определяемые в виде

$$p_1 = \sqrt{c_1 \frac{(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}}, \quad p_2 = \sqrt{c_2 \frac{(J_2 + J_3)}{J_2 J_3}}.$$

Система уравнений (2) в момент времени $t=0$ удовлетворяет начальным условиям

$$G_{12} = 0, \quad \frac{dG_{12}}{dt} = 0, \quad \frac{d^2 G_{12}}{dt^2} = \frac{M_M}{J_1}, \quad \frac{d^3 G_{12}}{dt^3} = 0, \quad G_{23} = 0, \quad \frac{dG_{23}}{dt} = 0, \\ \frac{d^2 G_{23}}{dt^2} = \frac{M_D}{J_3}, \quad \frac{d^3 G_{23}}{dt^3} = 0.$$

По начальным условиям определяются постоянные $A_1, \dots, A_4$ и $B_1, \dots, B_4$:

$$A_1 = \frac{M_M}{(p_2^2 - p_1^2)J_1} - \frac{p_2^2(M_M(J_2 + J_3) + M_D J_1)}{c_1 J_o (p_2^2 - p_1^2)}, \\ A_3 = \frac{p_1^2(M_M(J_2 + J_3) + M_D J_1)}{c_1 J_o (p_2^2 - p_1^2)} - \frac{M_M}{J_1(p_2^2 - p_1^2)}, \\ B_1 = \frac{M_D}{(p_2^2 - p_1^2)J_3} - \frac{p_2^2(M_D(J_2 + J_1) + M_M J_3)}{c_2 J_o (p_2^2 - p_1^2)}, \\ B_3 = \frac{p_1^2(M_M J_3 + M_D(J_2 + J_1))}{(p_2^2 - p_1^2)c_2 J_o} - \frac{M_D}{J_3(p_2^2 - p_1^2)}.$$

При $M_D = \text{const}$ пуск электропривода сопровождается колебаниями в упругих механических системах, в частности между упругим звеном барабана мельницы с редуктором электродвигателя и редуктором и статором двигателя. За счет колебаний максимальная нагрузка передач может значительно превышать установленную. Это превышение исследуется динамическими коэффициентами K_1 и K_2 , определяемыми соотношениями

$$K_1 = \frac{G_{12}(t)}{G_{12\text{уст}}} = \frac{\cos p_1 t}{(p_2^2 - p_1^2)} \left(\frac{M_M c_1 J_o}{J_1(M_M(J_2 + J_3) + M_D J_1)} - p_2^2 \right) + \\ + \frac{\cos p_2 t}{(p_2^2 - p_1^2)} \left(p_1^2 - \frac{M_M c_1 J_o}{J_1(M_M(J_2 + J_3) + M_D J_1)} \right) + 1, \quad (3)$$

$$K_2 = \frac{G_{23}(t)}{G_{23\text{уст}}} = \frac{\cos p_1 t}{(p_2^2 - p_1^2)} \left(\frac{M_D c_2 J_o}{J_3(M_M J_3 + M_D(J_1 + J_2))} - p_2^2 \right) + \\ + \frac{\cos p_2 t}{(p_2^2 - p_1^2)} \left(p_1^2 - \frac{M_D c_2 J_o}{J_3(M_M J_3 + M_D(J_1 + J_2))} \right) + 1, \quad (4)$$

где $G_{12}(t)$ и $G_{23}(t)$ - соответственно упругие деформации между барабаном мельницы с редуктором электродвигателя и редуктором со статором; $G_{12\text{уст}}$ и $G_{23\text{уст}}$ - установившиеся значения упругих деформаций.

Для анализа динамического коэффициента в качестве базовых были приняты параметры: $J_1=400 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_2=450 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_3=550 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $c_1=3640420 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{рад}$, $c_2= 2452500 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{рад}$, $M_M=350 \text{ кг}\cdot\text{м}$, $M_D= 550 \text{ кг}\cdot\text{м}$.

При разных значениях жесткостей связей c_1 и c_2 вычислены значения динамических коэффициентов $K_1(t)$ и $K_2(t)$ для определенного интервала времени. На рис. 1а,б приведены графики изменения коэффициентов динамичности $K_1(t)$ и $K_2(t)$ в приводной линии при разных значениях c_1 и c_2 . Как следует из приведенных графиков, характер изменения коэффициентов динамичности $K_1(t)$ и $K_2(t)$ при разных значениях c_1 и c_2 одинаков, однако с изменением величин c_1 и c_2 точки экстремумов изменяются.

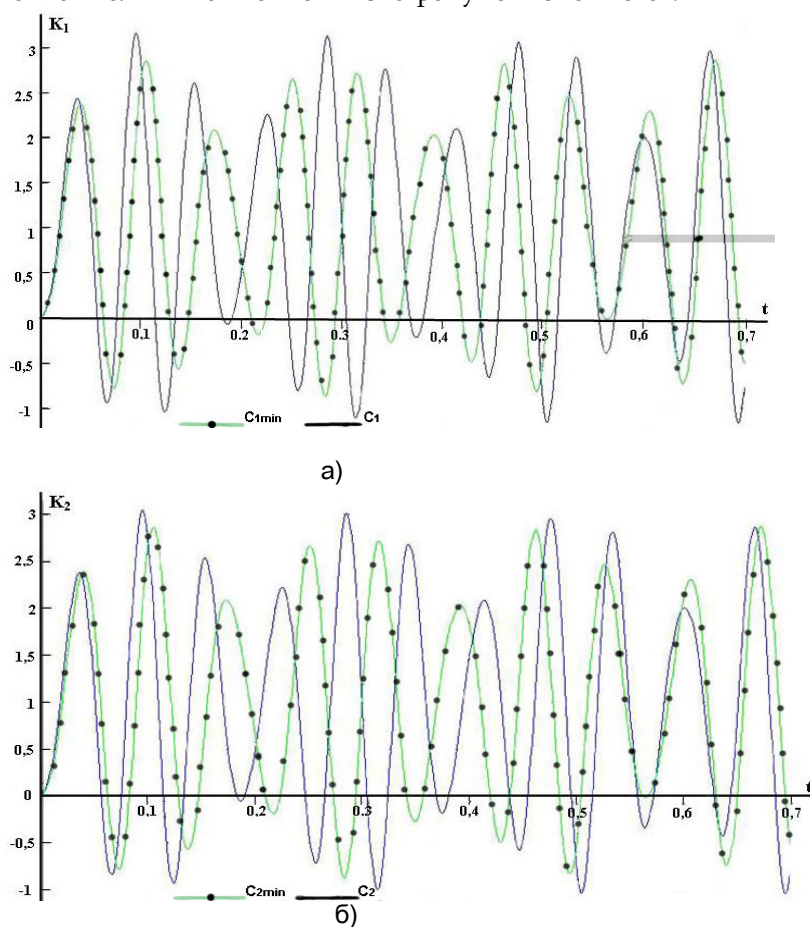


Рис.1. Графики коэффициентов динамичности $K_1(t)$ и $K_2(t)$ в приводной системе рудоразмольной мельницы: а - при разных значениях c_1 ($c_1=3640420 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{рад}$, $c_{1\min}=3140420 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{рад}$); б - при разных значениях c_2 ($c_2=2452500 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{рад}$, $c_{2\min}=2952500 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{рад}$)

Коэффициенты динамичности $K_1(t)$ и $K_2(t)$ при данных значениях параметров c_1 и c_2 на некотором интервале времени $[0, t]$ имеют ряд минимумов и максимумов. Из полученных экстремальных значений выбраны наибольшие по модулю величины, и для интервала времени $0 < t < 0,7$ построены графики максимальных значений $K_1(t)$ и $K_2(t)$ при разных значениях $b = c_2/c_1$ (рис. 2).

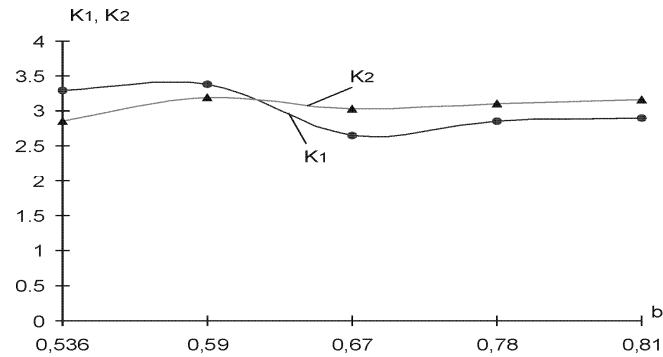


Рис.2. Максимальные значения K_1 и K_2 при разных значениях параметра b

Анализируя графики, можно установить наименьшие значения функции тахехт ($K_1(t), K_2(t)$) при разных значениях b .

Так как момент сопротивления внутримельничной загрузки имеет динамический характер [3], то для полного представления характера изменения динамической нагрузки определен коэффициент динамичности K_1 в зависимости от параметров $m = M_M/M_D$; $n_1 = J_0/J_1$ (рис.3), а также K_2 - в зависимости от параметров $m = M_M/M_D$; $n_2 = J_0/J_3$ (рис.4).

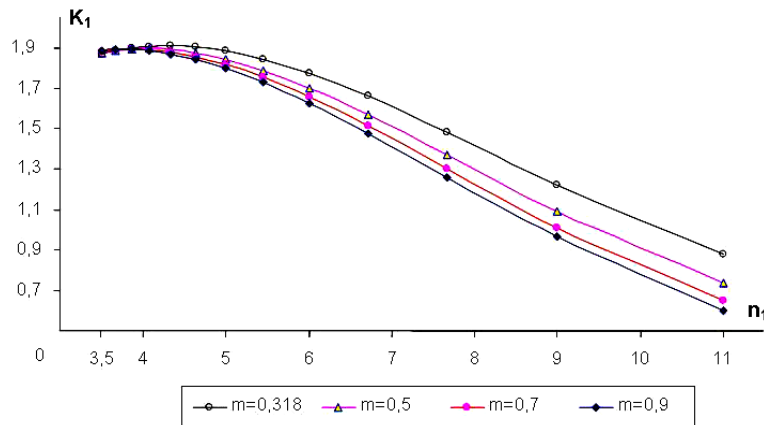


Рис.3. Влияние параметров m и n_1 на коэффициент динамичности K_1

Из приведенных графиков очевидно, что чем меньше m и больше n_1 , тем меньше уровень динамической нагрузки между упругим звеном барабана мельницы и редуктором электродвигателя, а чем меньше n_2 , тем меньше уровень динамической нагрузки между звеном редуктора и статора двигателя.

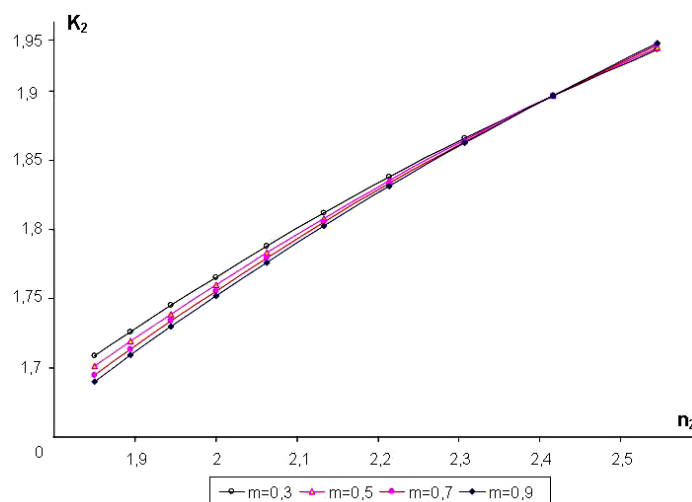


Рис.4. Влияние параметров m и n_2 на коэффициент динамичности K_2

Разработанная модель позволяет комплексно исследовать динамическую нагрузку электроприводной системы мельницы с учетом конструктивных особенностей этой системы, наметить пути снижения уровня динамических нагрузок в ней и, тем самым, повысить ее надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов Б.В.** О динамических нагрузках в приводах рудоразмольных мельниц с синхронными двигателями // Горная электромеханика: Сб. научных трудов. – Ташкент, 1981. – Вып 38. – С. 80-85.
2. **Красношапка В.А., Бережной Ю.И.** Исследование динамических моделей приводов и проектирование горных машин. – Киев: Наук. думка, 1983. – 184 с.
3. **Багдасарян М.К.** К вопросу разработки модели активной мощности, потребляемой рудоразмольной мельницей //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер.ТН. – 2002. – Т. 55, 11. – С. 84-88.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 14.11.2005.

Մ.Ք. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ա.Մ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ
ԲԵՆՆՎԱԾՔԸ

Ստացվել են հանքաքարի աղացի էլեկտրաբանեցման համակարգի դինամիկական բեռնվածքի բնութագրերի փոփոխման հետազոտման անալիտիկ կախվածություններ, որոնք փորձարկվել են թվային օրինակով: Ստացված կախվածությունները կարող են օգտագործվել դինամիկական բեռնվածքի համալիր ուսումնասիրման նպատակով և ուրվագծել դինամիկական բեռնվածքի մակարդակի նվազարկման ուղիները՝ դրանով իսկ բարձրացնելով համակարգի հուսալիությունը:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաբանեցում, հանքաքարի աղաց, դինամիկական գործակից, բեռնվածք:

M.K. BAGHDASARYAN, A.M. AVETISYAN

DYNAMIC LOADS IN ELECTRIC DRIVE SYSTEM OF ORE
GRINDING MILL

Analytical dependences for studying the character of dynamic loads in the electric drive system of the ore grinding mill that were approbated on a particular numeric example were obtained. The dependences obtained allow to jointly study the dynamic loads in the electric drive systems of the mill taking into account the constructive features of this system, to outline the path of reducing the level of dynamic loads in the electric drive system and increase the real ability of the system.

Keywords: electric drive, ore grinding mill, dynamic coefficient, load.

Վ.Կ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՀԱՐԹ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿՈՃԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻՑ ԲԱՂԿԱՑԱԾ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԻՆՂՈՒԿՑԻՈՆ ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՈՒ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Օգտվելով թվային մեթոդներից՝ կատարվել է հարթ կառուցվածքի մագնիսական ինդուկտիվ կոճերից կազմված իմպուլսային բազմաստիճան ինդուկցիոն արագացուցչի հաշվարկը՝ Maple 9.01 ծրագրային համակարգում:

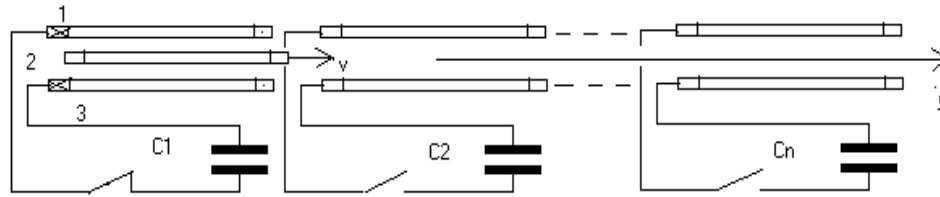
Առանցքային բառեր. հարթ կառուցվածքի ինդուկցիոն բազմաստիճան արագացուցիչ, դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ, Maple 9.01:

Հայտնի է, որ հաղորդիչ պինդ մարմիններին հնարավոր է հաղորդել նետման մեծ արագություններ էլեկտրամագնիսական ինդուկցիոն բազմաստիճան արագացուցիչների համակարգերում, որտեղ էներգիայի աղբյուրը փոքր ներքին ինդուկտիվության իմպուլսային ունակային կուտակիչներն են: Մինչև այժմ ուսումնասիրվել են միայն գլանային կառուցվածքի ինդուկտոր-նետվող մարմին համակարգից բաղկացած իմպուլսային արագացուցիչները [1-3]:

Հատուկ նպատակի որոշակի խնդիրներում հարկավոր է ունենալ ոչ գլանային նետվող մարմին, որն ունի հարթ տափօղակի տեսք: Այդ դեպքում ոչ բարդ տեխնոլոգիական միջոցներով հնարավոր է պատրաստել մեխանիկական մեծ ամրության, հարթ կառուցվածքի իմպուլսային ինդուկտիվ կոճեր (ի տարբերություն գլանայինի [4]): Ընդ որում՝ հարթ կառուցվածքի արագացուցչում հնարավոր է ստանալ էներգիայի ձևափոխման ավելի բարձր արդյունավետություն, քանի որ օդային բացակա անշարժ և շարժական մասերի միջև տեսականորեն կարելի է ձգտեցնել մինչև «զրո» արժեք:

Դիտարկելով արագացուցիչը որպես կենտրոնացված պարամետրերով համակարգ և օգտվելով թվային մեթոդներից՝ հնարավոր է հաշվարկել հարթ կառուցվածքով բազմաստիճան էլեկտրամագնիսական ինդուկցիոն իմպուլսային արագացուցիչը, էլեկտրամեխանիկական անցողիկ երևույթի ժամանակահատվածում:

Համակարգի նկարագիրը. Արագացուցչի (նկ.1) y առանցքի երկայնքով իրար հաջորդող, որոշակի հեռավորությունների վրա դրված են հարթ կառուցվածքի ինդուկտորները (իմպուլսային կոճեր), որոնք միացված են ունակային կուտակիչներին տիրիստորների կամ պարպիչների միջոցով: Ժամանակի որոշակի պահերին, երբ նետվող մարմինը մոտենում է տվյալ ինդուկտորին, նրա դիրքը որոշող տվիչի (նկարում պատկերված չէ) ազդանշանը բացում է տիրիստորը, արդյունքում ունակային կուտակիչը լիցքաթափվում է ինդուկտորի վրա՝ առաջացնելով իմպուլսային մագնիսական դաշտ: Այդ դաշտը նետվող մարմնում մակածելով մրրկային հոսանքներ՝ որոշակի պայմանների դեպքում առաջացնում է նրա վրա արագացնող ուժային ազդեցություն:



Նկ.1. Հարթ կոճերից բաղկացած ինդուկցիոն արագացուցչի սխեմատիկ պատկերը

Արագացուցչի մեկ աստիճանի հաշվարկի համարժեք սխեման բերված է նկ.2-ում: Առաջնային և երկրորդային շղթանների համար գրելով լարման բալանսի հավասարումը, ըստ Կիրխոֆի երկրորդ օրենքի, այնուհետև նետվող մարմնի համար ավելացնելով Նյուտոնի երկրորդ օրենքով որոշվող ուժային ազդեցությունը, ապա, հաշվի առնելով շարժման արագության և շարժման տեղափոխման կինեմատիկ կապը ու ինդուկտոր-նետվող մարմնի միջև մագնիսական դաշտի փոխինդուկտիվության գործակցի կախվածությունը տեղափոխման կոորդինատից, կստանանք.

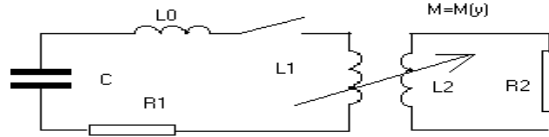
$$\begin{cases} R_1 i_1(t) + (L_0 + L_1) \frac{\partial i_1(t)}{\partial t} + \frac{\partial(i_2(t)M(y))}{\partial t} = u(t), \\ R_2 i_2(t) + L_2 \frac{\partial i_2(t)}{\partial t} + \frac{\partial(i_1(t)M(y))}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial u(t)}{\partial t} = -\frac{i_1(t)}{C}, \quad \frac{\partial v(t)}{\partial t} = \frac{i_1(t)i_2(t)}{m} \frac{\partial M(y)}{\partial y}, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = v(t), \quad y = y(t), \quad M = M(y), \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ՝ R_1 -ը, R_2 -ը, L_0 -ը, L_1 -ը, L_2 -ը, C -ն, m -ը համապատասխանաբար էլեկտրական շղթայի պարամետրերն են, ինդուկտորի շղթայի էլեկտրական ակտիվ դիմադրությունը, նետվող մարմնի դիմադրությունը, ունակային կուտակչի ներքին ինդուկտիվությունը, ինդուկտորի ինդուկտիվությունը, նետվող մարմնի ինդուկտիվությունը, ունակային կուտակչի ունակությունը և նետվող մարմնի զանգվածը, իսկ $i_1(t)$ -ն, $i_2(t)$ -ն, $u(t)$ -ն, $v(t)$ -ն, $M(y)$ -ն, $y(t)$ -ն՝ հոսանքի ուժի ակնթարթային արժեքը ինդուկտորում և նետվող մարմնում, լարման ակնթարթային արժեքը ունակային կուտակչի վրա, նետվող մարմնի արագությունը, փոխինդուկտիվության գործակիցը և տեղափոխությունը:

(1)-ում նախնական պայմաններ են.

$$\begin{cases} i_1(0) = 0, \quad i_2(0) = 0, \quad u(0) = u_0, \quad y(0) = y_0, \\ v(0) = \{0, v_1, v_2, \dots, v_n\} \Rightarrow t = 0: \end{cases} \quad (2)$$

Նետվող մարմնի սկզբնական արագության արժեքի բազմությունը ցույց է տալիս, թե արագացուցչի արագացման որ աստիճանում է լուծվում խնդիրը:



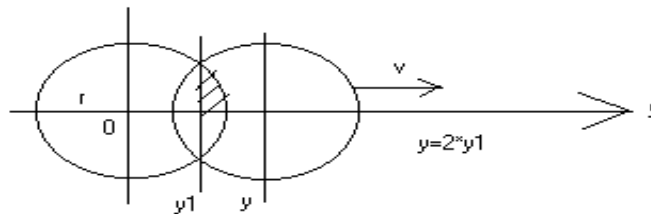
Նկ.2. Արագացուցչի մեկ աստիճանի համարժեք էլեկտրական շղթան

Որպեսզի (1) դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը հնարավոր լինի լուծել, կատարենք որոշակի ձևափոխություններ՝

$$\begin{cases} \frac{\partial(i(t)M(y))}{\partial t} = M(y)\frac{\partial i(t)}{\partial t} + i(t)\frac{\partial M(y)}{\partial y}v(t) = M(y)\frac{\partial i(t)}{\partial t} + i(t)v(t)\Phi(y), \\ \Phi(y) = \frac{\partial M(y)}{\partial y}, \end{cases} \quad (3)$$

որտեղ $\Phi(y)$ - ն փոխինդուկտիվության գործակցի փոփոխման արագությունն է ըստ տեղափոխման կոորդինատի:

Փոխինդուկտիվության գործակցի հաշվարկը. հարթ կոճերից բաղկացած էլեկտրամագնիսական համակարգը կազմված է 1 և 3 անշարժ ինդուկտորներից, որոնք ըստ առաջացրած մագնիսական հոսքի, միացված են հաջորդաբար (համաձայնեցված), և 2 շարժական ինդուկտիվ կոճից (նետվող մարմին), որը ունի մեկ շարժման ազատության աստիճան՝ ուղղված y առանցքի երկայնքով (նկ.1,3):



Նկ.3. Փոխինդուկտիվության գործակցի հաշվարկի սխեման

Պարզության համար կոճերը պատկերված են մեկ գալարի տեսքով: Խնդիրը կայանում է 1,3 և 2 կոճերի փոխինդուկտիվության գործակցի հաշվարկի մեջ:

Ինչպես հայտնի է՝

$$M = M_{1 \rightarrow 2} + M_{3 \rightarrow 2},$$

որտեղ $M_{1 \rightarrow 2}$ և $M_{3 \rightarrow 2}$ -ը փոխինդուկտիվության գործակցիցներն են՝ համապատասխանաբար 1-2 և 3-2 կոճերի միջև: Քանի որ 1 և 3 կոճերը նույնն են, ապա

$$\begin{cases} M_{1 \rightarrow 2} = M_{3 \rightarrow 2}, \\ M = 2M_{1 \rightarrow 2} : \end{cases}$$

Այդ իսկ պատճառով, հաշվարկը կատարվել է 1-2 համակարգի համար ($M_{1 \rightarrow 2}$ -ը): Ընդհանուր դեպքում հարթ կոճերի և ռադիալ տեղափոխության ժամանակ փոխինդուկտիվության գործակցի արտահայտությունը, որը

նկարագրված է [5]-ում և բերված է շարքի տեսքով, կիրառելի չէ, քանի որ մեր խնդրի պայմանների դեպքում այն տարամիտում է:

Ինչպես նշվեց, արագացուցչի կառուցվածքի բնորոշ գիծը ինդուկտոր-նետվող մարմնի միջև օդային բացակի փոքր չափն է: Այդ իսկ պատճառով, հաշվի առնելով այդ պայմանը, փոխինդուկտիվության գործակիցը հաշվարկենք որոշակի մոտավորությամբ:

Քանի որ փոքր հեռավորությունների դեպքում մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի ուժագծերը ուղղահայաց են գալարի ներքին մակերևույթին, այդ դեպքում գալարի շարժման ժամանակ ինդուկտոր-նետվող մարմնի կապակցող մագնիսական հոսքը կփոքրանա՝ փոխհատվող մակերեսների փոքրանալուն գուգրնթաց, որը նկ.3-ում պատկերված է պրոյեկցիայում: Այդ դեպքում կստանանք.

$$\begin{cases} \eta_1(y_1) = \int_{y_1}^{\rho} \sqrt{\rho^2 - y_1^2} dy_1 = \frac{3.14\rho^2}{4} - \left[\frac{y_1}{2} \sqrt{\rho^2 - y_1^2} + \frac{\rho^2}{2} \arcsin\left(\frac{y_1}{\rho}\right) \right], \\ \eta(y_1) = 4\eta_1(y_1), \end{cases} \quad (4)$$

որտեղ η_1 -ը, ρ -ն, y_1 -ը համապատասխանաբար՝ վերանշված մասի մակերեսն են, գալարի շառավիղը և գալարների շրջագծերի հատման պրոյեկցիոն կետերը միացնող գծի կոորդինատները:

Շարժման (1) հավասարումներում առկա է շարժվող գալարի կենտրոնի y - կոորդինատը, որը երկու անգամ մեծ է y_1 -ից: (4) ինտեգրալային արտահայտության մեջ անցնելով y_1 -ից y -ին և ինտեգրելով՝ կստանանք.

$$\begin{cases} y = 2y_1, \\ \eta(y) = 3.14\rho^2 - 0.5y\sqrt{4\rho^2 - y^2} - 2\rho^2 \arcsin\left(\frac{y}{2\rho}\right): \end{cases}$$

Փոխինդուկտիվության գործակցի համար կարելի գրել.

$$M_{1 \rightarrow 2}(y) = \kappa(y) \sqrt{L_1 L_2}, \quad (5)$$

որտեղ $\kappa(y)$ -ն, L_1 -ը, L_2 -ը համապատասխանաբար ինդուկտոր-նետվող մարմնի մագնիսական կապի գործակիցը և ինդուկտիվություններն են:

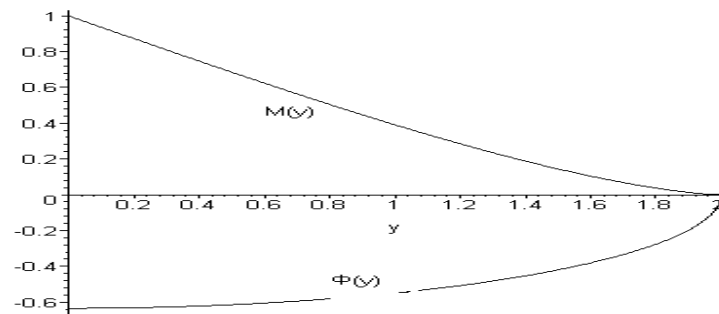
Որպեսզի (5)-ում գտնենք փոխինդուկտիվության գործակցի և նշված մակերեսի փոփոխության կախվածությունը, օգտվենք հետևյալ արտահայտություններից.

$$\begin{cases} L_1 = \frac{B_1 \eta_0}{I_1}, L_2 = \frac{B_2 \eta_0}{I_2}, \eta_0 = 3.14\rho^2, \\ I_1 = \frac{B_1 \eta(y)}{M_{1 \rightarrow 2}(y)}, I_2 = \frac{B_2 \eta(y)}{M_{2 \rightarrow 1}(y)}, \\ M_{2 \rightarrow 1}(y) = M_{1 \rightarrow 2}(y) = M(y), \end{cases} \quad (6)$$

որտեղ B -ն, I -ն, η_0 -ը համապատասխանաբար մագնիսական դաշտի ինդուկցիան, հոսանքի արժեքը և գալարի մակերեսը են:

(6)-ը տեղադրելով (5)-ի մեջ՝ մագնիսական հոսքի կապի և փոխինդուկտիվության գործակիցների համար կստանանք (նկ. 4).

$$\left\{ \begin{aligned} \kappa(y) &= \frac{\eta(y)}{\eta_0} = \left(\frac{4}{3.14\rho^2} \right) \left[\frac{3.14\rho^2}{4} - \frac{y\sqrt{4\rho^2 - y^2}}{8} - \frac{\rho^2}{2} \arcsin\left(\frac{y}{2\rho}\right) \right], \\ M(y) &= \sqrt{L_1 L_2} \left(\frac{4}{3.14\rho^2} \right) \left[\frac{3.14\rho^2}{4} - \frac{y\sqrt{4\rho^2 - y^2}}{8} - \frac{\rho^2}{2} \arcsin\left(\frac{y}{2\rho}\right) \right], \\ \Phi(y) &= \sqrt{L_1 L_2} \left(\frac{1.27}{\rho^2} \right) \left[-\frac{\sqrt{4\rho^2 - y^2}}{8} + \frac{0.125y^2}{\sqrt{4\rho^2 - y^2}} - \frac{\rho}{2\sqrt{4 - \frac{y^2}{\rho^2}}} \right] : \end{aligned} \right. \quad (7)$$



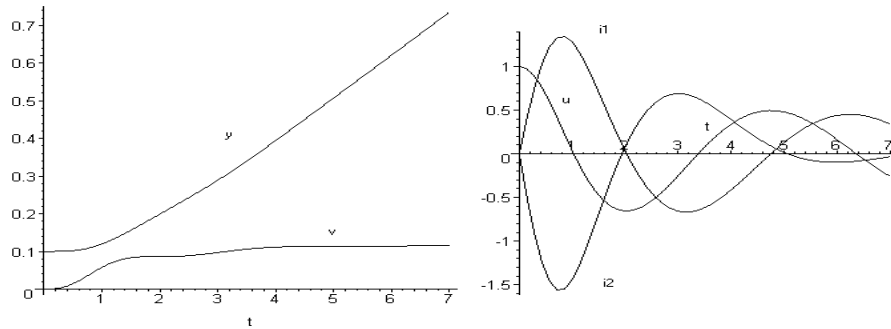
Նկ. 4. Փոխինդուկտիվության գործակցի և նրա փոփոխման արագության կախվածությունը կոորդինատից, երբ $L_1 = L_2 = 1$, $\rho = 2$

(1) *համակարգի լուծումը*. (1)-ը մեկ փոփոխականի ոչ գծային առաջին կարգի դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ է, որը բնութագրում է էլեկտրամեխանիկական երևույթները անցողիկ ժամանակահատվածի շրջանում, որտեղ նախնական պայմանները (2)-ն են, իսկ փոխինդուկտիվության և նրա փոփոխման արագության կախվածությունը կոորդինատից որոշվում է (7)-ից:

Նշված հավասարումների համակարգը լուծենք թվային մեթոդներով (Ռունգե-Կուրտ-Ֆելբերգի 4 և 5 կարգի մեթոդ՝ կախված գտնվող մեծության փոփոխման արագության արժեքից)՝ Maple 9.01 համակարգում, նախապես այն ձևափոխելով անչափանի (հարաբերական) մեծությունների տեսքի, որոնց արտահայտությունները բերված են ստորև.

$$\left\{ \begin{array}{l} y' = \frac{y}{2\rho}, u' = \frac{u}{U_0}, t' = \frac{t}{U_0 \sqrt{L_1 C}}, L_{00}' = \frac{L_0}{L_1}, L_{01}' = \frac{L_2}{L_1}, \\ M(y)' = \frac{M(y)}{L_1}, R_{1}' = \frac{R_1}{\sqrt{\frac{L_1}{C}}}, R_{2}' = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{L_1}{C}}}, v' = \frac{v}{\frac{2\rho}{\sqrt{L_1 C}}}, m' = \frac{m}{\frac{C^2 U_0^2 L_1}{(2\rho)^2}}, \\ \Phi(y)' = \left(\frac{2\rho}{L_1} \right) \Phi(y), \quad i_{1,2}' = \frac{i_{1,2}}{U_0 \sqrt{\frac{C}{L_1}}} : \end{array} \right.$$

Հաշվարկի արդյունքում ստացվում են էլեկտրակինեմատիկ հարաբերական ակնթարթային մեծությունները, որոնք արագացման մեկ աստիճանի համար պատկերված են նկ 5-ում:



Նկ.5. Հաշվարկի արդյունքները գրաֆիկական տեսքով երբ՝
 $\rho = 1, \quad m' = 10, \quad R_1' = 0,1, \quad R_2' = 0,05, \quad v' = 0, \quad L_{00}' = 0,1, \quad L_{01}' = 0,5$

Փոփոխելով խնդրի հարաբերական պարամետրերը՝ հնարավոր է գտնել արագացուցչի յուրաքանչյուր աստիճանի համար լավագույն բաձարձակ պարամետրերը, երբ նրա արդյունավետությունը (օ.գ.գ.-ն) առավելագույնն է:

Բազմաստիճան արագացուցչի յուրաքանչյուր հաջորդ աստիճանի հաշվարկում անհրաժեշտ է (2) նախնական պայմաններում փոփոխել միայն սկզբնական արագության արժեքը, որը հավասար է նախորդ արագացման աստիճանի վերջնական արագությանը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Бондалетов В.Н.** Индукционное ускорение проводников // ЖТФ. –М., 1967. – Вып.2. –С. 280-287.
2. **Новгородцев А.Б., Шнерсон Г.А.** Энергетические соотношения в колебательном контуре, используемом для ускорения проводников электромагнитными силами // Энергетика и транспорт. –М.,1970. – №2. –С. 154-161.
3. **Андреев А.Н.** Индукционное ускорение и высокоскоростной привод //Электричество. –М.,1973.-№10.
4. **Монтгомери Д.Б.** Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. –М.: Мир, 1971. –465 с.
5. **Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.** Расчет индуктивностей. –М.: Наука, 1986. –436 с.

ՀղձՆ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 25.04.2004:

В.К. КАЗАРЯН

РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ С ПЛОСКИМИ КАТУШКАМИ

Произведен расчет численными методами в Maple 9.01 импульсного электромагнитного индукционного ускорителя с плоскими катушками.

Ключевые слова: многокаскадный электромагнитный импульсный ускоритель плоской конструкции, дифференциальное уравнение, Maple 9.01.

V.K. GHAZARYAN

CALCULATION OF PULSED ELECTROMAGNETIC PLANE COIL GUN

The calculation of pulsed electromagnetic plane coil with numerical methods in Maple 9.01 is performed.

Keywords: induction multilevel accelerator with flat structure, differential equation system, Maple 9.01.

М.Г. ВАРДАНЯН

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ RTP ПОТОКОВ С ЦЕЛЬЮ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТЕВЫХ КАНАЛОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Предложен метод повышения эффективности использования сетевых каналов, несущих голосовую информацию, путем мультиплексирования RTP пакетов. Данный метод, в отличие от аналогичных, учитывает особенности протокола SIP, используемого в качестве сигнального протокола для установления RTP соединений. На основе предложенного метода построен прототип программного обеспечения контроллера, позволяющий снизить в типичных случаях расходы на передачу голосовой информации более чем в три раза.

Ключевые слова: транспортный протокол реального времени, протокол инициализации сессии, мультиплексирование, контроллер.

Введение. Использование сетевых каналов в IP телефонии при передаче голосовой информации, определяемой протоколом RTP (Real-Time Transport Protocol [1]), неэффективно из-за большого объема служебной информации в заголовке RTP пакетов. В типичных приложениях соотношение объема служебной информации, передаваемой вместе с голосовыми пакетами, вдвое превышает объем собственно полезной информации. В сетевых каналах с ограниченной пропускной способностью (в спутниковых и других беспроводных каналах) такое неэффективное использование каналов приводит к снижению числа одновременно поддерживаемых голосовых соединений и, следовательно, к удорожанию услуг.

Одним из методов, позволяющим существенным образом повысить эффективность использования каналов связи, является мультиплексирование нескольких RTP потоков в один поток. В работах [2-6] предлагаются различные вариации этого метода, однако ни одна из них не затрагивает в достаточной мере вопросы реализации этого метода в среде SIP (Session Initiation Protocol, [7]) – сигнальном протоколе, получившем широкое распространение в IP телефонии и мобильных сетях третьего поколения (3G) и служащем для установления мультимедийных соединений. В отличие от предыдущих, предлагаемый в данной работе метод ориентирован на использование вместе с SIP (в качестве сигнального протокола для установления соединений) и учитывает все особенности этого протокола. Следует также отметить, что предлагаемый метод легко интегрируется в SIP инфраструктуру, сохраняя при этом совместимость с обычными SIP приложениями.

1. Краткое описание метода. Проиллюстрируем суть предлагаемого метода на примере сетевой топологии, представленной на рис. 1.

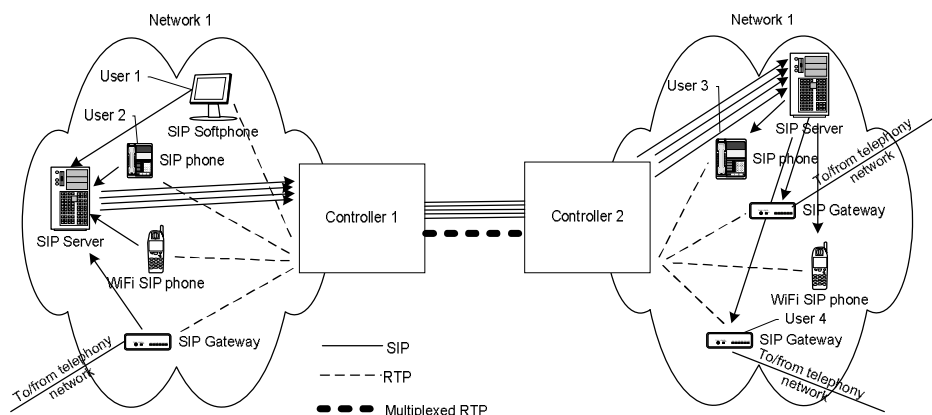


Рис. 1

Предположим, что имеются две локальные сети, соединенные каналом ограниченной пропускной способности. Соединения между SIP клиентами, расположенными в одной и той же сети, устанавливаются традиционными SIP средствами – путь сигнальных сообщений от клиента к клиенту проходит через SIP сервер этой сети, а путь RTP соединений – напрямую между клиентами.

Ввиду ограниченности пропускной способности канала между сетями связь между SIP клиентами в разных сетях предлагается устанавливать через специальные устройства – контроллеры. Все RTP потоки, исходящие из SIP клиентов первой сети, перед тем как поступить на вход канала между сетями, мультиплексируются в один RTP поток контроллером первой сети. На приемном конце этот поток распаковывается, и уже отдельные, восстановленные одноканальные RTP потоки направляются в адрес SIP клиентов второй сети. Мультиплексирование позволяет упаковать множество звуковых фреймов, поступивших с пакетами, принадлежащими к разным RTP потокам, в один RTP пакет, снижая тем самым удельный вес служебной информации, передаваемой с каждым голосовым пакетом.

Предлагаемый метод основан на следующих предпосылках:

- все SIP клиенты одной и той же локальной сети зарегистрированы на одном и том же SIP сервере, обслуживающем клиентов этой сети;
- если SIP клиент запрашивает соединение с другими клиентами той же сети, то сигнальная часть соединения проходит через SIP сервер этой сети, а голосовая часть – напрямую между клиентами;
- если SIP клиент одной сети запрашивает соединение с клиентом другой сети, то SIP сервер первой сети сконфигурирован таким образом, чтобы направлять все входящие SIP сообщения в адрес своего контроллера, расположенного на границе сети;
- принимающий контроллер, расположенный на границе другой сети, направляет все входящие от первого контроллера SIP сообщения в адрес SIP сервера своей сети.

2. Процесс установления соединения с помощью SIP. Пусть SIP клиент U_i первой сети инициирует соединение с клиентом U_j другой сети. Для этого U_i посылает сообщение INVITE (см. сообщение M1 на рис. 2) в адрес SIP сервера S_1 своей сети со следующими значениями полей сообщения (ниже приведены только те поля сообщения INVITE, которые представляют интерес для дальнейшего рассмотрения):

M1: INVITE sip: $U_j@S_2:5060$

To: < sip: $U_j@S_2$ >

From: < sip: $U_i@S_1$ >

Contact: < sip: $U_i@IP_i:P_i$ >

Content-Type: application/sdp

c=IN IP4 IP_i

m=audio p_i RTP/AVP ...,

где IP_i – это IP адрес клиента U_i ; P_i – номер UDP порта, на котором U_i ожидает ответные SIP сообщения; p_i – номер UDP порта, на котором U_i ожидает RTP поток, исходящий из U_j .

Сервер S_1 определяет, что сообщение M1 адресовано клиенту U_j в другой сети и направляет его после некоторой модификации (см. сообщение M2 на рис. 2) контроллеру C_1 своей сети.

Контроллер C_1 после анализа полученного сообщения M2 определяет дальнейшее направление соединения, а именно, адрес контроллера сети назначения и номер порта мультимплексного потока, который предполагается использовать для установления голосового соединения между клиентами U_i и U_j . На основании этой информации C_1 формирует новое INVITE сообщение M3 и отправляет его в адрес контроллера соответствующей сети (в данном примере – C_2). Текст сообщения M3, приведен ниже:

M3: INVITE sip: $U_j@S_2:5060$

To: < sip: $U_j@S_2$ >

From: < sip: $U_i@S_1$ >

Contact: < sip: $U_i@IP_i:P_i$ >

Content-Type: application/sdp

c=IN IP4 $IP(C_1)$

m=audio $p(C_1)$ RTP/AVP ...

ch=n,

где $IP(C_1)$ – IP адрес контроллера C_1 , а $p(C_1)$ – номер UDP порта мультимплексного RTP потока, который будет включать RTP поток между U_i и U_j . Дополнительное поле “ch=” введено для задания номера логического подканала в мультимплексном потоке, используемом RTP потоком между клиентами U_i и U_j .

Наряду с посылкой M3, контроллер C_1 фиксирует в своей базе данных факт создания новой сессии, а также резервирует необходимые системные ресурсы. В случае, если текущий размер мультимплексного потока достиг максимального значения, контроллер создает новый мультимплексный поток. Если и это является невозможным, то запрос клиента U_i на установление соединения с U_j отвергается.

Контроллер C_2 , после анализа полученного сообщения M3 и проверки наличия необходимых системных ресурсов, формирует новое сообщение M4 и отправляет его в адрес SIP сервера своей сети (S_2). Текст сообщения M4, приведен ниже:

M4: INVITE sip: U_j@S₂:5060

To: < sip: U_j@S₂>

From: < sip: U_i@S₁>

Contact: < sip: U_i@IP_i:P_i>

Content-Type: application/sdp

c=IN IP4 IP(C₂)

m=audio p(C₂) RTP/AVP ...

ch=n,

где IP(K₂) – IP адрес контроллера C₂; p(C₂) – номер UDP порта мультимплексного RTP потока на контроллере C₂.

Сервер S₂ определяет в своей базе данных адрес клиента U_j и переадресовывает полученное сообщение в адрес этого клиента (сообщение M₅).

Клиент U_j на полученный запрос отвечает серией сообщений, которые опустим для краткости изложения и остановимся на последнем из них – M₆ (200 OK), отправленном в адрес SIP сервера S₂. Сообщение M₆ (текст сообщения приведен ниже) содержит в себе информацию об IP адресе и номере UDP порта, на котором U_j собирается принимать поток RTP пакетов от контроллера C₂.

M6: 200 OK

To: < sip: U_j@S₂>

From: < sip: U_i@S₁>

Contact: < sip: U_i@IP_i:P_i>

Content-Type: application/sdp

c=IN IP4 IP(U_j)

m=audio p((U_j) RTP/AVP ...

Сервер S₂ ретранслирует это сообщение в адрес контроллера C₂ (см. сообщение M₇ на рис. 2). Как только сообщение M₇, подтверждающее согласие U_j на установление соединения с U_i, поступает на вход C₂, между U_j и C₂ открывается двустороннее RTP соединение. Одновременно с этим C₂ посылает в адрес C₁ сообщение M₈ (текст которого приведен ниже) и открывает логический, двусторонний подканал между двумя контроллерами.

M8: 200 OK

To: < sip: U_j@S₂>

From: < sip: U_i@S₁>

Contact: < sip: U_i@IP_i:P_i>

Content-Type: application/sdp

c=IN IP4 IP(C₂)

m=audio p((K₂) RTP/AVP ...

ch=n.

На следующем шаге контроллер C₁ после получения сообщения M₈ отправляет аналогичное сообщение в адрес сервера S₁, который ретранслирует его в адрес клиента U_i (сообщения M₉ и M₁₀ на рис. 2). После этого открывается двустороннее RTP соединение между U_i и C₁.

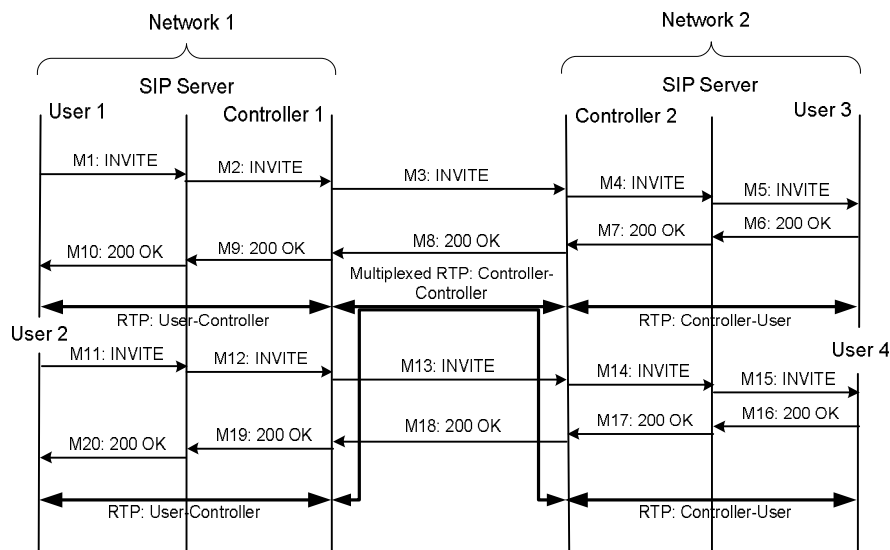


Рис. 2

3. Основные функции контроллера. В предложенной выше схеме обычное RTP соединение, напрямую соединяющее SIP клиентов, заменяется тремя соединениями. Два из них – это одноканальные соединения между конечными пользователями (SIP клиентами) и соответствующими им контроллерами, и, наконец, последнее (многоканальное) соединение – между контроллерами сетей. В точках стыка одноканальных и многоканальных соединений стоят контроллеры, которые ответственны за поддержку этих соединений (в смысле протоколов SIP и RTP), а также мультимплексирование многих одноканальных RTP соединений в одно многоканальное и наоборот.

В процессе установления соединения между клиентами контроллер выполняет следующие основные функции:

- отображение адресов конечных точек соединений с целью построения комплексного соединения между конечными точками – SIP клиентами;
- мультимплексирование пакетов, а именно, объединение пакетов, поступивших от разных клиентов, в один пакет перед его отправкой через канал мультимплексуру другой сети;
- демультимплексирование пакетов, а именно, распаковку пакетов, поступивших от контроллера другой сети, и отправку их отдельным клиентам на принимающей стороне.

Первая функция - отображение адресов, которая реализуется контроллером с помощью протокола SIP, сопоставляет адреса конечных точек отдельных соединений с целью построения комплексного соединения, связывающего SIP клиентов.

Адрес конечной точки одноканального соединения можно представить в виде пары (a, p) , где a – IP адрес конечной точки соединения, а p – номер UDP

порта конечной точки. Адрес конечной точки многоканального соединения можно представить тройкой (a, p, c) , где a – IP адрес конечной точки соединения; p – номер UDP порта соединения, а c – номер подканала многоканального соединения. Пространство адресов конечных точек соединения первого типа представляет собой множество всех пар типа (a, p) , а именно: $U = \{(a_i, p_i) \mid i=1, \dots, n\}$. Пространство адресов конечных точек соединения второго типа представляет собой множество всех троек типа (a, p, c) , а именно: $K = \{(a_i, p_i, c_j) \mid j=1, \dots, m\}$. Таким образом, комплексное соединение между клиентами U_i и U_j в разных сетях строится путем отображения адресов конечных точек отдельных соединений друг в друга, а именно: $U1 \Rightarrow U2 \Rightarrow C1 \Rightarrow C2 \Rightarrow U3 \Rightarrow U4$. Здесь отображение $U1 \Rightarrow U2$ производится контроллером с помощью протокола SIP путем “рукопожатия” с источником RTP пакетов. Отображение $U2 \Rightarrow C1$ производится внутри контроллера без взаимодействия с внешними объектами. Отображение $C1 \Rightarrow C2$ выполняется контроллером с помощью протокола SIP путем “рукопожатия” с контроллером принимающей сети. Отображение $C2 \Rightarrow U3$ выполняется внутри контроллера принимающей сети без взаимодействия с внешними объектами. И, наконец, отображение $U3 \Rightarrow U4$ выполняется контроллером принимающей сети с помощью протокола SIP путем “рукопожатия” с клиентом-приемником RTP пакетов.

Вторая функция – мультиплексирование пакетов, реализуется внутри контроллера следующим образом. Как только адрес очередной конечной точки одноканального соединения становится известным контроллеру (в результате выполнения предыдущей функции), контроллер начинает принимать все RTP пакеты, посылаемые в этот адрес, и включать их в состав мультиплексных пакетов для дальнейшей их отправки в адрес другого контроллера (в другую сеть). Структура мультиплексных пакетов имеет следующий вид:

- IP header – заголовок IP пакета;
- UDP header – заголовок UDP пакета;
- RTP header – заголовок RTP пакета;
- MRTP-1 header – мини-заголовок RTP пакета первого подканала;
- RTP-1 payload – голосовой фрейм (закодированная голосовая информация) 1-го подканала;
- MRTP-n header – мини-заголовок RTP пакета n-го первого подканала;
- RTP-n payload – голосовой фрейм n-го подканала.

Детальное рассмотрение структуры MRTP выходит за рамки данной статьи, однако здесь отметим, что MRTP несет в себе всю информацию, необходимую для восстановления исходных одноканальных соединений на принимающей стороне. Заголовок MRTP, кроме всего прочего, включает поле номера подканала, через который посылается голосовая информация, следующая за заголовком. Этот же номер подканала передается в заголовке SIP сообщения принимающему контроллеру, что позволяет ему сопоставить закодированную голосовую информацию подканала конкретному соединению между конечными клиентами (см. поле “ch” в SIP сообщении МЗ на рис. 2).

И, наконец, третья функция контроллера – распаковка пакетов, реализуется внутри принимающего контроллера и заключается в следующем. Каждый мультиплексированный пакет, полученный контроллером, распаковывается, и затем формируются отдельные RTP пакеты – один пакет на каждое

одноканальное соединение между принимающим контроллером и принимающим SIP клиентом. Для сопоставления отдельных голосовых фреймов с одноканальными соединениями используются значения поля подканала в MRTP и поля “ch” в соответствующем SIP сообщении.

4. Реализация функций контроллера. Вышеперечисленные функции мультиплексирования и отображения адресов реализованы в прототипе контроллера, функционирующем в среде операционной системы Linux. Для обработки SIP сообщений использован “Back-To-Back User Agent” (B2BUA) от Vovida.org¹. Прототип может одновременно поддерживать несколько мультиплексных потоков с числом RTP подканалов не более 256 в каждом из них и позволяет существенно снизить накладные расходы на передачу голосовой информации при использовании в сетях, имеющих топологию, подобную той, которая представлена на рис. 1.

На рис. 3 представлены примерные графики зависимости требуемой полосы пропускания сетевого канала между двумя контроллерами от количества активных соединений при использовании предлагаемого метода мультиплексирования (нижний график) и без него - традиционным способом (верхний график). Приведенные численные значения верны при условии использования одного и того же кодека (G.729) и одного и того же размера голосовых фреймов (20 миллисекунд) на всех соединениях.¹

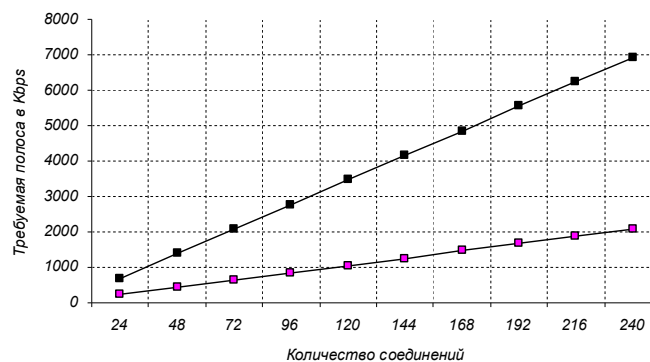


Рис. 3

Заключение. В работе предложен метод повышения эффективности использования сетевых каналов, несущих голосовую информацию, путем мультиплексирования RTP пакетов. В отличие от аналогичных, данный метод учитывает особенности протокола SIP, используемого в качестве сигнального протокола для установления RTP соединений. На основе предложенного метода построен прототип программного обеспечения контроллера, позволяющий снизить в типичных случаях расходы на передачу голосовой информации более чем в три раза.

¹ Vovida.org - a communications community site dedicated to providing a forum for open source software used in datacom and telecom environments (www.vovida.org)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schulzrinne H., Casner S. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications // IETF Request for Comments: 3550. - July, 2003.
2. Subbiah B., Sengodan S. User Multiplexing in RTP payload between IP Telephony Gateways // IETF, Work in progress. - August, 1998.
3. Menth M. Carrying wireless traffic in UMTS over IP using realtime transfer protocol multiplexing // In 12th ITC Specialist Seminar (Lillehammer, Norway). - 2000. - P. 13-25.
4. El-Khatib K., Luo G., Bochmann G., Pinjiang Feng Multiplexing Scheme for RTP Flows between Access Routers // IETF, Work in progress. - October, 1999.
5. Vardanyan M. IP voice stream multiplexing method with minimal overhead // CSIT, Proceedings of the conference (Yerevan, Armenia). - September, 2005. - P. 553-557.
6. Sze H. P., Soung C. Liew, Jack Y. B. Lee, and Danny C. S. Yip A Multiplexing Scheme for H.323 Voice-Over-IP Applications // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. -2002. -V.20.
7. Rosenberg J., Schulzrinne H. SIP: Session Initiation Protocol // IETF Request for Commnts: 3261, - June, 2002.

ԵրНИИАСУ. Материал поступил в редакцию 10.03.2006.

Մ.Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿ ԹՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՑԱՆՑԱՅԻՆ ԿԱՊՈՒՂԻՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ
ՕՏԱՈՐԾՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ RTP ՀՈՍՔԵՐԻ ՄՈՒԼՏԻՊԼԵՔՍԱՎՈՐՄԱՆ ՄԻ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ

Առաջարկվում է ձայնային ինֆորմացիա փոխանցող ցանցային կապուղիների օգտագործման արդյունավետությունը մեծացնելու նպատակով RTP փաթեթների մուլտիպլեքսավորման մեթոդ: Ի տարբերություն նմանօրինակ մեթոդների՝ առաջարկվող մեթոդը հաշվի է առնում SIP արձանագրության առանձնահատկությունները, որոնք օգտագործվում են որպես ազդանշանային արձանագրություն՝ RTP միացումների հաստատման ժամանակ: Հիմնվելով առաջարկված մեթոդի վրա կառուցվել է ծրագրային կոնտրոլլերի նախատիպ, որը թույլ է տալիս ավելի քան երեք անգամ փոքրացնել ձայնային ինֆորմացիայի փոխանցման ծախսերը տիպային դեպքերում:

Առանցքային բաներ. ռեալ ժամանակի տրանսպորտային արձանագրություն, սեսիայի հաստատման արձանագրություն, մուլտիպլեքսավորում, կոնտրոլլեր:

M.H. VARDANYAN

ON A METHOD OF MULTIPLEXING RTP FLOWS FOR EFFECTIVE USAGE OF NETWORK CHANNELS WITH LIMITED CAPACITY

A method for increasing the efficiency of network channel usage bearing voice information by multiplexing RTP packets is proposed. Unlike the analogous ones, this method takes into account SIP protocol, used as a signaling protocol for establishment of RTP connections. Based on the proposed method, a prototype of software controller allowing to reduce the expenses in typical cases to transfer voice information of provision for more than three times is discussed.

Keywords: Real-time Transport Protocol, Session Initiation Protocol, multiplexing, controller.

G.SH. SHMAVONYAN

THE ROLE OF SURFACE ACTIVE SPECIES IN HETEROEPITAXIAL GROWTH OF Ge THIN FILMS AND NANOSTRUCTURES ON Si(113) SUBSTRATES

The paper deals with the investigation of the formation of Ge thin films and nanostructures on clean surface of Si(113) by in-situ ultra-high vacuum (UHV) scanning tunneling microscope (STM) and low energy electron diffraction (LEED), and the role of surface active species (surfactant) in heteroepitaxial growth. Ge layers were grown on the Si(113) surface by Ge deposition at elevated substrate temperatures and different duration of Ge deposition. For a detailed structural characterization during the growth in-situ STM and LEED studies were used to achieve information regarding the growth modes and the nucleation of Ge on Si(113) surface.

Keywords: surfactant, heteroepitaxial growth, thin film, surfactant mediated growth.

The Si(113) surface has received much attention because of its high stability and technological importance. In general, high-index Si surfaces tend to be unstable and to facet into lower-index planes upon annealing [1]. However, the Si(113) surface is an exception. It has an energy that is comparable to that of the low-index surfaces and therefore it has potential as a substrate for growth [2]. Recently, a lot of efforts have been devoted to improve epitaxial growth of such materials as Ge on Si. Although one can hardly understand initial stages of epitaxial growth without knowing the atomic structure of the substrate, there is at least one silicon surface which is of potential interest for epitaxy [3], but which has an unknown microscopic structure [4]. Experimental and theoretical issues have been previously carried out to study the atomic structure of the Si(113) surface. The first STM determination of the Si(113) structure was carried out by Knall and his co-workers [5]. In LEED pattern a 3x1 reconstruction is observed. The second STM study on Si(113) supported the 3x1 reconstruction [6]. At the moment there are a majority of studies [1, 2, 5] supporting a 3x2 structure at 300 K, while others [6] argue for a 3x1 structure. Jacobi and his co-workers [7] have found that at 300K Si(113) surface has a 3x2 reconstruction that is transformed into a 3x1 structure. Despite all these studies, the atomic structures and relative stability of these reconstructed surfaces are still not completely solved. For the Si(113) 3x1 surface, several structural models have been suggested, such as Runke's "dimmer and adatom" model [8], Dabrowski's model with interstitial Si [9], and the packing model [10]. However, the detailed atomic structure of the Si(113)-3x1 surface is not solved completely.

A substantial modification of the growth of thin films and nanostructures may be obtained by introducing a third element which lowers the surface free energy of both Ge and Si. Surface active species (surfactant) mediated epitaxy [11] of semiconductor surfaces has attracted considerable interest recently because it enables the growth of nanostructures, which are not achievable by conventional molecular beam epitaxy (MBE) or chemical vapour deposition (CVD). So far Bi [12] has been reported to successfully act as surfactants for growth of Ge on Si (111). Both lattice strain and surface free energy help determine whether a film

undergoes layer-by-layer growth (Frank-van der Merwe), islanding (Volmer-Weber), and layer-by-layer growth followed by islanding (Stranski-Krastanov).

The experiments are carried out in an UHV STM system. Nominally undoped Si(113) samples with a resistance of 10 ohm-cm and a size of $2\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ are used for substrates. The samples are cut from highly oriented Si(113) wafers with a remaining miscut of less than 0.02 degrees. After cleaning in methanol, the samples are inserted into UHV system through a load lock and degassed at about 600°C for more than 24 hours. The substrates are flashed by short annealing cycles up to 1200°C for nearly 15 seconds in order to remove any contamination. The samples are resistively heated directly by DC current and the sample temperature is measured using an infrared pyrometer. This procedure reliably resulted in the removal of the native oxide layer and in the formation of a well ordered Si(113)- 3×2 surface reconstruction which is checked by LEED and STM. For the growth of Ge thin films and nanostructures atomic Ge is evaporated from Ge Knudsen cell. The Ge growth deposition is set between 300°C and 430°C . Subsequently LEED and STM measurements are performed at room temperature. The base pressure in the UHV system is below $5\times 10^{-11}\text{ mbar}$, and do not exceed $1 \times 10^{-10}\text{ mbar}$ during Ge deposition.

The research is carried out at the University of Bremen, Germany. The STM images and the LEED patterns are used for the analysis of the atomic structure, morphology and reconstruction of Si(113) clean surface, as well as the formation of Ge thin films and nanostructures on Si(113) surface. The STM images of the clean surface of Si(113) at different scales are shown in Fig. 1. The scan areas are $1000\text{ nm} \times 1000\text{ nm}$ (a), $250\text{ nm} \times 250\text{ nm}$ (b) and $56\text{ nm} \times 13\text{ nm}$ (c), using sample voltage - 2 V and tunnelling current 0.3 nA .

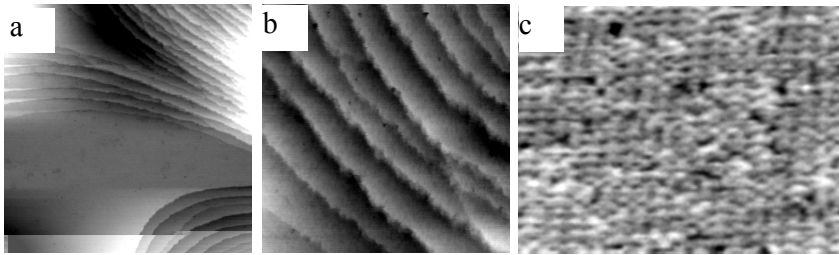


Fig. 1

The LEED pattern of the clean surface of Si(113) is shown in Fig. 2. Electron energy is 75 eV .

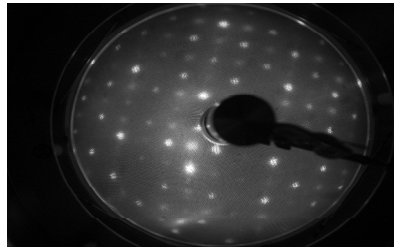


Fig.2

For large area scans individual steps are found for the clean Si(113) surface according to the remaining miscut of the sample (Fig. 1 a and b). No indication for facet formation was found. The LEED images were taken at various energies of electrons. Both the STM images and the LEED patterns of the Si(113) clean surface show a 3x2 reconstruction.

The STM images of clean surface of Si(113) (a), Ge/Si(113) interface after 2 *min* (b), 30 *min* (c) and 10 *min* using surfactant of Bi (d) at a substrate temperature of 430°C are shown in Fig.3. The scan areas are 500 nm x 500 nm, using sample voltage of - 2 V and tunnelling current of 0.3 nA.

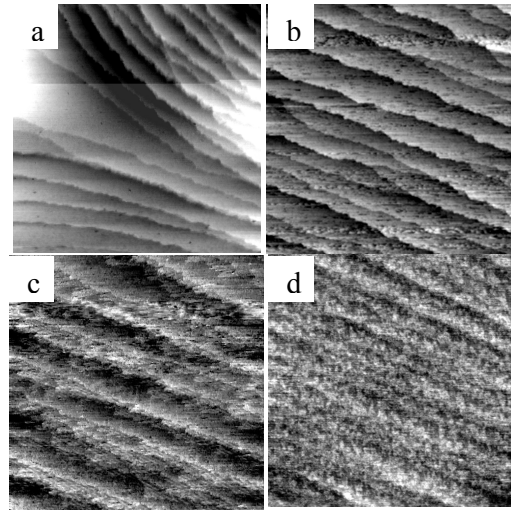


Fig. 3

After 2 minutes' deposition of Ge atoms only very few patches of Ge atoms are observed on the clean Si(113) surface (Fig. 3 b). After increasing the duration of the deposition of Ge atoms on the clean Si(113) surface up to 15 minutes at the same temperature of substrate we find a sub-bilayer coverage of Ge at step edges of the Si(113) surface. Ge growth is layer-by-layer and there are no Ge islands on the surface. Preferential nucleation of Ge at step edges can be attributed to a larger number of dangling bonds available at the steps. After 30 minutes' deposition of Ge at the same growth temperature, in contrast with previous cases of 2 and 15 minutes' deposition, a continuous Ge layer is formed on parts of the Si(113) terraces (Fig. 3 c). The STM and the LEED investigation at atomic scale show a mixture of 3x2 and 3x1 surface reconstruction, which can be attributed to remaining by open Si(113) and Ge/Si(113) 3x1 areas, respectively.

During 30 minutes' deposition of Ge atoms on the clean Si(113) surface at 300°C substrate temperature a sub-bilayer coverage of Ge on the Si(113) surface arises. Scattering Ge islands are formed on the Si(113) surface with single atomic steps. At a growth temperature of 300°C the mobility of Ge atoms is less than that of 430°C and deposited Ge atoms cannot reach the step edges and bind. Hence, by decreasing substrate temperature from 430°C to 300°C Ge islands are formed on Si(113) surface and layer by layer growth arises by islanding. The STM is used to gain information regarding the surface morphology of the formation of Ge films at a

sub-nanometer scale on Si(113) surface (Fig. 3). By increasing the growth temperature from 300°C to 430°C Ge atoms become sufficiently mobile to reach step edges. Thus, based on STM observations, and by optimizing the growth conditions (growth temperature, rate of the deposition, etc.) considerable smooth Ge films on Si(113) are obtained. To obtain more smooth Ge thin films, we used the third element (Bi) during the growth by surfactant mediated epitaxy (Fig. 3 d). We succeed as well as in obtaining Ge nanostructures on Si(113) substrates.

Based on UHV STM and LEED observations clean surface of Si(113), Ge/Si(113) interface and the reconstruction and morphology of the formation of Ge thin films and nanostructures on Si(113) are investigated. We clarified that clean surface of Si(113) has 3x2 reconstruction and Ge/Si(113) interface - 3x2 and 3x1 reconstructions. Analyzing the morphology of the formation of Ge films on Si(113) clearly shows that it is possible to obtain considerable smooth and homogeneous Ge films on Si(113) at 430°C substrate temperature after 30 minutes' Ge deposition. The use of Bi surfactant allow to obtain more smooth and homogeneous Ge thin films and nanostructures on Si(113).

It is a pleasure for us to express gratitude to NATO for Reintegration Grant 980772.

REFERENCES

1. **Olshanetsky B.Z. and Mashanov V.I.** // Surf. Sci. – 1981. - V. 111. - P. 414.
2. **Booker G.R. and Joyce B.A** // Phyllos. Mag. – 1966. - V.14. - P. 301.
3. **Knall J. and Pethica J.B.** // Surf. Sci. – 1992. -V. 265. - P. 156.
4. **Schreiner J., Jacobi K., Selke A.W.** // Phys. Rev. B. - 1994. - V. 49. - P. 2706.
5. **Knall J., Pethica J.B., Todd J.D., and Wilson J.H.** // Phys. Rev. Lett. - 1991. - V. 66. – P. 1733.
6. **Hadley M.J., Tear S.P., Tottger B., and Neddermeyer H.** // Surf. Sci. - 1991. - V. 280. – P. 258.
7. **Myler U. and Jacobi K.** // Surf. Sci. - 1989. - V. 220. – P. 353.
8. **Ranke W.** // Phys. Rev. B. - 1990. - V. 41. – P. 5243.
9. **Dabrowski J., Mussig H-J., and Wolff G.** // Phys. Rev. Lett. - 1994. - V. 73. – P. 1960.
10. **Wang J., Horshfield A.P., Pettifor D.G., and Payne M.C.** // Phys. Rev. B. - 1996. - V. 54. – P. 1374.
11. **Copel M., Reuter M.C., Kaxiras E., and Tromp R.M.** // Phys. Rev. Lett. - 1989. - V. 63. - P. 632.
12. **Horn von Hoegen M., LeGoues F.K., Copel M., Reuter M.C.** // Phys. Rev. Lett. - 1991. - V. 67. – P. 1130.
13. **Shmidt T., Falta J., Materlik G., Zaysing J., and Johnson R.L.** // Appl. Phys. Lett. - 1999. - V. 74. – P. 1391.

SEUA. The article is submitted to the publishing house on 26.06.2005.

Գ.Ե. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ

ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎ ՏԱՐՐԵՐԻ ԴԵՐԸ Si(113) ՀԱՐԹԱԿՆԵՐԻ ՎՐԱ Ge - Ի ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԵՎ ՆԱՆՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԵՏԵՐՈՒԴԻՏԱՔՄԻԱԼԱՅԻՆ ԱՃԵՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Հողվածի նպատակն է՝ ժամանակակից գերբարձր վակուումային փոռոթ թունելային մանրադիտակով և փոքր էներգիայով էլեկտրոնների դիֆրակցիայի եղանակով ուսումնասիրել Ge-ի բարակ թաղանթների և նանոկառուցվածքների աճեցումը Si(113)-ի մաքուր մակերևույթների վրա, ինչպես նաև մակերևութային ակտիվ տարրերի դերը հետերոէպիտաքսիալային աճեցման դեպքում: Ge-ի շերտերը աճեցվել են Ge նստեցնելով Si(113) հարթակի մակերևույթի վրա բարձր ջերմաստիճանների և Ge-ի նստեցման տարբեր ջերմաստիճանների դեպքերում: Աճեցման ընթացքում կառուցվածքային մանրակրկիտ բնութագրում կատարելու համար ժամանակակից փոռոթ թունելային մանրադիտակի օգնությամբ հնարավոր դարձավ տեղեկություն ստանալ Si(113)-ի վրա Ge-ի աճեցման ձևի և բյուրեղացման կենտրոնների առաջացման մասին:

Առանցքային բառեր. մակերևութային ակտիվ տարր, հետերոէպիտաքսիալային աճեցում, բարակ թաղանթ, մակերևութային ակտիվ տարրերի միջոցով ձևափոխման էպիտաքսիա:

Г.Ш. ШМАВОНЯН

РОЛЬ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ГЕТЕРОСТРУКТУРНОМ РОСТЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУР Ge НА ПОДЛОЖКАХ Si(113)

Исследуются вопросы формирования тонких пленок и наноструктур Ge на чистой поверхности Si(113) с помощью современного сверхвысокого вакуумного сканирующего туннельного микроскопа и метода дифракции электронов с низкой энергией. Показана роль поверхностно-активных элементов при гетероструктурном росте. Слои Ge выращены на поверхности Si(113) при осаждении Ge в высоких температурах подложки и разных продолжительностях осаждения Ge. С целью подробной структурной характеристики современный сканирующий туннельный микроскоп позволил получить информацию о формах роста и образования центров кристаллизации Ge на поверхности Si(113).

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, четырехэпитаксиальный рост, тонкая пленка, рост посредством поверхностно-активного вещества.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, Г.Г. САРКИСЯН

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОНЯТИЯ БЛИЗОСТИ ОСОБЕЙ**

Развит генетический алгоритм принятия решения на основе предложенного понятия близости особей. Исследованы случаи, когда скрещивание близких родственников желательно и когда нежелательно. На примере решения задачи оптимального проектирования синхронного явнополюсного генератора показана эффективность развитого подхода.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, оптимизационные задачи, алгоритмы принятия решения.

В последние годы одним из бурно развивающихся направлений нелинейного математического программирования является развитие генетических алгоритмов для решения оптимизационных задач.

В настоящей работе предложен генетический алгоритм с использованием понятия близости особей внутри популяции. Рассмотрена близость трех видов: по целевой функции, по ограничениям и геометрическая близость. Исследованы случаи, когда скрещивание близких особей желательно и когда нежелательно, при этом на разных стадиях решения задачи целесообразно использование разных видов близости.

Предложенный подход апробирован путем реализации машинной программы для решения задачи оптимального проектирования синхронного явнополюсного генератора. Проведен сопоставительный анализ с генетическими алгоритмами классического типа. Полученные результаты показывают эффективность развитого подхода.

Рассмотрим задачу нахождения минимума целевой функции $F(x_1, \dots, x_n)$, зависящей от n переменных, при условии выполнения ограничений

$$\varphi_i(\bar{x}) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где m - число ограничений.

Для описания генетических алгоритмов решения таких задач нам потребуется ряд биологических терминов, которым дадим формальное определение.

Особь - это точка n -мерного евклидова пространства.

Популяция - это конечное множество точек (особей). В генетических алгоритмах строится процесс последовательных популяций p_k , при этом переход от одного поколения к другому (т.е. от популяции p_k к p_{k+1}) осуществляется при помощи операций мутации, скрещивания и селекции.

Мутация - это сдвиг точки по случайному вектору. Обычно длина вектора предполагается фиксированной (шаг мутации), а ориентация – случайной с равномерным распределением на n -мерной единичной сфере.

Скрещивание особей A и B - это процесс порождения новых точек на отрезке, соединяющем A и B . В генетических алгоритмах используют разные способы порождения отпрысков нового потомства (чаще всего берут 2-3 случайные точки, равномерно распределенные на отрезке). Неизменным остается условие: новые точки непременно должны лежать на отрезке AB .

Селекция - это процесс сравнения особей старого и нового поколений и отбора лучших из них. Критерием для отбора особей является значение целевой функции $F(x_1, \dots, x_n)$ в данной точке.

Целью первого этапа работы генетического алгоритма является попадание особей в допустимую область. Для ускорения этого процесса предлагается производить скрещивание особей в зависимости от расположения родительских точек по отношению к ограничениям, определяющим допустимую область D . Ниже введем особое расстояние между особями, учитывающее взаиморасположение ограничений.

Каждой особи $A = (x_1, \dots, x_n)$ поставим в соответствие вектор (фрейм) $V_A = (v_1, \dots, v_m)$, где m - число ограничений. Величины v_k принимают два значения: $v_k = +1$, если в точке $A = (x_1, \dots, x_n)$ выполнено ограничение φ_k , и $v_k = -1$ - в противном случае. Пусть особи A соответствует фрейм $V_A = (v_1, \dots, v_m)$, а особи B - фрейм $V_B = (v'_1, \dots, v'_m)$. Расстоянием по ограничениям между особями A и B назовем расстояние между фреймами

$$R_1(A, B) = \sqrt{(v_1 - v'_1)^2 + \dots + (v_m - v'_m)^2}.$$

Пару особей назовем братом и сестрой, если их фреймы совпадают, то есть R_1 - расстояние между ними равно нулю. На рис. 1 особи B и C являются братом и сестрой. На том же рисунке для особи A наиболее удаленной (в смысле расстояния по ограничениям) является особь E . Отметим, что близость по ограничениям может отличаться от обычной геометрической близости. Так, на рис. 1 к особи B геометрически A ближе, чем C , а в смысле расстояния по ограничениям, наоборот, C ближе, чем A .

Пусть особи B и C являются братом и сестрой и не лежат в допустимой области и φ - ближайшее к ним невыполненное ограничение (на рис. 1 это φ_4). Обозначим через k максимальную кривизну этого ограничения.

Утверждение. Если особи B и C являются братом и сестрой и не лежат в допустимой области, то вероятность события, что при их скрещивании потомство попадет в допустимую область, меньше чем

$$1 - \frac{k \min[F(B), F(C)]}{2 - \sqrt{4 - k^2 d^2}},$$

где d - геометрическое расстояние между особями.

Эта вероятность равна нулю, если кривизна k отрицательна.

Согласно приведенному утверждению, очень высока вероятность того, что потомство от скрещивания близких родственников окажется неудачным (т.е. не попадет в допустимую область D). Предлагается на первом этапе работы генетического алгоритма запретить скрещивание близких родственников и произвести скрещивание наиболее удаленных (в смысле расстояния по ограничениям) особей.

Второй этап работы генетического алгоритма начинается, когда вся популяция находится в допустимой области, но особи еще далеки до оптимума. На этом этапе важным является геометрия расположения особей.

Пусть особь A как точка n – мерного евклидова пространства имеет декартовы координаты $(x_1, \dots, x_n)$, а особь B – координаты $(x'_1, \dots, x'_n)$. Расстоянием по геометрии между особями A и B назовем евклидово расстояние между точками

$$R_2(A, B) = \sqrt{(x_1 - x'_1)^2 + \dots + (x_n - x'_n)^2}.$$

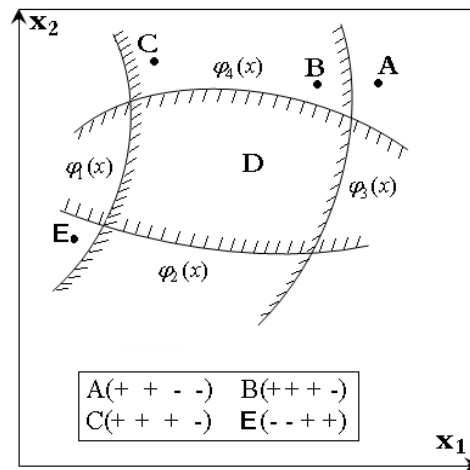


Рис.1

Обозначим через $d_{\max}$ максимальное геометрическое расстояние между особями в j -й популяции p_j . На рис.2 представлен график зависимости максимального геометрического расстояния $d_{\max}$ между особями в популяции от номера поколения $N_{\text{пок}}$. График соответствует второму этапу работы генетического алгоритма. По мере возрастания j величина $d_{\max}$ убывает (но не обязательно монотонно, см. рис. 2). Это происходит вследствие селекции, при которой отбираются лучшие особи, концентрируемые вокруг точки оптимума. Для ускорения этого процесса предлагается на втором этапе

работы генетического алгоритма скрещивать наиболее удаленные (в смысле расстояния по геометрии) особи.

В конце второго этапа работы генетического алгоритма наступает момент, когда популяции стабилизируются и не меняются (а значит, и не меняется величина $d_{\max}$). Это означает, что при скрещивании геометрически дальних особей все потомство оказывается хуже родителей. Это происходит в случае, когда популяция достаточно консолидирована и особи близки к оптимуму. В такой ситуации предлагается скрещивать близкие (по целевой функции) особи.

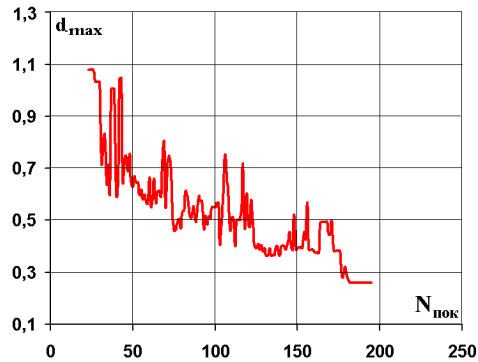


Рис. 2

Расстоянием по целевой функции между особями A и B будет величина

$$R_3(A, B) = |F(x_1, \dots, x_n) - F(x'_1, \dots, x'_n)|.$$

Переход к скрещиванию близких по целевой функции особей аналогичен уменьшению шага в градиентных методах. Поэтому целесообразно вместе с изменением стратегии скрещивания уменьшить шаг мутации.

Предложенный подход апробирован путем реализации машинной программы для решения задачи оптимального проектирования синхронного явнополюсного генератора. Проведен сопоставительный анализ с генетическими алгоритмами классического типа, приведенными в [1].

Для проведения численных исследований в качестве тестовой модели принята математическая модель синхронного явнополюсного генератора мощностью 20 кВт. Рассмотрим следующую задачу оптимизации.

Найти минимальный активный объем генератора $D_a^2 l$ вариацией внешнего диаметра статора D_a , относительного диаметра расточки статора D_i/D_a , относительной ширины паза d/t , длины статора l , числа эффективных проводников в пазу S_n , коэффициента полюсного перекрытия α_i ,

относительной ширины полюса b_m/b_p , относительного воздушного зазора δ/δ_m , плотности тока возбуждения J_b при следующих ограничениях в виде неравенств: КПД η , отношение короткого замыкания **ОКЗ**, максимальные значения индукций в зубцах B_z , спинке $B_{сп}$, полюсах B_p , продольные переходная и сверхпереходная реактивности x'_d и x''_d , фактор нагрева статора $AS \cdot J_a$, потери в обмотке возбуждения P_b , суммарная масса меди $G_{мед}$, сечение, занимаемое катушкой возбуждения $S_{вт}$.

На рис.3 представлены графики зависимости числа особей N_D , попавших в допустимую область D , от номера поколения $N_{пок}$ при различных геометриях области D . Жирная линия соответствует предложенному алгоритму, который запрещает скрещивание близких родственников и производит скрещивание наиболее удаленных (в смысле расстояния по ограничениям) особей. Вторая линия соответствует решению той же оптимизационной задачи классическим алгоритмом, приведенным в [1]. В случае рис. 3а область D довольно широка (в нее легко попасть обычным методом), в случаях рис.3б – г область D постепенно суживалась, оставляя остальные параметры модели неизменными. Графики показывают, что предложенный алгоритм особенно эффективен в случаях узких областей, куда трудно попасть обычным методом.

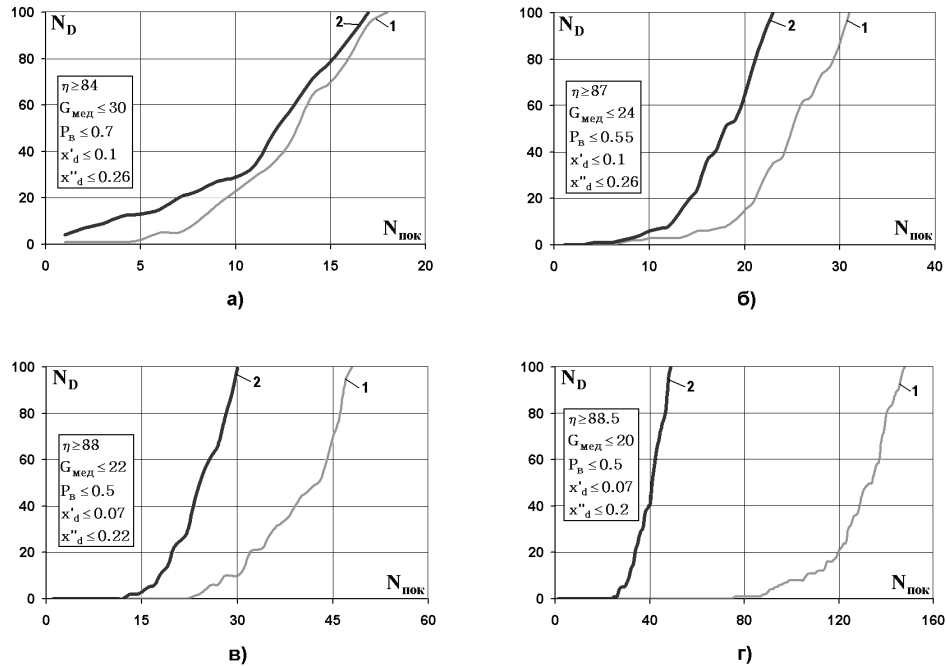


Рис. 3

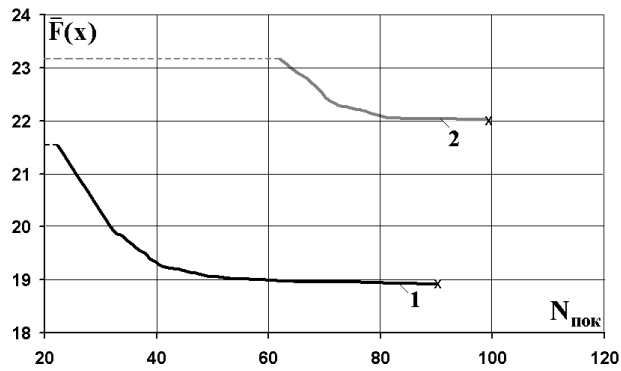


Рис. 4

На рис.4 представлен график зависимости целевой функции $F(x_1, \dots, x_n)$ от номера поколения $N_{\text{поп}}$. Кривая 1 соответствует предложенному алгоритму, который запрещает скрещивание близких родственников и производит скрещивание наиболее удаленных (в смысле геометрического расстояния) особей. Кривая 2 соответствует решению той же оптимизационной задачи классическим алгоритмом, приведенным в [1].

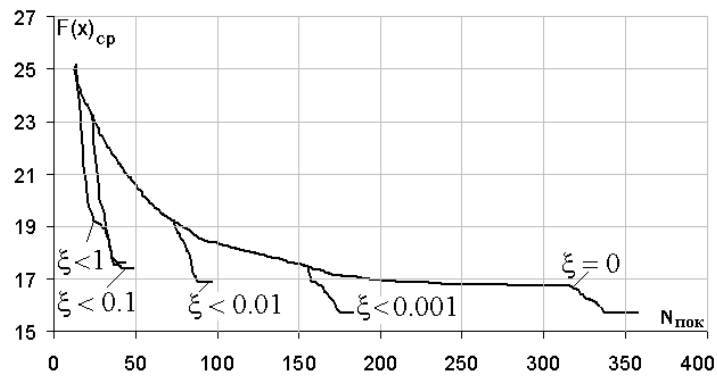


Рис. 5

На рис.5 представлен график зависимости целевой функции $F(x_1, \dots, x_n)$ от номера поколения $N_{\text{поп}}$ при работе генетического алгоритма с изменением стратегии скрещивания и уменьшения шага мутации. Переход к скрещиванию близких по целевой функции особей производится, когда максимальная невязка по целевой функции достигает заданного значения ξ . Как видно из рис 5, изменение стратегии на ранних стадиях работы поисковой

системы приводит к неоправданному останову, соответственно, при высокой погрешности найденного решения. Изменение стратегии скрещивания на поздних этапах поиска повышает точность решения, но при этом сильно возрастает число итераций. Выбор оптимального значения ξ сильно зависит от особенностей решаемой задачи, т.е. ξ является управляющим параметром, который, наряду с другими управляющими параметрами, требует адаптации. В рассмотренной задаче оптимальным является значение $\xi = 0,001$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терзян А.А., Саркисян Г.Г.** Генетические алгоритмы принятия решения // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2005. – Т. 58, № 1. - С. 147-153.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.02.2006.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Գ.Գ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄ ԱՌԱՆՁՆՑԱԿՆԵՐԻ ՍՈՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՍԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ

Առաջարկված առանձնյակների մոտիկության հասկացության հիման վրա կատարված է գենետիկ ալգորիթմների զարգացում: Հետազոտվել են մերձավոր ազգականների խաչասերման ցանկալի և ոչ ցանկալի դեպքեր: Հայտնաբերվել սինքրոն գեներատորի օպտիմալ նախագծման խնդիրների լուծման օրինակի վրա ցույց է տրվել զարգացված մոտեցման արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. գենետիկ ալգորիթմներ, օպտիմալացման խնդիրներ, որոշումների ընդունման ալգորիթմներ:

H.A. TERZIAN, H.S. SUKIASYAN, G.G. SARGSYAN

GENETIC ALGORITHM OF DECISION MAKING USING CONCEPTION OF SPECIES RELATIONS

A genetic algorithm of decision making based on proposed conception of species relations is developed. The cases when close relative intersection is desirable and when it is not desirable are studied. Based on the example of decision making in optimum synchronous explicit-pole generator designing the effectiveness of the developed approach is shown.

Keywords: genetic algorithms, optimization problems, decision making algorithms.

С.О. СИМОНЯН, Л.А. БАДАЛЯН

АНАЛОГИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕАВТОНОМНЫХ ПСЕВДООБРАТНЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ
МЕТОДА ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ ГРАММА-ШМИДТА И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПУХОВА

Предложен численно-аналитический метод определения неавтономных псевдообратных матриц. Рассмотрен модельный пример.

Ключевые слова: неавтономная матрица, метод ортогонализации Грамма-Шмидта, дифференциальные преобразования Пухова, псевдообратная матрица.

Введение. Псевдообратные матрицы широко используются для решения различных научно-практических задач [1-4, 6-10, 14-19]. Существует множество методов определения автономных псевдообратных матриц, в частности, Гревилля [4], блочного разбиения матрицы [4], Мура-Пенроуза [14], метод на основе метода ортогонализации Грамма-Шмидта [14] и др. Однако применение этих методов для определения псевдообратных матриц, элементы которых в общем случае являются некоторыми функциями, обычно приводит к весьма громоздким с аналитической и к невыполнимым с практической точек зрения вычислениям даже при небольших размерах неавтономных матриц.

Поэтому появляется необходимость разработки таких методов определения неавтономных псевдообратных матриц, которые обладали бы простотой реализации и в то же время были бы наделены достаточной вычислительной эффективностью и точностью. Такими методами являются разработанные в последнее время вычислительные схемы, представленные в работах [11-13]. С этой же целью в настоящей работе предлагаются новые аналоги на основе метода ортогонализации Грамма-Шмидта, также базирующиеся на дифференциальных преобразованиях Г.Е. Пухова [5].

Математический аппарат. Дифференциальные преобразования задаются соотношениями [5]

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{\partial^K x(t)}{\partial t^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \Longleftrightarrow \quad x(t) = X(t, t_v, H, X(K)), \quad (1)$$

где $X(K)$ - изображение (дискрета) оригинала $x(t)$ - функция целочисленного аргумента $K = \overline{0, \infty}$; H - некоторая постоянная (масштабный коэффициент); t_v - центр аппроксимации, $\Longleftrightarrow$ - знак перехода из области изображений в область оригиналов и наоборот, а $X(\cdot)$ - некоторая функция, обуславливающая восстановление тейлоровского (ДТ-), падеевского (ДП-), чебышевского (ДЧ-), лежандровского (ДЛ-) и др. типов оригиналов.

Перед тем как представить соответствующие аналоги, остановимся на методе определения автономных псевдообратных матриц $A_{n \times m}^+$, изложенном в [14].

Шаг 1. Вычисляется матрица перестановок $P_{n \times n}$, с помощью которой столбцы матрицы $A_{m \times n}$ переставляются так, чтобы ее первые k столбцы были бы линейно независимы, а остальные столбцы были бы их линейными комбинациями, т.е.

$$A_{m \times n} \cdot P_{n \times n} = \left[T_{m \times k} \mid S_{m \times (n-k)} \right], \quad (2)$$

где $T_{m \times k}$ - матрица ранга k , состоящая из линейно независимых столбцов матрицы $A_{m \times n}$, а столбцы матрицы $S_{m \times (n-k)}$ есть линейные комбинации столбцов матрицы $T_{m \times k}$. Матрица перестановок $P_{n \times n}$ представляет собой квадратную матрицу, состоящую из нулей и единиц, где каждая строка и каждый столбец содержат лишь одну единицу.

Для вычисления матрицы P применяется метод ортогонализации Грамма-Шмидта к столбцам a_j , $j = \overline{1, n}$, матрицы A :

$$d_1 = a_1, \quad d_j = a_j - \sum_{i \in S_j} \frac{\langle a_j^*, d_i \rangle}{\|d_i\|^2} \cdot d_i, \quad (3)$$

где $j = \overline{1, n}$, $S_j = \{i : i \leq j-1, d_i \neq 0\}$, $\langle a_j^*, d_i \rangle$ - скалярное произведение векторов a_j^* и d_i ; “*” - знак комплексно-сопряженной матрицы; $\|d_i\|$ - норма вектора d_i .

Перенумеруем $d_1, \dots, d_n$ так, чтобы k ненулевых векторов были бы первыми. При соответствующей перенумерации и перестановке единичной матрицы размера n будет получена искомая матрица перестановок $P_{n \times n}$.

Шаг 2. Вычисляются матрицы $T_{m \times k}$ и $S_{m \times (n-k)}$ согласно соотношению (2).

Шаг 3. Составляются промежуточные матрицы

$$Q_{m \times k} = \left[\frac{t_1}{\|t_1\|} \mid \frac{t_2}{\|t_2\|} \mid \dots \mid \frac{t_k}{\|t_k\|} \right], \quad (4)$$

$$C_{m \times k} = \left[\begin{array}{c|c|c|c} \frac{t_1}{\|t_1\|^2} & \frac{t_2}{\|t_2\|^2} & \dots & \frac{t_k}{\|t_k\|^2} \end{array} \right], \quad (5)$$

где t_i , $i = \overline{1, k}$ — i -й столбец матрицы $T_{m \times k}$, а $\|t_i\|$ — норма вектора-столбца t_i .

Шаг 4. На основе матриц $T_{m \times k}$, $S_{m \times (n-k)}$ и $C_{m \times k}$ вычисляются элементы матриц $\gamma_{k \times k}$, $B_{k \times k}$ и $U_{k \times (n-k)}$:

$$\gamma_{ij} = - \sum_{r=1}^{j-1} \langle t_j^*, c_r \rangle \cdot \gamma_{ir}, \quad \text{если } i < j, \quad (6)$$

$$\gamma_{ij} = 0, \quad \text{если } i > j,$$

$$\gamma_{ij} = 1, \quad \text{если } i = j, \quad i, j = \overline{1, k};$$

$$b_{ij} = \frac{\gamma_{ij}}{\|t_j\|}, \quad i, j = \overline{1, k}; \quad (7)$$

$$u_{ij} = \sum_{r=1}^k \langle s_j^*, c_r \rangle \cdot \gamma_{ir}, \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{1, n-k}. \quad (8)$$

Шаг 5. Вычисляется псевдообратная матрица $T_{k \times m}^+$:

$$T_{k \times m}^+ = B_{k \times k} \cdot Q_{k \times m}^*. \quad (9)$$

Шаг 6. Составляется матрица

$$H_{n \times (n-k)} = \left[\begin{array}{c} U_{k \times (n-k)} \\ \hline I_{(n-k) \times (n-k)} \end{array} \right]. \quad (10)$$

Шаг 7. К матрице $H_{n \times (n-k)}$ применяется метод ортогонализации Грамма-Шмидта согласно (3), с той лишь разницей, что полученный очередной вектор нормируется согласно формуле

$$\bar{c}_j = \frac{c_j}{\|c_j\|}, \quad j = \overline{1, n-k}. \quad (11)$$

В результате этого матрица $H_{n \times (n-k)}$ преобразуется в матрицу ортонормированных векторов вида

$$V_{n \times (n-k)} = \begin{bmatrix} V_{1 \times k \times (n-k)} \\ V_{2 \times (n-k) \times (n-k)} \end{bmatrix}.$$

Шаг 8. Вычисляется обратная матрица

$$G_{k \times k} = \left(I_{k \times k} + U_{k \times (n-k)} \cdot U_{(n-k) \times k}^* \right)^{-1} = I_{k \times k} - V_{1 \times k \times (n-k)} \cdot V_{1 \times (n-k) \times k}^*. \quad (12)$$

Шаг 9. Вычисляется псевдообратная матрица $A_{n \times m}^+$:

$$A_{n \times m}^+ = P_{n \times n} \cdot \begin{bmatrix} I_{k \times k} & U_{k \times (n-k)} \end{bmatrix}^* \cdot \begin{bmatrix} I_{k \times k} + U_{k \times (n-k)} \cdot U_{(n-k) \times k}^* \end{bmatrix}^{-1} \cdot T_{k \times m}^+. \quad (13)$$

Теперь допустим, что дана матрица $A(t)$, элементы которой обладают непрерывными частными производными бесконечного порядка по переменной t в центре аппроксимации $t_v \in [t_0, t_1]$. Представим аналогичные шаги вычислительной схемы в области дифференциальных преобразований.

Шаг 1. Вычисляются матрица перестановок $P_{n \times n}$ и ранг матрицы $A(t) - k$, причем метод ортогонализации Грамма-Шмидта применяется к столбцам начальной матричной дискреты $A(0)$ матрицы $A(t)$.

Шаг 2. Матричные дискреты $A(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ умножаются на матрицу перестановок $P_{n \times n}$. В результате этих операций получаются матричные дискреты $T_{m \times k}(K)$ и $S_{m \times (n-k)}(K)$:

$$[T(K) \mid S(K)] = P \cdot A(K), \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (14)$$

Шаг 3. Вычисляются матричные дискреты $C_{m \times k}(K)$ и $Q_{m \times k}(K)$, $K = \overline{0, \infty}$, с элементами

$$c_j(K) = \frac{t_j(K) - \sum_{\ell=0}^{K-1} c_j(\ell) \cdot z_j(K-\ell)}{z_j(0)}, \quad j = \overline{1, k}, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (15)$$

$$q_j(K) = \frac{t_j(K) - \sum_{\ell=0}^{K-1} q_j(\ell) \cdot y_j(K-\ell)}{y_j(0)}, \quad j = \overline{1, k}, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (16)$$

где $c_j(K)$, $q_j(K)$ и $t_j(K)$ - j -е столбцы K -ых матричных дискрет соответственно $C(K)$, $Q(K)$ и $T(K)$; $z_j(K)$ - K -я дискрета функции $z_j = \|t_j\|^2$, т.е. дискрета квадрата нормы j -го столбца матричной дискреты $T(K)$, определяемая в виде

$$z_j(K) = \sum_{\ell=0}^K \sum_{i=1}^m t_{ij}(\ell) \cdot t_{ij}(K-\ell), \quad j = \overline{1, k}, \quad K = \overline{0, \infty}; \quad (17)$$

$y_j(K)$ - K -я дискрета функции $y_j = \|t_j\|$, т.е. дискрета нормы j -го столбца матричной дискреты $T(K)$, определяемая в виде

$$y_j(K) = \frac{z_j(K) - \sum_{\ell=1}^{K-1} y_j(\ell) \cdot y_j(K-\ell)}{2 \cdot y_j(0)}, \quad j = \overline{1, k}, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (18)$$

где $y_j(0) = \sqrt{z_j(0)}$.

Шаг 4. Вычисляются элементы $\gamma_{ij}(K)$ матричных дискрет $\gamma_{k \times k}(K)$:

$$\gamma_{ij}(K) = - \sum_{\ell=0}^K \sum_{r=i}^{j-1} p_{jr}(\ell) \cdot \gamma_{ir}(K-\ell), \quad i < j, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (19)$$

$$\gamma_{ij}(K) = 0, \quad \text{если } i > j, \quad K = \overline{0, \infty},$$

$$\gamma_{ij}(K) = 0, \quad \text{если } i < j, \quad K = \overline{0, \infty},$$

$$\gamma_{ij}(0) = 1, \quad \text{если } i = j, \quad i, j = \overline{1, k},$$

где $p_{jr}(\ell)$ - ℓ -я дискрета скалярного произведения $\langle t_j^*, c_r \rangle$, определяемая в виде

$$p_{jr}(\ell) = \sum_{\ell_1=0}^{\ell} t_j^*(\ell_1) \cdot c_r(\ell - \ell_1), \quad i, j = \overline{1, k}, \quad r = \overline{i, j-1}, \quad \ell = \overline{0, K}, \quad (20)$$

а также элементы $b_{ij}(K)$ и $u_{ij}(K)$ матричных дискрет $B_{k \times k}(K)$ и $U_{k \times (n-k)}(K)$:

$$b_{ij}(K) = \frac{\gamma_{ij}(K) - \sum_{h=0}^{K-1} \gamma_{ij}(\ell) \cdot y_j(K-\ell)}{y_j(0)}, \quad i, j = \overline{1, k}, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (21)$$

$$u_{ij}(K) = - \sum_{\ell=0}^K \sum_{r=i}^{j-1} p2_{jr}(\ell) \cdot \gamma_{ir}(K-\ell), \quad i, j = \overline{1, k}, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (22)$$

где $p2_{jr}(\ell)$ - ℓ -я дискрета скалярного произведения $\langle s_j^*, c_r \rangle$, определяемая в виде

$$p2_{jr}(\ell) = \sum_{\ell_1=0}^{\ell} s_j^*(\ell_1) \cdot c_r(\ell - \ell_1), \quad i, j = \overline{1, k}, \quad r = \overline{i, j-1}, \quad \ell = \overline{0, K}. \quad (23)$$

Шаг 5. Вычисляются матричные дискреты псевдообратной матрицы $T_{k \times m}^+(t)$:

$$T_{k \times m}^+(K) = \sum_{\ell=0}^K B_{k \times k}(\ell) \cdot Q_{k \times m}^*(K-\ell), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (24)$$

где $Q_{k \times m}^*(K)$, $K = \overline{0, \infty}$ - дискреты комплексно-сопряженной матрицы $Q_{k \times m}(t)$.

Шаг 6. Составляются матричные дискреты $H_{n \times (n-k)}(K)$:

$$H(K) = \begin{bmatrix} U_{k \times (n-k)}(K) \\ I_{(n-k) \times (n-k)}(K) \end{bmatrix}, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (25)$$

где $I_{(n-k) \times (n-k)}(K)$ - K -я дискрета единичной матрицы размера $(n-k)$, причем $I_{(n-k) \times (n-k)}(K) = 0$, $K = \overline{1, \infty}$.

Шаг 7. Вычисляются матричные дискреты ортонормированной матрицы $V_{n \times (n-k)}(t)$ [11]:

$$V_{n \times (n-k)}(K) = \begin{bmatrix} V_{1 \times k \times (n-k)}(K) \\ V_{2 \times (n-k) \times (n-k)}(K) \end{bmatrix}, \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (26)$$

Шаг 8. Вычисляются матричные дискреты

$$G_{k \times k}(K) = I_{k \times k}(K) - \sum_{\ell=0}^K V_{1 \times k \times (n-k)}(K) \cdot V_{1 \times k \times (n-k)}^*(K-\ell), \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (27)$$

где $I_{k \times k}(K)$ - K -я дискрета единичной матрицы размера k , причем $I_{k \times k}(K) = 0$, $K = \overline{1, \infty}$.

Шаг 9. Составляются матричные дискреты $R_{n \times k}(K)$:

$$R_{n \times k}(K) = [I_{k \times k}(K) \mid U_{k \times (n-k)}(K)]^*, \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (28)$$

Шаг 10. Вычисляются матричные дискреты $Z_{k \times (n-k)}(K)$:

$$Z_{n \times k}(K) = \sum_{\ell=0}^K R_{n \times k}(\ell) \cdot G_{k \times k}(K - \ell), \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (29)$$

Шаг 11. Вычисляются матричные дискреты псевдообратной матрицы $A_{n \times m}^+(t)$:

$$A_{n \times m}^+(K) = \sum_{\ell=0}^K Z_{n \times k}(K) \cdot T_{k \times m}^+(\ell - K), \quad K = \overline{0, \infty}. \quad (30)$$

Шаг 12. Определив необходимое количество матричных дискрет $A_{n \times m}^+(K)$, восстанавливаются оригиналы в соответствии с (1).

Таким образом, алгоритм предложенной схемы можно представить последовательностью следующих операций:

1. Сначала определяются матричные дискреты $A(K)$, $K = \overline{0, N}$, неавтономной матрицы $A(t)$ в некоторой точке $t = t_v$ согласно левой части (1). При этом число дискрет N и центр аппроксимации t_v выбираются из некоторых практических соображений.
2. С помощью некоторого известного метода для определения автономных псевдообратных матриц вычисляются матричные дискреты $A^+(K)$, $K = \overline{0, N}$, псевдообратной матрицы $A^+(t)$.
3. Имея матричные дискреты $A^+(K)$, $K = \overline{0, N}$, восстанавливаются элементы $a_{ij}^{(+)}(t)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, псевдообратной матрицы $A^+(t)$ согласно правой части (1) (в настоящей работе для нижеизложенного модельного примера элементы $a_{ij}^{(+)}(t)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$,

восстанавливаются с помощью обратных дифференциальных преобразований Тейлора или Паде, что никак не умаляет общность рассуждений и для других обратных преобразований; верхние скобки $()$ в элементах $a_{ij}^{(+)}(t)$ указывают на то, что $a_{ij}^{(+)}(t)$ не является элементом обратной или псевдообратной элемента $a_{ij}(t)$ матрицы $A(t)$, а лишь элементом псевдообратной матрицы $A^+(t)$.

Рассмотрим модельный пример.

Пример. Пусть дана матрица [12]:

$$A(t) = \begin{bmatrix} t & t^2 - 2 & 3t - t^2 & t^2 - 1 \\ -t & 2t & -3t & 1 \\ 0 & t^2 + 2t - 2 & -t^2 & t^2 \end{bmatrix}.$$

Принимая, в частности, $t_v = -1$, $K = \overline{0,7}$ и $H = 1$, имеем следующие матричные дискреты:

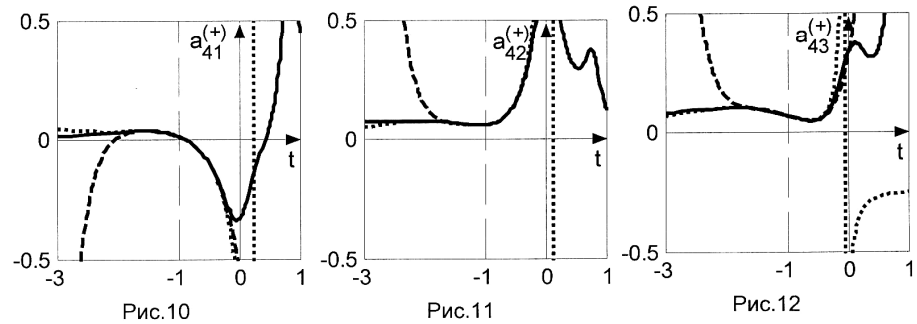
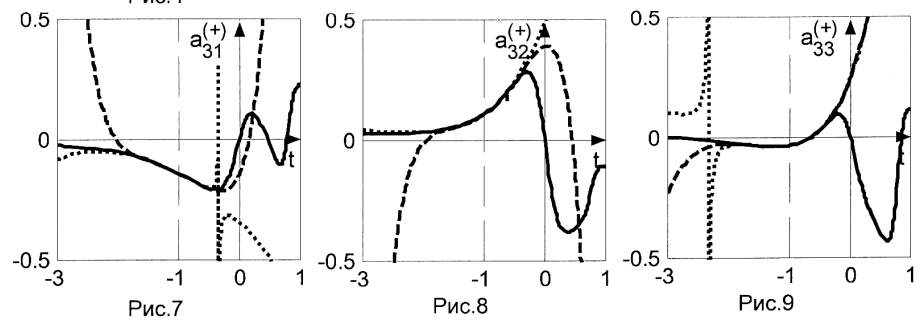
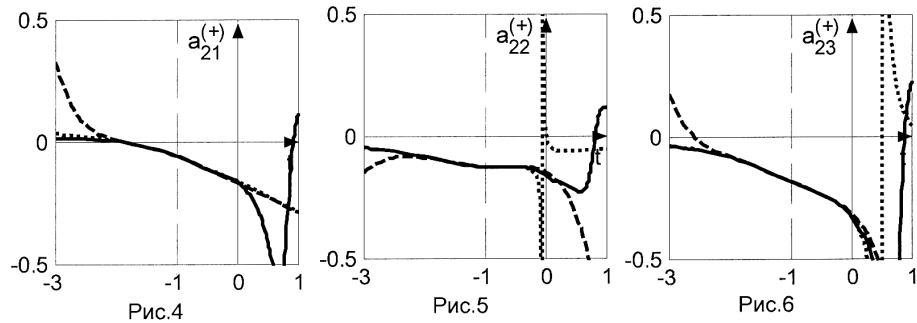
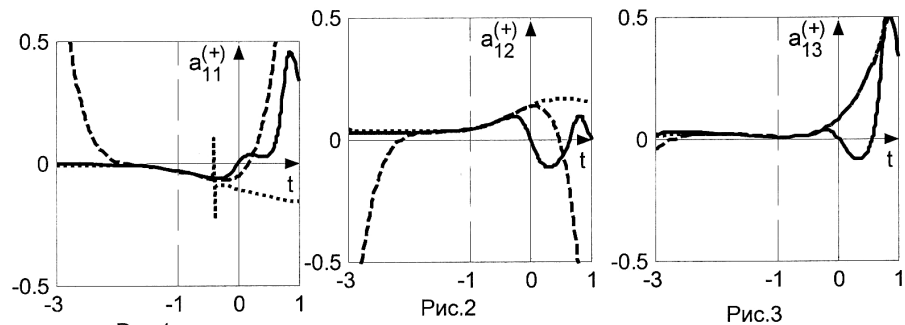
$$A(0) = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -4 & 0 \\ 1 & -2 & 3 & 1 \\ 0 & -3 & -1 & 1 \end{bmatrix},$$

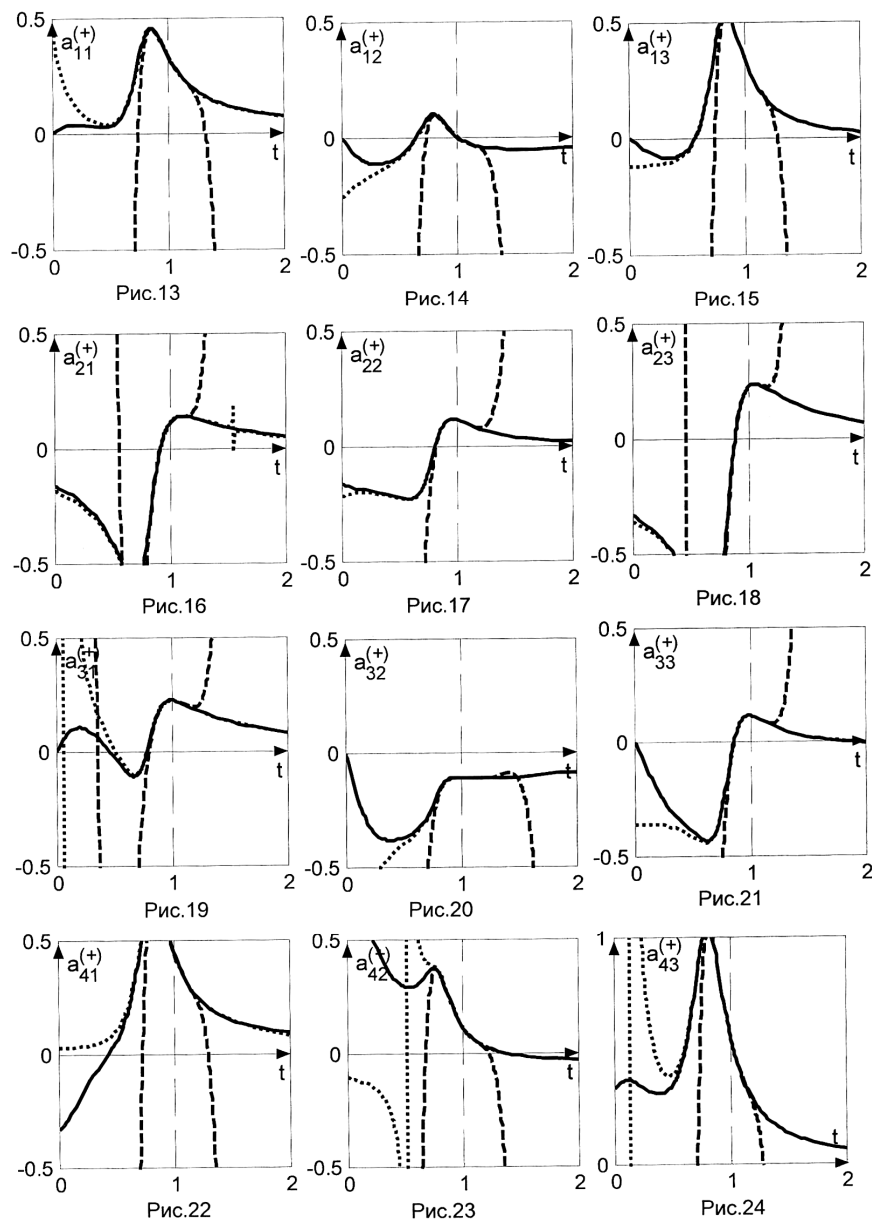
$$A(1) = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 5 & -2 \\ -1 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 \end{bmatrix},$$

$$A(2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, K \geq 3.$$

Не вдаваясь в подробности, представим полученные результаты: на рис. 1-12 представлены графики элементов псевдообратной матрицы $A^+(t)$ при $t_v = -1$, $K = \overline{0,7}$ и $H = 1$, а на рис. 13-24 - аналогичные графики при $t_v = 1$, $K = \overline{0,7}$ и $H = 1$. На всех рисунках сплошные — линии соответствуют аналитическому решению, пунктирные - - - ДТ-аналогу, точечные - ДП-аналогу.





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р.** Математическая теория конструирования систем управления.-М.: Высшая школа, 1998.-574 с.
2. **Брайсон А., Хо Ю-Ши.** Прикладная теория оптимального управления.-М.: Мир, 1972.-544 с.
3. **Беклемишев Д.В.** Дополнительные главы линейной алгебры.-М.: Наука,1983.-336с.
4. **Гантмахер Ф. Р.** Теория матриц.-М.: Наука, 1967.-575 с.
5. **Пухов Г. Е.** Дифференциальные спектры и модели.-Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
6. **Симонян С. О.** К упрощению вычислительных процедур расщепления линейных динамических систем на основе дифференциально-тейлоровских преобразований // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2000.-Т.53, N3.- С. 189-193.
7. **Симонян С. О., Аветисян А. Г.** Прямой метод решения линейных многоточечных краевых задач //Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. -2002. -Т.55, N1- С. 95-103.
8. **Симонян С. О., Аветисян А. Г., Варданян Г. А.** К решению функциональных матричных уравнений операторным методом дифференциальных преобразований // Моделирование, оптимизация, управление: Сб. научн. тр. ГИУА.-2003.-Вып. 6, N2. - С.8 -15.
9. **Симонян С. О., Аветисян А. Г., Кюрегян А. Л.** Дифференциально-падеевская локальная модель непрерывных задач математического программирования // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2001.-Т.54, N1.- С. 95-103.
10. **Симонян С. О., Аветисян А. Г., Меликян А. В.** Дифференциально-тейлоровский аналог метода Жирара-Виета // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2004.-Т.57, N3.-С. 480-494.
11. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Метод сингулярного разложения неавтономных матриц на основе дифференциальных преобразований // Вестник ГИУА. Сер. Моделирование, оптимизация, управление. – 2005. - Вып.8, том 2. -С.120-133.
12. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Дифференциально-тейлоровский аналог метода блочного разбиения для определения неавтономных псевдообратных матриц// Вестник Инженерной академии Армении (ВИАА).- 2005.-Т.2, N1.- С.109-116.
13. **Симонян С.О., Бадалян Л.А.** Дифференциально-тейлоровский аналог метода Гревилля для неавтономных матриц // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2005.-Т.58, N2.-С.340-353.
14. **Тертычный-Даури В. Ю.** Адаптивная механика.-М.: Наука, 1998.-480с.
15. **Xiaoping Yu** General Influence Coefficient Algorithm in Balancing of Rotating Machinery // International Journal of Rotating Machinery, 10: 85–90, 2004.
16. **Simonyan S. O., Avetisyan A. G.** The Method of Linear Non-Autonomus Finite Equation Set Solution on the Basis of Differential Taylor Transforms //Engineering Simulation. – 1998. - Vol. 15.- P. 407-421.
17. <http://www.mat.univie.ac.at/~nuhag/papers/1991/fei0791.html>
18. <http://www.rf.unn.ru/rus/sci/books/03/>
19. <http://www.cs.ru.nl/~ths/rt2/col/h5/5restoratieENG.html>

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.02.2006.

Ս. Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Լ. Ա. ԲԱԴԱԼՅԱՆ

ՈՉ ԱԿՏՈՆՈՍ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ԿԵՂԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՆՄԱՆԱԿՆԵՐԸ՝
ՀԻՄՆՎԱԾ ԳՐԱՄՍ-ՇՄԻԴՏԻ ՕՐԹՈԳՈՆԱԼԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԵՎ ՊՈԽՈՎԻ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ
ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Առաջարկված է ոչ ավտոնոմ կեղծ հակադարձ մատրիցների որոշման թվա-անալիտիկ եղանակ: Դիտարկված է մոդելային օրինակ:

Առանցքային բառեր. ոչ ավտոնոմ մատրից, Գրամ-Շմիդտի օրթոգոնալացման մեթոդ, Պուխովի դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, կեղծ հակադարձ մատրից:

S. H. SIMONYAN, L. A. BADALYAN

ANALOGUES FOR DETERMINATION OF NONAUTONOMOUS PSEUDOINVERSE
MATRICES BASED ON THE GRAM-SCHMIDT ORTHOGONALIZATION METHOD AND
PUKHOV'S DIFFERENTIAL TRANSFORMS

A numeral-analytical method for the determination of nonautonomous matrices is suggested. A model example is considered.

Keywords: nonautonomous matrix, Gram-Schmidt orthogonalization method, Pukhov's differential transforms, pseudoinverse matrix.

А.С. ВАРДАНЯН, Г.А. АМАТУНИ

**РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ КОНТРОЛЯ
ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ CANDLE**

Представлены результаты разработки системы СВЧ контроля для линейного ускорителя инжектора источника синхротронного излучения CANDLE. Разработанная методика основана на применении цифровой обратной связи, что позволяет обеспечить гибкость алгоритма контроля на базе частоты выборок 9 МГц. В работе применен метод СВЧ анализа [1], основанный на MATLAB SIMULINK, который позволяет моделировать и анализировать качество регулирования электрических полей в резонаторах для выбранной конфигурации линейного ускорителя. Результаты моделирования системы контроля линейного ускорителя проанализированы с точки зрения выходных параметров электронного пучка.

Ключевые слова: СВЧ система, линейный ускоритель, система контроля, амплитудно-фазовые характеристики.

Введение. Линейный ускоритель источника синхротронного излучения CANDLE [2] состоит из электронной пушки, напряжение на сетке которой смодулировано на частоте 500 МГц для получения наносекундных сгустков, группирователей сгустков на частотах 500 МГц и 3 ГГц и основной ускоряющей секции на бегущей волне с частотой 3 ГГц. Важнейшей особенностью системы является высокая степень синхронизации амплитудно-фазовых характеристик отдельных узлов для обеспечения пространственно-энергетических характеристик ускоренного пучка электронов. Это налагает жесткие требования на стабильность и контроль частоты, амплитуды и фазы возбуждаемых СВЧ электромагнитных полей.

1. Система управления СВЧ линейного ускорителя. Частота выборки СВЧ системы линейного ускорителя выбрана 9 МГц. Для измерения реальных и мнимых частей сигнала и разностного преобразования необходимо иметь промежуточную частоту 2,25 МГц. Если амплитуда и фаза локального генератора постоянны относительно основного генератора, то сигнал разностной частоты (2,25 МГц) будет содержать информацию об амплитуде и фазе СВЧ сигнала. Таким образом, получим четыре выборки в течение одного цикла, каждые две последовательные из которых могут быть представлены как реальная и мнимая части соответствующего вектора поля [3].

СВЧ сигнал от задающего генератора управляется векторным модулятором. В каждом волноводном канале должны быть установлены направленные ответвители и фазовращатели для измерения проходящих и отраженных волн и корректировки фазы. Каждый резонатор оборудован петлей связи ввода мощности и измерительной антенной или петлей. 500 МГц группирователь-резонатор имеет механический блок настройки частоты, который управляется шаговым двигателем. Для 3 ГГц группирователя выбран резонатор с низкой

добротностью, что позволяет обходиться без обратной связи, используя только быстрые фазовращатели. Все пробы разбиты на две или больше частей, одна из которых используется для обратной связи, остальные зарезервированы для последующих возможных измерений. Частота этого сигнала снижается понижающим преобразователем и оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП), который передает данные процессору цифровых сигналов (DSP). Измеренные проходящие и отраженные мощности также оцифровываются и используются для мониторинга и обратной связи. Система управления для всего линейного ускорителя потребует два DSP устройства: одно - для 500 МГц, другое - для 3 ГГц ВЧ управления. Все применяемые устройства - цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи - будут расположены в четырех отсеках с VME интерфейсом.

2. Синхронизация. Частота выборки (9 МГц) должна быть синхронизирована по частоте с ВЧ сигналом и с сигналом локального генератора. Все частоты получены и подстроены по фазе к задающему генератору, частота которого была выбрана 500 МГц. Проектирование системы синхронизации, а также соответствующие методы распределения синхронизирующего сигнала находятся на стадии разработки и будут представлены в дальнейших публикациях.

3. Анализ данных и система обратной связи. Для оценки разработанной СВЧ системы линейного ускорителя исследована работа линейного ускорителя в целом, включая клистроны и группирователи-резонаторы. Применен разработанный ранее метод СВЧ анализа [1], основанный на MATLAB SIMULINK, который позволяет моделировать и анализировать качество регулирования электрических полей в резонаторах. Для выбранной конфигурации линейного ускорителя в имеющиеся подсистемы внесены узлы обратной связи для самонастройки.

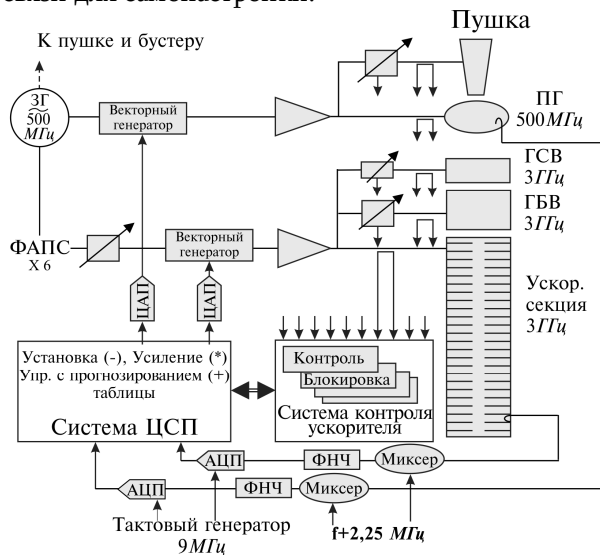


Рис.1. Схема системы управления СВЧ линейного ускорителя

Главные блоки и структура взаимосвязи между ними показаны на рис.1. Подсистемы СВЧ содержат блоки с файлами инициализации. Блок клистрона содержит в себе таблицу с измеренной нелинейной характеристикой клистрона, которую предполагается использовать в ускорителе. Резонаторы задаются набором дифференциальных уравнений с собственными характеристическими значениями импеданса R , резонансной частоты и добротности Q :

$$\begin{aligned}\dot{v}_i &= -\omega_{1/2} v_r - \Delta\omega v_i + \frac{R\omega_{RF}}{2Q} I_r, & \dot{v}_r &= \omega_{1/2} v_i + \Delta\omega v_r + \frac{R\omega_{RF}}{2Q} I_i, \\ \Delta\omega &= \omega_0 - \omega_{RF},\end{aligned}$$

где I_r , I_i - реальные и мнимые части тока, а ω_{RF} - частота СВЧ системы.

Блок управления содержит в себе программы для обработки оцифрованных сигналов трех видов контроля: 1) основанный на самовозбуждении, 2) амплитудно-фазовой подстройки и 3) I/Q контроль (In-Phase Quadrature). Каждая подсистема имеет собственное время задержки, которое состоит из времени прохода пучка и времени, необходимого для пролета в следующую подсистему. В блоке "Control" используется "Quantizer" (непрерывно-дискретный преобразователь) для симулирования АЦП на частоте 9 МГц.

Перечисленные ниже возмущения и нарушения должны управляться и корректироваться системой контроля:

- флуктуация тока пучка, возбуждение высших мод и кильватерных полей;
- точность синхронизирующего сигнала, фазовые шумы от генератора;
- заполнение резонаторов, отраженные волны и изменения резонансной частоты резонаторов.

В дальнейшем разработанная программа для симуляции будет использована с целью диагностики в реальном масштабе времени амплитудно-фазовых характеристик, настройки подпрограмм и калибровки системы СВЧ.

На рис.2 показаны амплитуда и фаза поля, возбужденного в резонаторах стоячей бегущей волной. Как видно, напряженность и фаза остаются стабильными во время прохождения пучка (от 1 до 2 мкс). Отклонения составляют всего 0,1% напряженности и 1° фазы, что можно легко скорректировать и довести до 0,1° фазы с помощью предварительного контроля, подстраивая фазу при прохождении пучка.

На рис.2 ж, з в увеличенном масштабе показано изменение напряженности поля в ускорительной секции во время прохождения пучка. Как видно, отклонения напряженности от установленного значения составляют всего 0,5 % и остаются стабильными во время прохождения пучка: падение напряженности составляет 0,03 %, а смещение фазы – 0,4°.

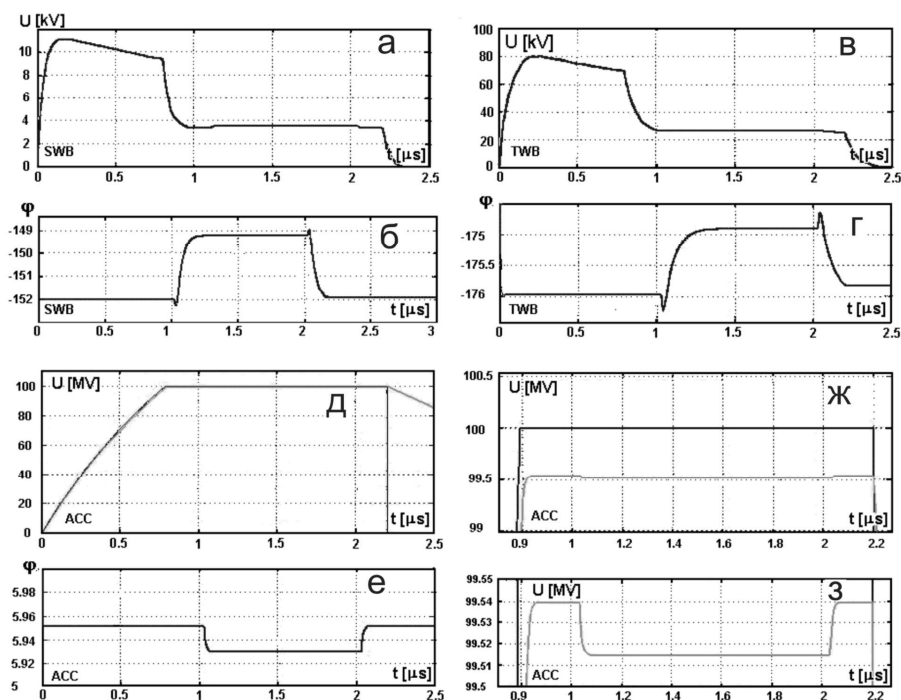


Рис.2. Амплитуда и фаза поля, возбужденного в резонаторах стоячей волны (а,б), бегущей волны (в,г) и в ускорительной секции (д,е)

4. Заключение. Результаты моделирования системы настройки пространственно-фазовых характеристик СВЧ полей показали, что выбранная конфигурация линейного ускорителя и системы СВЧ управления позволят обеспечить требуемые параметры электронного пучка на выходе из ускорителя [4]. Важным следствием проведенного исследования является стабильность параметров электронного пучка, обеспечиваемая в автономном режиме работы ускорителя на основе анализа данных и обратной связи с генераторами СВЧ мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Vardanyan A., Ayvazyan V., Simrock S.N.** An Analysis tool for RF Control for Superconducting cavities // EPAC'02. – Paris, 2002. - P.1673.
2. **CANDLE** Design Report. //ASLS-CANDLE R-001-02. – Armenia, 2002.
3. **Schilcher T.** Vector Sum Control of Pulsed Accelerated Fields in Lorentz Force Detuned Superconducting Cavities. – Hamburg, 1998.
4. **Grigoryan B., Tsakanov V., Vardanyan A.** The Design and Simulation Studies of the Pre-injector for CANDLE Light Source// EPAC'02. – Paris, 2002. - P.1765.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 03.03.2005.

Ա.Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Գ.Ա. ԱՄԱՏՈՒՆԻ

CANDLE -ի ԳԾԱՑԻՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ԳԲՀ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԵՎ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Ներկայացված է CANDLE սինքրոտրոն ճառագայթման աղբյուրի ինժեկտոր հանդիսացող գծային արագացուցչի ԳԲՀ ղեկավարման համակարգի նախագիծը: Գծային արագացուցիչը բաղկացած է էլեկտրոնային թնդանոթից, որի ղեկավարման ցանցը մոդուլացված է 500 ՄՀց հաճախությամբ՝ ստանալու նանովայրկյանանոց թանձրուկների փունջ, 500 ՄՀց և 3 ԳՀց հաճախությամբ խմբավորիչ ռեզոնատորներից և 6 մետրանոց հիմնական արագացնող հատվածից: Համակարգի կարևորագույն առանձնահատկությունը առանձին ենթահամակարգերի ամպլիտուդափուլային բնութագրերի սինքրոնացման բարձր աստիճանն է, որը կապահովի արագացվող էլեկտրոնային փնջի տարածական և էներգետիկ բնութագրերը: Այս հանգամանքը խիստ պահանջներ է ներկայացնում գրգռված ԳԲՀ էլեկտրամագնիսական դաշտերի հաճախությանը, ամպլիտուդի և փուլի կայունությանն ու ղեկավարմանը: Մշակված մեթոդը հիմնված է թվային հետադարձ կապի կիրառման վրա, որը ճկուն ղեկավարման նախադրյալ: Ազդանշանի դիսկրետացման համար ընտրված է 9 ՄՀց հաճախությունը:

Օգտագործվել է ԳԲՀ համակարգի անալիզի համար մշակված մեթոդը, որը հիմնված է MATLAB SIMULINK-ի վրա և թույլ է տալիս մոդելավորել և ուսումնասիրել տվյալ գծային արագացուցչի ռեզոնատորներում դաշտի կարգավորման որակը: Բերված են նաև մոդելավորման որոշ արդյունքներ:

Առանցքային բաներ. ԳԲՀ համակարգ, գծային արագացուցիչ, ղեկավարման համակարգ, ամպլիտուդ-ֆազային բնութագրիչներ:

A.S. VARDANYAN, G. A. AMATUNI

DESIGN AND SIMULATION OF RF CONTROL SYSTEM FOR CANDLE LINAC

The design and philosophy of the control system for 500 MHz and 3 GHz RF system of CANDLE linac are presented. The linac includes an electron gun that is modulated by 500 MHz generator to produce 1 ns electron bunches, 500 MHz and 3 GHz bunchers, pre-accelerating cavity and the main accelerating section at 3 GHz. An important feature of the presented control system is high level synchronisation of amplitude-phase characteristics of sub-systems that provide the required energy-space characteristics of the accelerated beam. This puts strict requirements on the stabilization of RF frequency, amplitude and phase. A digital feedback system has been adopted to provide flexibility in the control algorithms. The main features are the sampling rate of 9 MHz for the cavity signals and digital I/Q detection. The design was performed using the RF analysis tool based on MATLAB SIMULINK which allows the simulation and analyzes the field regulation quality. The simulation results for CANDLE Linac RF system based on the output parameters of electron beam are given.

Keywords: RF system, linear accelerator, control system, amplitude-phase characteristics.

Р.М. ХАЧАТРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И
ПОТЕРИ НАПОРА В ЗАДВИЖКЕ ПРИ ЕЕ ДРОССЕЛИРОВАНИИ

Показано, что аналитическая и графическая интерпретации уравнения суммарной характеристики трубопроводов центробежного насоса при дросселировании задвижки, приведенные в технической литературе по насосам, не соответствуют действительности, так как являются следствием равномерного распределения вдоль водопроводящей линии значительного сосредоточенного местного гидравлического сопротивления прикрытой задвижки, что, с гидравлической точки зрения, недопустимо. Между тем как при отдельном учете сосредоточенной местной потери напора в прикрытой задвижке действительная суммарная характеристика трубопроводов при любом расходе дросселирования будет параллельной таковой при полностью открытой задвижке и пройдет выше от нее на величину потери напора в прикрытой задвижке, соответствующей заданному расходу дросселирования.

Получены аналитические зависимости для определения гидравлического сопротивления и потери напора в прикрытой задвижке при совместной работе центробежного насоса любой марки с одноконтурными трубопроводами любых суммарных характеристик, любой геометрической высоты подачи и любого расхода жидкости, нагнетаемой насосом при дросселировании.

Ключевые слова: уравнение суммарной характеристики трубопроводов, полностью открытая задвижка, прикрытая задвижка, гидравлическое сопротивление, потеря напора, дросселирование, аналитические зависимости.

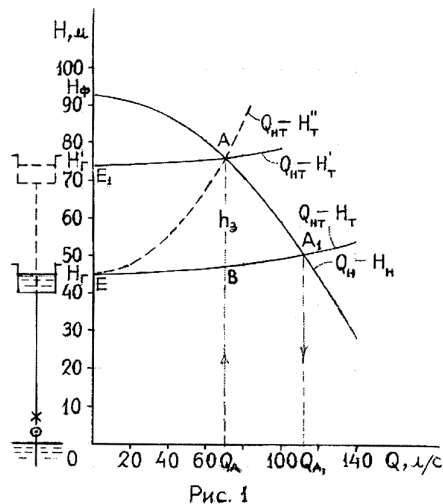
Совместная работа системы резервуар чистой воды–центробежный насос–трубопроводы–бак водонапорной башни (или водонапорный резервуар) характеризуется координатами точки пересечения рабочей характеристики $Q_H - H_H$ центробежного насоса выбранной марки и суммарной характеристики $Q_{HT} - H_T$ всасывающего и нагнетательных трубопроводов при выбранных их диаметрах и длинах.

Допустим, что при постоянной частоте вращения рабочего колеса центробежного насоса и полностью открытой задвижке, установленной в начале нагнетательной линии, точкой пересечения вышеуказанных характеристик будет A_1 , координатами которой являются максимальный расход жидкости Q_{A1} , нагнетаемой насосом, и развиваемый им напор H_{A1} (рис.1).

В процессе эксплуатации насосных установок и станций часто возникает необходимость подачи меньших расходов жидкости, чем при полностью открытой задвижке. Одним из способов уменьшения производительности насосов в подобных случаях является дросселирование. Однако следует иметь в виду, что дросселирование допустимо, когда потребляемая насосом мощность уменьшается с уменьшением нагнетаемого им расхода жидкости ($\partial N / \partial Q > 0$), что характерно для центробежных насосов, и недопустимо, когда потребляемая

насосом мощность возрастает с уменьшением расхода жидкости ($\partial N / \partial Q < 0$), что характерно для осевых насосов.

Дросселирование весьма просто осуществимо. Оно обеспечивает плавное уменьшение расхода жидкости, но вызывает дополнительную затрату энергии, необходимую для преодоления дополнительного гидравлического сопротивления прикрытой задвижки. Несмотря на это, дросселирование широко применяется при уменьшении подачи центробежных насосов малой и средней производительности.



В случае прикрытия задвижки точка A_1 передвинется по характеристике $Q_H - H_H$ влево, в результате чего уменьшатся нагнетаемый насосом расход жидкости, потребляемая им мощность и увеличится развиваемый им напор.

Предположим, что в результате дросселирования расход жидкости, нагнетаемой насосом, стал $Q_A < Q_{A_1}$. Очевидно, что новая суммарная характеристика трубопроводов пройдет через новую режимную точку А. Однако ее следует изображать не пунктирной кривой $Q_{HT} - H''_T$, проходящей через точки Е и А, как неверно, на наш взгляд, это представлено в технической литературе по насосам [1-6], а параболой E_1A , параллельной EA_1 (сплошная кривая $Q_{HT} - H'_T$). Попробуем доказать сказанное.

Суммарную характеристику трубопроводов насосной установки при дросселировании задвижки аналитически можно описать уравнением

$$H_T = H_A + h_{\zeta} + \sum h_T, \quad (1)$$

где H_T – геометрическая высота подачи жидкости, равная разности отметок максимального уровня жидкости в верхнем и минимального ее уровня в нижнем

резервуарах, m ; h_{ζ} – потеря напора в прикрытой задвижке при дросселировании, m .

В технической литературе по насосам принимается:

$$h_{\zeta} = S_{\zeta} Q_{HT}^2, \quad (2)$$

S_{ζ} – гидравлическое сопротивление прикрытой задвижки, $(с/м^3)^2 \cdot м$;

$\sum h_T$ – суммарная потеря напора во всасывающем и нагнетательных трубопроводах, m ;

$$\sum h_T = S_T Q_{HT}^2, \quad (3)$$

S_T – суммарное гидравлическое сопротивление каждого из одинаковых водопроводящих линий, состоящих из всасывающего (S_{BT}) и нагнетательных трубопроводов, установленных внутри (S'_{HT}) и вне здания (S_{HT}) насосной станции, $(с/м^3)^2 \cdot м$.

При параллельной работе m одинаковых центробежных насосов с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами, установленными вне здания насосной станции, S_T следует определять по зависимости [8]:

$$S_T = (S_{BT} + S'_{HT})(n/m)^2 + S_{HT}. \quad (4)$$

В случае, когда одиночный центробежный насос ($m=1$) работает совместно с одноконтурным нагнетательным трубопроводом ($n=1$), зависимость (4) примет вид

$$S_T = S_{BT} + S'_{HT} + S_{HT}. \quad (5)$$

Q_{HT} – расход жидкости, проходящей по одной нитке нагнетательного трубопровода, установленного вне здания насосной станции, $м^3/с$.

Подстановка соответствующих выражений из (2) и (3) в (1) дает

$$H'' = H_{\Gamma} + S_{\zeta} Q_{HT}^2 + S_T Q_{HT}^2 = H_{\Gamma} + (S_{\zeta} + S_T) Q_{HT}^2. \quad (6)$$

То есть, согласно технической литературе по насосам, суммарная характеристика трубопроводов при дросселировании выражается зависимостью (6), которая графически представляется параболической кривой, проходящей через точки Е и А (пунктирная кривая $Q_{HT} - H''_T$ на рис.1). Такая интерпретация, на наш взгляд, противоречит физике явления. Дело в том, что:

во-первых, гидравлическое сопротивление в прикрытой задвижке является сугубо местным, величина которого, в зависимости от степени ее дросселирования (от полностью открытой до полностью закрытой задвижки), колеблется в пределах $0 \leq S_{\zeta} \leq \infty$. Следовательно, оно не может быть равномерно распределенным по всей длине трубопроводов, как это вытекает из зависимости (6), приводящей к абсурду;

во-вторых, при известных энергетических характеристиках $Q - H$ выбранной системы насос-трубопроводы каждому значению расхода дросселирования Q_A соответствует одно определенное значение гидравлического

сопротивления прикрытой задвижки S_{ζ} (см. зависимости (17), (18) и (20)). Поэтому совершенно недопустимо применение зависимости (6) для определения ординат суммарной характеристики трубопроводов при дросселировании, поскольку их значения при расходах жидкости $Q_{HT} \neq Q_A$ будут фиктивными. Следовательно, зависимость (6) и форма суммарной характеристики трубопроводов при дросселировании $(Q_{HT} - H'_T)$, представленная на рис. 1 пунктирной кривой, также фиктивны. Единственное реальное значение ординаты суммарной характеристики трубопроводов, определяемое по зависимости (6), соответствует режимной точке А совместной работы насос-трубопроводы при расходе дросселирования $Q_{HT} = Q_A$.

Таким образом, потерю напора в прикрытой задвижке (h_{ζ}) при любом расходе дросселирования $Q_A < Q_{A1}$ необходимо учесть отдельно от потерь напора по длине (как это справедливо делается при решении соответствующих задач по гидравлике), а ординаты действительной суммарной характеристики трубопроводов при дросселировании $(Q_{HT} - H'_T)$ следует определять по предлагаемой зависимости:

$$H'_T = H_{\Gamma} + S_{\zeta} Q_A^2 + S_T Q_{HT}^2 = H'_{\Gamma} + S_T Q_{HT}^2, \quad (7)$$

где

$$h_{\zeta} = S_{\zeta} Q_A^2 \quad (8)$$

и

$$H'_{\Gamma} = H_{\Gamma} + S_{\zeta} Q_A^2. \quad (9)$$

На основании вышеизложенного можно утверждать, что в результате постепенного прикрытия задвижки суммарная характеристика трубопроводов плавно поднимается вверх, оставаясь в течение всего процесса дросселирования параллельной суммарной характеристике трубопроводов при полностью открытой задвижке.

Следовательно, дросселирование вызывает как бы фиктивный подъем уровня жидкости в верхнем резервуаре на величину потери напора в прикрытой задвижке, соответствующей расходу воды при дросселировании. Поэтому для построения суммарной характеристики трубопроводов при расходе дросселирования Q_A необходимо отложить от точки Е вверх отрезок $h_{\zeta} = EE_1 = BA$, так как $H'_{\Gamma} = H_{\Gamma} + h_{\zeta}$, и построение суммарной характеристики трубопроводов при дросселировании $(Q_{HT} - H'_T)$ начать с точки Е₁. Очевидно, что полученная кривая, согласно (7), будет параллельной суммарной характеристике трубопроводов при полностью открытой задвижке $(Q_{HT} - H_T)$ и пройдет через новую режимную точку А, как это показано на рис. 1.

Для подтверждения мысли о том, что местную потерю напора в прикрытой задвижке нельзя распределять вдоль трубопровода, проведем логическую параллель между рассматриваемой задачей и простейшей задачей истечения жидкости из бассейна по трубопроводу с горизонтальной

осью, постоянным диаметром d и длиной ℓ при установившемся движении под постоянным напором H (рис. 2).

Написав уравнение Бернулли для сечений 0 - 0 и I - I, относительно плоскости сравнения 2 - 2 получим

$$H = \alpha_1 V_1^2 / 2g + \sum h_{(0-1)}. \quad (10)$$

На рис. 2 показаны линии энергии при полностью открытой задвижке, установленной в начале трубопровода (толстая сплошная линия с уклоном i_0), и при дросселировании, с некоторой степенью прикрытия задвижки (тонкая сплошная линия с уклоном i_{qp}). Как видно из рис.2, при полностью открытой задвижке суммарная потеря напора в системе будет наименьшей, а средняя скорость истечения, а следовательно, и расход жидкости будут наибольшими ($\sum h_{(0-1)} = \min$, $V_1 = \max$ и $Q_1 = \max$). Поскольку при постоянных значениях диаметра и коэффициента шероховатости внутренней поверхности трубопровода его пропускная способность постоянна:

$$K = AC\sqrt{R} = \text{const},$$

то уклон линии энергии вдоль трубопровода также будет наибольшим:

$$i_0 = Q_1^2 / K^2 = \max.$$

При дросселировании с некоторой степенью прикрытия задвижки суммарная потеря напора в системе будет больше, а средняя скорость истечения, а следовательно, и расход жидкости будут меньше, чем при полностью открытой задвижке ($\sum h_{(0-1)qp} > \sum h_{(0-1)}$, $V_{1qp} < V_1$ и $Q_{1qp} < Q_1$). Поэтому уклон линии энергии вдоль трубопровода при дросселировании будет меньше, чем при полностью открытой задвижке:

$$i_{qp} = Q_{1qp}^2 / K^2 < i_0.$$

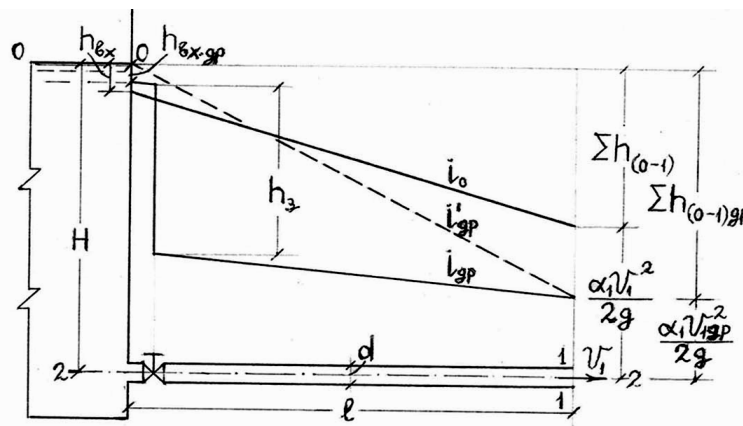


Рис. 2

В случае же распределения вдоль трубопровода сосредоточенной местной потери напора в прикрытой задвижке получим линию энергии в виде пунктирной прямой с уклоном большим, чем при полностью открытой задвижке ($i'_{qp} > i_0$), что противоречит нашим представлениям по гидравлике. Противоречие состоит в том, что увеличение уклона линии энергии подразумевает увеличение средней скорости истечения и расхода жидкости по сравнению с таковыми при полностью открытой задвижке, что немыслимо.

В действительности, при дросселировании, как было показано выше, уменьшается средняя скорость истечения, расход жидкости и, естественно, уклон линии энергии, что имеет место в случае отдельного учета потери напора в прикрытой задвижке, как сугубо местной потери напора. Следовательно, действительными являются линии энергии при полностью открытой задвижке (толстая сплошная прямая с уклоном i_0) и с учетом отдельно местной потери напора в прикрытой задвижке при дросселировании (тонкая сплошная линия с уклоном i'_{qp}).

На основании вышесказанного можно утверждать, что равномерное распределение вдоль водопроводящей линии всех гидравлических сопротивлений в случае дросселирования, при наличии значительной сосредоточенной местной потери напора в прикрытой задвижке, недопустимо, так как приводит к абсурду. Сказанное относится к линии энергии с уклоном i'_{qp} (пунктирная прямая на рис.2) и суммарной характеристике трубопроводов $Q_{HT} - H_T$ при дросселировании (пунктирная кривая на рис. 1).

Величину потери напора в прикрытой задвижке при дросселировании можно определить:

1. Графоаналитически, пользуясь рабочей характеристикой $Q_H - H_H$ выбранного центробежного насоса и суммарной характеристикой $Q_{HT} - H_T$ трубопроводов насоса при заданной геометрической высоте подачи H_A и заданном расходе жидкости $Q_A < Q_{A1}$, нагнетаемой насосом в случае дросселирования (рис. 1):

$$h_{\varphi} = H_A - H_B = H'_A - H_A. \quad (11)$$

2. Аналитически, о чем нет никаких сведений в технической литературе по насосам. С целью восполнения этого пробела ниже приводится вывод аналитических зависимостей по определению потери напора в прикрытой задвижке и ее гидравлического сопротивления при дросселировании, пользуясь уравнениями расходно-напорных характеристик центробежного насоса и трубопроводов.

Расход жидкости, подаваемой одиночным центробежным насосом в односторонний нагнетательный трубопровод, при полностью открытой задвижке определяется зависимостью [7,8]:

$$Q_{A1} = \sqrt{(H_{\Phi} - H_T) / (S_{\Phi} + S_T)}. \quad (12)$$

В случае дросселирования следует пользоваться зависимостью

$$Q_A = \sqrt{(H_{\Phi} - H_T - h_{\varphi}) / (S_{\Phi} + S_T)}, \quad (13)$$

где H_0 – фиктивный напор насоса при расходе жидкости $Q=0$, м; S_0 – фиктивное гидравлическое сопротивление насоса, $(с/м^3)^2.м$.

Значения H_0 и S_0 для центробежных насосов различных марок приводятся в специальной литературе по насосам [9,10].

Решая уравнение (13) относительно h_C , получим

$$h_C = H_0 - H_A - (S_0 + S_T) Q_A^2. \quad (14)$$

Зависимость (14) с учетом (12) можно представить в виде

$$h_C = (S_0 + S_T) (Q_{A_1}^2 - Q_A^2) \quad (15)$$

или

$$h_C = (H_0 - H_A) [1 - (Q_A / Q_{A_1})^2]. \quad (16)$$

Приравнявая правые части уравнений (8) и (14), будем иметь

$$S_C = (H_0 - H_A) / Q_A^2 - (S_0 + S_T) \quad (17)$$

или с учетом (12):

$$S_C = (S_0 + S_T) [(Q_{A_1} / Q_A)^2 - 1]. \quad (18)$$

Зависимости (16) и (18) удобно представить в виде безразмерных симплексов

$$h_C / (H_0 - H_A) = 1 - (Q_A / Q_{A_1})^2 \quad (19)$$

и

$$S_C / (S_0 + S_T) = [1 / (Q_A / Q_{A_1})]^2 - 1, \quad (20)$$

где значение отношения расхода жидкости, нагнетаемой центробежным насосом при дросселировании (Q_A), к таковой при полностью открытой задвижке (Q_{A_1}) колеблется в пределах $1 \geq Q_A / Q_{A_1} \geq 0$.

С целью графического изображения уравнений (19) и (20) определены значения их левой части для нескольких значений отношения расходов жидкости $Q_A / Q_{A_1} = X$.

Окончательные результаты расчетов сведены в табл.1.

Таблица 1

Q_A / Q_{A_1}	X	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6
$h_C / (H_0 - H_A)$	$1 - X^2$	0	0,19	0,36	0,438	0,51	0,64
$S_C / (S_0 + S_T)$	$(1/X)^2 - 1$	0	0,235	0,563	0,778	1,041	1,788

Продолжение табл. 1

0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0
0,75	0,84	0,91	0,938	0,96	0,978	0,99	1
3	5,25	10,111	15	24	43,444	98,913	∞

Кривые связи $h_{\text{с}}/(H_0 - H_{\text{г}}) = f_1(Q_{\text{А}}/Q_{\text{А}_1})$ и $S_{\text{с}}/(S_0 + S_{\text{т}}) = f_2(Q_{\text{А}}/Q_{\text{А}_1})$, построенные по данным табл. 1, представлены на рис. 3 в безразмерных координатах, что обеспечивает общность результатов в широком диапазоне параметров.

Определив по зависимости (12) расход жидкости, нагнетаемой насосом при полностью открытой задвижке ($Q_{\text{А}_1}$), можно для заданного отношения $Q_{\text{А}}/Q_{\text{А}_1}$ определить соответствующие значения $h_{\text{с}}$ и $S_{\text{с}}$ в каждом конкретном случае, пользуясь зависимостями (16) и (18) или соответствующими кривыми, приведенными на рис. 3.

Для наглядности рассмотрим решение числового примера для случая, когда одиночный центробежный насос работает совместно с однопиточным нагнетательным трубопроводом.

Пусть марка выбранного центробежного насоса Д 320-70 (прежняя марка 6НДс), фиктивные параметры расходно-напорной характеристики $Q_{\text{Н}} - H_{\text{Н}}$ которого: $H_0 = 92,6$ м и $S_0 = 0,0033$ (с/л)².м, а предельные расходы жидкости оптимальной области работы насоса: $Q_{\text{оп.об}} = (60-92)$ л/с. Соответствующий экономический диаметр однопиточного чугунного нагнетательного трубопровода, согласно таблице предельных расходов, при значениях экономического фактора $\Xi = 0,5 \dots 1$ будет $d_{\text{нт}} = 300$ мм, удельное гидравлическое сопротивление которого: $S_{\text{онт}} = 0,9485$ (с/м³)². Длина нагнетательного трубопровода, установленного вне здания насосной станции, $L_{\text{нт}} = 500$ м, а геометрическая высота подачи жидкости: $H_{\text{А}} = 45$ м.

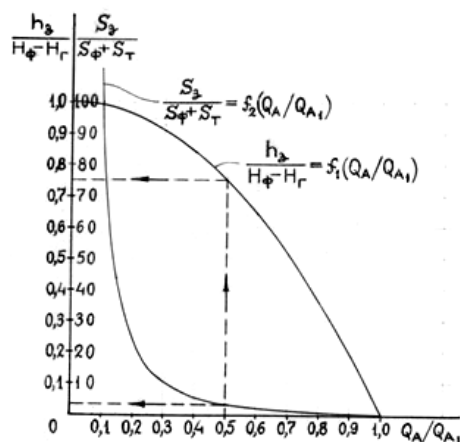


Рис. 3

Пренебрегая, с целью упрощения расчета, полными гидравлическими сопротивлениями всасывающего и нагнетательного трубопроводов, установленных внутри здания насосной станции, а также местными гидравлическими сопротивлениями нагнетательного трубопровода, установленного вне здания насосной станции, имеем

$$S_T \approx S_{HT} = K_{HT} S_{OHT} L_{HT} \cdot \quad (21)$$

Принимая, как первое приближение, значение поправочного коэффициента $K_{HT} = f(V_{HT}) = 1$ и подставляя соответствующие значения в (21), получим

$$S_T = 1 \cdot 0,9485 \cdot 500 = 474,25 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м.}$$

Расход жидкости, нагнетаемой центробежным насосом при полностью открытой задвижке, установленной в начале нагнетательного трубопровода, определится зависимостью (12). Подставляя соответствующие значения, получим

$$Q_{A_1} = \sqrt{(92,6 - 45) / (0,0033 + 474,25 / 10^6)} = 112,303 \text{ л/с.}$$

Пользуясь зависимостями (16) и (18), определим значения h_C и S_C для одного из значений отношения $1 \geq Q_A / Q_{A_1} \geq 0$, например, для $Q_A / Q_{A_1} = 0,3$. Подставляя соответствующие значения, получим

$$Q_A / Q_{A_1} = 0,3 \Rightarrow Q_A = 0,3 \cdot 112,303 = 33,691 \text{ л/с,}$$

$$h_C = (92,6 - 45) [1 - (33,691 / 112,303)^2] = 43,32 \text{ м,}$$

$$S_C = (0,0033 + 474,25 / 10^6) [(112,303 / 33,691)^2 - 1] = 0,0382 \text{ (с/л)}^2 \cdot \text{м.}$$

Окончательные результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Q_A / Q_{A_1}	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6	0,5
$h_C, \text{ м}$	0	9,04	17,14	20,83	24,28	30,46	35,7
$S_C, \text{ (с/л)}^2 \cdot \text{м}$	0	0,0009	0,0021	0,0029	0,0039	0,0067	0,0113

Продолжение табл. 2

0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0
39,99	43,32	44,63	45,7	46,53	47,08	47,6
0,0198	0,0382	0,0566	0,0906	0,164	0,3733	∞

Кривые связи $h_C = f_1(Q_A / Q_{A_1})$ и $S_C = f_2(Q_A / Q_{A_1})$, построенные по данным табл. 2, представлены на рис. 4.

Резюмируя вышеизложенное, отметим, что предложенными зависимостями (16) и (18), а также кривыми $h_C / (H_0 - H_A) = f_1(Q_A / Q_{A_1})$ и $S_C / (S_0 + S_T) = f_2(Q_A / Q_{A_1})$, построенными соответственно по (19) и (20), представленными на рис. 3 в безразмерных координатах, можно определить потерю напора (h_C) и гидравлическое сопротивление (S_C) в закрытой задвижке при любой марке центробежного насоса (H_0 и S_0), заданной геометрической высоте подачи жидкости (H_A), выбранном суммарном гидравлическом сопротивлении всасывающего и нагнетательных трубопроводов насоса (S_T) и принятом отношении расходов жидкости, нагнетаемой насосом при дросселировании и при полностью открытой задвижке (Q_A / Q_{A_1}).

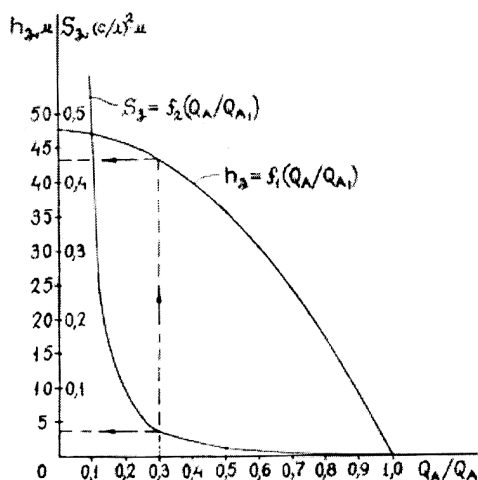


Рис. 4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угинчус А.А. Гидравлика и гидравлические машины.-Харьков, 1966.- 400 с.
2. Токмаджян В.О., Трозян Р.Е. Гидравлические машины и гидроприводы. – Ереван: Луйс, 1976.-196 с.(на арм.).
3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. –М.: Энергия, 1977. – 424 с.
4. Малюшенко В.В., Михайлов А.К. Энергетические насосы: Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 1981. – 199 с.
5. Кривченко Г.И. Гидравлические машины. –М.: Энергоатомиздат, 1983.-320 с.
6. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. –М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
7. Прегер Е.А. Аналитическое исследование параллельной работы насосов // Научные труды ЛИСИ. –1953. – Вып. 16. – С.32-46.
8. Хачатрян Р.М. Определение коэффициента редукции производительности параллельно работающих одинаковых центробежных насосов. // Исследования по гидро-технике и санитарной технике: Межвузовский тематический сборник научных трудов / ЕрПИ. –Ереван, 1984. – С. 64-70.
9. Ильин В.Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. –Киев: Госстройиздат УССР, 1963. –136 с.
10. Прегер Е.А. Аналитический метод исследования совместной работы насосов и трубопроводов канализационных насосных станций / ЛИСИ. –Л., 1974. –61 с.

ЕрГУАС . Материал поступил в редакцию 07.05.2004.

Ռ.Մ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՓԱԿԱՆՈՒՄ ՀԻԴՐԱՎԻԿԱԿԱՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՃՆՇՄԱՆ ԿՈՐՍՏԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՆՐԱ ԴՐՈՍԵԼԱՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ցույց է տրված, որ փականի դրոսեւացման դեպքում կենտրոնախույս պոմպի խողովակաշարերի գումարային բնութագրի հավասարման՝ պոմպերի վերաբերյալ տեխնիկական գրականության մեջ բերված վերլուծական և գրաֆիկական մեկնաբանությունները չեն համապատասխանում իրականությանը, քանզի հետևանք են դրոսեւացված փականի կենտրոնացված տեղական հիդրավիկական մեծ դիմադրությունը խողովակաշարերի երկարությամբ հավասարաչափ բաշխելու, որը հիդրավիկական տեսանկյունից անթույլատրելի է: Մինչդեռ, դրոսեւացված փականում ճնշման կենտրոնացված տեղական կորուստն առանձին հաշվի առնելու դեպքում, խողովակաշարերի իրական գումարային բնութագիրը, դրոսեւացման ցանկացած ելքի պարագայում կլինի գուցա հեռ փականի լրիվ բաց վիճակում խողովակաշարերի գումարային բնութագրին և կանցնի նրանից վերև՝ փականում դրոսեւացման տվյալ ելքին համապատասխանող ճնշման կորուստի չափով:

Ստացված են դրոսեւացման հետևանքով փականում առաջացող հիդրավիկական դիմադրությունը և ճնշման կորուստը որոշելու վերլուծական առնչություններ, ցանկացած մակնիշի կենտրոնախույս պոմպի՝ ցանկացած գումարային բնութագրեր ունեցող միաթել խողովակաշարերի հետ համատեղ աշխատանքի, հեղուկի տրման ցանկացած երկրաչափական բարձրության և դրոսեւացման արդյունքում պոմպի մղած հեղուկի ցանկացած ելքի դեպքում:

Առանցքային բառեր. խողովակաշարերի գումարային բնութագրի հավասարումը, լրիվ բաց փական, մասնակիորեն բաց փական, հիդրավիկական դիմադրություն, ճնշման կորուստ, դրոսեւացում, վերլուծական առնչություններ:

R.M. KHACHATRYAN

DETERMINATION OF THE HYDRAULIC RESISTANCE AND HEAD LOSS IN THROTTLED VALVE

It is shown that analytical and graphical equation interpretations of total characteristic pipelines of centrifugal pump, when the valve is throttled, cited in technical literature concerning the pumps, do not correspond to the reality, as they are a consequence of even distribution along the pipelines considerably concentrated local hydraulic resistance in throttled valve, which is inadmissible from hydraulic point of view. While, in case of throttled valve, the real total characteristic of pipelines, at any discharge of liquid delivery by pump when the valve is throttled, is parallel to the same one when the valve is fully open, being above it in size corresponding to head loss in throttled valve.

Analytical dependences for determination of the hydraulic resistance and head loss in throttled valve, when centrifugal pump at any mark works jointly with one-threaded pipelines at any total characteristic, are obtained, in case of any geometrical height and any discharge of liquid delivery by pump on condition the valve is throttled.

Keywords: equation of the total characteristic of pipelines, full-open valve, partial-open valve, hydraulic resistance, head loss, throttling, analytical dependences.

РАДИК МАРТИРОСОВИЧ МАРТИРОСЯН

К 70-летию со дня рождения

Радик Мартиросович Мартиросян родился 1 мая 1936 г. в селе Мадагис Мардакертского района Нагорно-Карабахской автономной области. Учился в местной средней школе, по окончании которой поступил на физико-математический факультет Ереванского государственного университета. В 1958г. с отличием окончил университет, получив специальность астрофизика.



В формировании Р.М. Мартиросяна как исследователя важнейшую роль сыграла встреча с всемирно известным ученым, лауреатом Нобелевской премии академиком Александром Михайловичем Прохоровым. В аспирантуре под руководством А.М. Прохорова Р.М. Мартиросян выполнил ряд исследований по созданию эффективных квантовых усилителей дециметрового диапазона длин волн. Радик Мартиросян является одним из пионеров применения квантовых усилителей в радиоастрономических исследованиях. Разработанный им квантовый усилитель на волне 21 см со связанными активными резонаторами был первым в Советском Союзе, успешно примененным в радиоастрономии. Будучи установленным на радиотелескопе РТ-22, он повысил чувствительность приемного комплекса в 7-8 раз в непрерывном спектре и в 15 раз в спектральных исследованиях, вследствие чего были получены новые результаты по структуре линий излучения водорода в Галактике и по топографии радиоизлучения крабовидной туманности.

После успешной защиты кандидатской диссертации в 1964 г. Р.А. Мартиросян поступил в Институт радиофизики и электроники (ИРФЭ) АН Армении, где создал новое научное направление по поиску и исследованию новых активных веществ, необходимых для создания высокоэффективных квантовых усилителей в различных диапазонах электромагнитных волн сверхвысоких частот.

Р.М. Мартиросяном предложены и реализованы новые пути повышения эффективности квантовых усилителей, такие как применение в дециметровом диапазоне связанных резонаторов, в сантиметровом и миллиметровом – полностью заполненных активным веществом волноводных отрезков частотной модуляции накачки.

Разработанный Р.М. Мартиросяном волноводный квантовый усилитель на волне 1,35 см, успешно примененный на крупнейшем радиотелескопе РАТАН-600, повысил чувствительность приемного комплекса в 14 раз. С его помощью исследовано радиоизлучение ряда космических лазерных источников, получены новые научные данные, выявляющие их физические свойства.

Цикл работ Р.М. Мартиросяна, посвященных фундаментальным исследованиям физических основ квантового усиления в миллиметровом диапазоне, удостоен Государственной премии Украины 1989 г. в области науки и техники.

Под научным руководством Р.М. Мартиросяна ИРФЭ принимал активное участие в выполнении ряда международных и союзных программ. Высокочувствительная радиоприемная аппаратура, созданная ИРФЭ, широко применялась в программах по изучению природных ресурсов “Природа” и “Океан”, а также для исследований тепловых контрастов, радиоастрономических и медикобиологических исследований.

Весьма плодотворным было участие в программе “Интеркосмос” по исследованию космического пространства, в частности в проекте “Вега”. Аппаратура, разработанная в ИРФЭ, была успешно использована при создании и эксплуатации радиоинтерферометра со сверхдлинной базой, благодаря чему удалось достичь высокой точности измеренной траектории движения аэростатных зондов в атмосфере Венеры.

Работы Р.М. Мартиросяна и его учеников по разработке и внедрению высокочувствительных приемных систем удостоены в 1988 г. Государственной премии Армении в области науки и техники.

С 1987 г. в ИРФЭ под руководством Р.М. Мартиросяна велись фундаментальные и прикладные исследования в области высокотемпературной сверхпроводимости. Впервые обнаружено интенсивное квазимонохроматическое собственное излучение в сверхвысокочастотном диапазоне в мостиковых пленочных структурах из высокотемпературного сверхпроводника.

Наряду с плодотворной научной деятельностью Р.М. Мартиросян занимается также педагогической деятельностью. С 1965г. он преподает в Ереванском государственном университете (ЕГУ), читает общие и специальные курсы по радиофизике. По его инициативе в 1983 г. на факультете радиофизики ЕГУ была организована кафедра радиофизики сверхвысоких частот, которой он руководил до 1986 года.

В 1993 г. академик Р.М. Мартиросян был назначен ректором Ереванского государственного университета. За короткий срок им были разработаны программы по преодолению трудностей, связанных с материально-технической базой образования и научных исследований, а также по подготовке кадров высокой квалификации. В 1995-1996 учебном году ЕГУ перешел на двухступенчатую систему образования, что способствовало интеграции в Европейскую систему образования. За годы руководства Р.М. Мартиросяна в университете были открыты новые факультеты и специальности, число студентов увеличилось вдвое. Благодаря многочисленным договорным связям с университетами Европы, США и других стран ЕГУ принимает активное участие в международных научно-образовательных программах.

Р.М. Мартиросян является автором более 200 научных статей и 3 монографий, две из которых изданы в Швеции и США. Научная, педагогическая и организационная деятельность Р.М. Мартиросяна отмечена высокими правительственными наградами.

В мае 2006 г. Р.М. Мартиросян был избран президентом НАН РА.

Редакция журнала, многочисленные друзья и коллеги желают главному редактору журнала "Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН", выдающемуся ученому и прекрасному человеку, находящемуся в расцвете творческих сил, новых успехов в развитии отечественной науки.

ՅՈՒՐԻ ԼԵՎՈՆԻ ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Ծննդյան 65 - ամյակի առթիվ

Լրացավ մեքենագիտության և ռոբոտատեխնիկայի ասպարեզի ականավոր գիտնական, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս Յուրի Լևոնի Սարգսյանի 65 - ամյակը:

Յուրի Սարգսյանը ծնվել է 1941 թվականին Երևանում: 1962թ. ավարտել է Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի մեխանիկամեքենաշինական ֆակուլտետը: 1964թ. ընդունվել է Մոսկվայի քիմիական մեքենաշինության ինստիտուտի ասպիրանտուրան “Մեխանիզմների, մեքենաների և ավտոմատ գծերի տեսություն” մասնագիտության գծով: 1967 թ. Մոսկվայի հանրահայտ մեքենագիտության պետական ինստիտուտում ժամկետից մեկ տարի շուտ պաշտպանել է թեկնածուական ատենախոսությունը, իսկ 1975 թվականին՝ դոկտորական ատենախոսությունը: Երկու տարի անց նրան շնորհվել է պրոֆեսորի գիտական կոչում:



1971-1972 թվականներին անցել է գիտական փորձառություն Ստենֆորդի և Իլինոյսի համալսարաններում, իսկ 1977-78 թվականներին նույն համալսարաններում աշխատել է որպես հրավիրված պրոֆեսոր:

Սկսելով իր աշխատանքային գործունեությունը Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում որպես ասիստենտ, Յուրի Սարգսյանն այնուհետև անցել է փայլուն ուղի՝ դոցենտ, պրոֆեսոր, ամբիոնի վարիչ: 1988 թ. ընտրվել է Երևանի պոլիտեխնիկական

ինստիտուտի, ապա՝ Հայաստանի պետական Ճարտարագիտական համալսարանի ռեկտոր և այդ պաշտոնը վարել 18 տարի անընդմեջ, դառնալով Պոլիտեխնիկի ամենաերկարակյաց ռեկտորներից մեկը:

Կրթական ասպարեզի ականավոր գործչի անմիջական ղեկավարությամբ Հայաստանի պետական Ճարտարագիտական համալսարանն առաջինը ԱՊՀ երկրների տարածքում անցավ լիակատար բազմաստիճան կրթական համակարգին՝ ստեղծելով առաջանցիկ իրավական – ծրագրային հիմք:

Յուրի Սարգսյանը հեղինակ է ավելի քան 150 գիտական աշխատությունների, այդ թվում՝ 5 մենագրությունների, 30 գյուտերի և 6 պատենտների: Աշխատությունները նվիրված են մեխանիզմների սինթեզի տեսությանը և ավտոմատացված նախագծմանը, տարածական մեխանիզմների տեսությանը, ռոբոտատեխնիկական համակարգերի մեխանիկային, մեխանիզմների, ռոբոտների և ավտոմատացված համալիրների նոր տիպերի ստեղծմանը: Հետազոտությունների արդյունքները ներկայացվել են մեխանիզմների և մեքենաների տեսության համաշխարհային II-X, Ամերիկյան ինժեներ-մեխանիկների ընկերության համաժողովներում, ԽՍՀՄ-ում տեսական և կիրառական մեխանիկային, մեխանիզմների և մեքենաների տեսությանը նվիրված համագումարներում, միջազգային այլ գիտաժողովներում:

Ընդհանրացնելով մեխանիզմների սինթեզի դասական երկրաչափական ուղղությունը (Բուրմեստեր-Շյոնֆլիսի տեսություն) շարժման մոտավոր վերարտադրության դեպքի համար, Յու.Սարգսյանը հիմնել է մեխանիզմների սինթեզի տեսության սկզբունքորեն նոր ուղղություն՝ ապրոքսիմացիոն կինեմատիկական երկրաչափություն, որը ստացել է միջազգային լայն ճանաչում, իսկ համապատասխան տերմինը պաշտոնապես ընդգրկվել է մեխանիզմների և մեքենաների տեսության միջազգային տերմինաբանական ստանդարտում:

Ապրոքսիմացիոն կինեմատիկական երկրաչափությունը կինեմատիկական երկրաչափության ինքնուրույն ճյուղ է, որն ուսումնասիրում է շարժման մոտավոր վերարտադրությանն առավել ապրոքսիմացիոն խնդիրների հատուկ դասը: Ուղղության տեսական հիմունքները շարադրված են հեղինակի "Аппроксимационный синтез механизмов" մենագրությունում (М., Наука, 1982), իսկ նոր տեսական ապարատի հիմքի վրա ստեղծված մեխանիզմների ապրոքսիմացիոն սինթեզի մեթոդաբանությունը և ունիվերսալ ալգորիթմական մեթոդները՝ "Кинематика, динамика и точность механизмов" -сшбхIII (Серия "Основы конструирования машин", М., Машиностроение, 1984): Պրոբլեմի կարևորության և մեխանիզմների սինթեզի հայկական դպրոցի նվաճումների միջազգային ճանաչման մասին է վկայում այն փաստը, որ մեխանիզմների և մեքենաների տեսության համաշխարհային VIII համաժողովի (Պրահա, 1991թ.) հինգ պլենար նիստերից մեկը, որտեղ հիմնական զեկուցողը Յու.Սարգսյանն էր, նվիրված էր տարածական մեխանիզմների կինեմատիկական սինթեզի ապրոքսիմացիոն խնդիրների վերլուծությանը:

Մեխանիզմների սինթեզում վերջավոր չեֆիշյան մոտարկումների կիրառության ասպարեզում ձեռք բերած խոշոր տեսական արդյունքների համար Յու.Սարգսյանն արժանացել է Ամերիկյան ինժեներ-մեխանիկների ընկերության՝ լավագույն աշխատանքի համար սահմանած մրցանակին, ինչպես նաև՝ «Պրոկտոր և Գեմբլ» ընկերության հատուկ մրցանակին՝ տեսական արդյունքների կիրառության հեռանկարայնության համար:

Հետազոտական աշխատանքները, որոնք Յու.Սարգսյանի ղեկավարությամբ կատարվել են Հայաստանի պետական Ճարտարագիտական համալսարանում մեխանիզմների տեսության, ռոբոտ-մանիպուլյատորների մեխանիկայի, պրեցիզիոն

թրթռամեխանիկական համակարգերի, միկրոմանիպուլյատորների, խողովակազուցման սարքավորման ուսումնասիրության և նախագծման բնագավառներում, բազմաբնույթ կիրառություններ են գտել հատուկ նշանակության կառավարման համակարգերի (ԳՀԻ, Ալտաիր), խողովակների սառը զլոցման հաստոնների (Գլագովի, Ալմա-Աթայի, Չեպելի ծանր մեքենաշինության գործարաններ), կիսահաղորդչային սարքերի արտադրության ավտոմատացման միջոցների (կիսահաղորդչային տեխնիկայի Երևանի հատուկ նախագծային-կոնստրուկտորական բյուրո) և այլ սարքերի ստեղծման ժամանակ, արժանացել պարգևների տարբեր մրցույթներում և ցուցահանդեսներում: Նրա բազմամյա հիմնարար և կիրառական հետազոտությունների արդյունքում համալսարանում ստեղծվել է ինչպես ԱՊՀ-ի տարածքում, այնպես էլ նրա սահմաններից դուրս առավել հայտնի գիտական դպրոցներից մեկը մեխանիզմների սինթեզի ասպարեզում: Հենց այդ տարիներին էլ այստեղ ձևավորվել էր հայ մեքենագետ-գիտնականների շնորհաշատ նոր սերունդը:

Յու.Սարգսյանի գիտական ղեկավարությամբ պաշտպանվել են մի շարք թեկնածուական և դոկտորական ատենախոսություններ Ռուսաստանում, ԱՄՆ-ում, Ուկրաինայում, Ղազախստանում: Մեքենագիտության ասպարեզում նրա հիմնադրած ուղղությունն այսօր էլ ունի բազմաթիվ հետևորդներ:

Արժեքավոր են նաև Յու.Սարգսյանի մի շարք աշխատությունները ինժեներական կրթության մեթոդաբանության, գիտական քաղաքականության և բարձրագույն կրթության ստրատեգիական պլանավորման ասպարեզներում: Կրթության ասպարեզում ակնառու ներդրումների համար 2002-ին Յու. Սարգսյանն արժանացել է Հայ կրթական հաստատության (ԱՄՆ, Լոս Անջելես) տարվա մրցանակին:

Իր ծանրակշիռ գիտական վաստակի համար Յու.Սարգսյանը 1986 թ. ընտրվել է ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ, իսկ 1996թ-ին՝ իսկական անդամ:

Յու.Սարգսյանը վարում է նաև ակտիվ գիտական-հասարակական գործունեություն: 1989 թվից ՀՀ ԳԱԱ նախագահության, իսկ 1991 թվից՝ մեխանիզմների և մեքենաների տեսության միջազգային ֆեդերացիայի (IFTToMM) գործադիր խորհրդի անդամ է: 1994թ. ընտրվել է Միջազգային ինժեներական ակադեմիայի թղթակից-անդամ, իսկ 1995թ.՝ իսկական անդամ: Հանրապետական և արտասահմանյան մի քանի գիտական հանդեսների խմբագրական կոլեգիաների անդամ է: Յու.Սարգսյանը մեխանիզմների և մեքենաների տեսության միջազգային տերմինաբանական ստանդարտի հեղինակներից մեկն է: Նա ՀՀ ԲՈՀ-ի խորհրդի անդամ է և մեքենագիտության ու մեքենաշինության աստիճանաշնորհող խորհրդի նախագահը:

1995թ. օգոստոսին Միլանում տեղի ունեցած IFTToMM-ի IX համաշխարհային համաժողովում Յու.Սարգսյանին շնորհվել է IFTToMM-ի հատուկ մրցանակը՝ մեխանիզմների և մեքենաների տեսության ասպարեզում ակնառու ծառայությունների համար: Պարգևատրվել է Պատվո և Սուրբ Մեսրոպ Մաշտոցի շքանշաններով, Անանիա Շիրակացու մեդալով:

Յու.Սարգսյանը նաև ճանաչված հասարակական և պետական գործիչ է: 1990-1995 թվականներին ընտրվել է ՀՀ Գերագույն խորհրդի պատգամավոր և Սահմանադրական հանձնաժողովի անդամ:

Տեղեկագրի խմբագրական կոլեգիան և բազմաթիվ գործընկերները, շնորհավորելով ականավոր գիտնականին ծննդյան 65-ամյակի առթիվ, մաղթում են նրան քաջառողջություն, երկար տարիների բեղմնավոր ու հայրենանվեր գործունեություն:

ВОСТАНИК ЗАВЕНОВИЧ МАРУХЯН

К 60-летию со дня рождения

Известному специалисту и ученому в области энергетики профессору Востанику Завеновичу Марухяну – 60 лет.



Вся его трудовая деятельность неразрывно связана с Ереванским политехническим институтом (ныне Государственным инженерным университетом Армении - ГИУА). Войдя в стены этого прославленного вуза еще в 1964 г., он до сих пор работает в нем и предан любимому делу воспитания и подготовки высококвалифицированных специалистов, пройдя путь от студента, аспиранта, ассистента - до ректора ГИУА.

Круг научных интересов проф. В.З. Марухяна охватывает вопросы оптимизации рабочих режимов современных АЭС и ТЭС, имеющих первостепенное значение для жизнеобеспечения всех сфер деятельности республики. Эти разработки тесно связаны с созданием эффективных систем охлаждения и сбережения водных ресурсов,

которые освещены в более чем ста научных статьях проф. В.З. Марухяна, опубликованных у нас в республике и ряде зарубежных стран. В разное время (1978-2001 гг.) он стажировался и вел совместную научную работу с ведущими учеными университетов и исследовательских центров Венгрии, Греции, Франции и Швеции. Его монография “Экологическая культура личности: Пути формирования и средства воспитания и образования”, написанная совместно с А. Овсепяном, освещающая проблемы современной экологии, получила широкое признание.

В.З. Марухян является руководителем исследовательской группы в области энергетики, где разрабатываются и реализуются насущные проблемы теплоэнергетики и природоохранных мероприятий в Республике Армения. Под его руководством подготовили и защитили кандидатские диссертации 4 аспиранта, а еще несколько готовятся к защите.

В.З. Марухян совмещает научную работу с организационно-управленческой деятельностью. Он является председателем экспертной комиссии научно-технического Совета Министерства энергетики РА, членом проблемного научного Совета НАН РА по энергетике, а также редколлегии ряда научно-технических журналов Армении. Под его руководством в ГИУА создан Центр радиационной безопасности под эгидой департамента энергетики США.

Примечательной чертой научно-педагогической деятельности Востаника Марухяна является активное вовлечение студентов, магистрантов и аспирантов департамента энергетики ГИУА в исследовательские работы руководимой им кафедры и указанного Центра, что в значительной степени повышает уровень подготовки специалистов и будущих научных работников.

Основная сфера его многосторонней деятельности - организация учебного процесса и учебно-методическая работа в области высшего профессионального образования.

В.З. Марухян - автор учебника и 11 учебных пособий. Он является одним из руководителей и активным участником реформы профессионального образования в Армении. Будучи длительное время проректором ГИУА, под его началом и при его непосредственном участии был разработан и внедрен пакет нормативных документов, регулирующих учебный процесс многоуровневой системы профессионального образования и ставших основой для организации этого же процесса в других вузах республики.

Его врожденное чувство системного подхода к вопросам управленческого и законодательного характера полнее проявилось на государственной службе (1999 г. – зам. министра образования и науки).

РА) и в общественно-политической сфере (с 2003 г. – депутат Национального Собрания РА). Являясь членом постоянной комиссии НС по государственно-законодательным вопросам и временной комиссии по вопросам интеграции в европейские структуры, он выступил с 22 законодательными инициативами и является содокладчиком по разработке проекта реформы Конституции РА.

В.З. Марухян – потомственный интеллигент, обладающий широкой эрудицией в различных областях гуманитарных и прикладных наук, умело сочетающий общественные интересы с человеческим фактором. Его умение прислушиваться к мнению коллег заставляет даже оппонентов уважительно относиться к его предложениям и распоряжениям управленческого характера. Это и является его основным достоинством, необходимым для успешной деятельности на новом поприще.

Проф. В. Марухян находится на подъеме своих исследовательских и управленческих возможностей. Научно-техническая общественность республики с удовлетворением приняла его новое назначение и с его помощью надеется на дальнейшее развитие кузницы инженерных кадров – ГИУА.

Редколлегия журнала “Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН” присоединяется к добрым пожеланиям общественности и желает проф. В.З. Марухяну успешной научной работы и процветания руководимого им вуза.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Գ.Լ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Հ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Վ.Գ.

ԱՐՏԱՔԻՆ ՓԱՓՈԻԿ ՇԵՐՏՈՎ ԵՐԿՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՁՈՂԻ ՄԱՍԼՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄ **251**

ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ն.Ե., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ն.Ն.

ՃԱՆԱՊԱՐՀԱԾԱԾԿՈՒՅԹԻ ՏԵՍԱԿԻ ԵՎ ՇԱՐԺՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵ-
ՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՓՈԽԱԴՐՎՈՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՏԱՐՐԱՊԱՏԿԵՐԻ ՀԱՃԱԽԱՅՆՈՒԹՅԱՆ
ԿԱՊԻ **259**

ՊԱՊՈՅԱՆ Ա.Ո.

ՊԱՐԱԲՈԼԱՅԻՆ ՄԱՀՔԻ ՀԵՆԱՐԱՆՆԵՐԻ ԵՐԿՐԱՉԱՓԱԿԱՆ
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ **266**

ԲԵԼԼՈՒՅԱՆ Զ.Ա., ԲԵԼԼՈՒՅԱՆ Ս.Զ.

ԱՌԱՆՑՔԱԿԱԼԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑԻ ԵՎ ՍԻՆԽՐՈՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ
ԱՐԱԳԱՅՎԱԾ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ **271**
ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Մ.Ա., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Տ.Մ.

ՀՂԿԱՆՅՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ
ԳՈՐԾՈՆԻ **279**

ՄԱՍԻՆ.....

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Մ.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա., ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ Հ.Մ.

ՊԹՔ ՄԱԿՆԻՇԻ ՊՈՂՊԱՏԻ ՄԽՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՆԱԻՐԻՏԱՅԻՆ ԼԱՏԵՔՄԻ ԶՐԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ **285**

ՏՈՆՈՅԱՆ Ա. Հ., ՊՈՂՈՍՅԱՆ Մ.Գ., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Գ., ՔՐԻՍԹՈՅ ՇԻՔ, ԴԱՎԹՅԱՆ Ս. Պ.

ԲՅՈՒՐԵՂԱՑՄԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱ ՈՉ ԻԶՈԹԵՐՄԻԿ ՊՈԼԻՄԵՐԱՑՄԱՆ
ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ..... **293**

ՊՈՂՈՍՅԱՆ Մ.Ա., ՄԿՐՏՉՅԱՆ Լ.Հ., ԳԵՕՔՉՅԱՆ Օ.Ղ., ՄԱՎՉԵՆԿՈ Լ.Մ.

ԱՊԱԿԵԾԱԾԿՈՒՅԹԻ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄ ՏԵՂԱԿԱՆ ՀՈՒՄՔԻ
ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՍԲ՝ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԲՆԱԿԱՆ ՔԱՐԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՄՆԵՐԻ
ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ..... **301**

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Կ.Գ.

ԳՈՐԾԻՔՆԵՐԻ ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿԱՐԾՐ
ՀԱՄԱԶՈՒԼՎԱԾՔԵ ԹԻԹԵՂԻԿՆԵՐԻ ԾԱԿՈՏԿԵՆՈՒԹՅՈՒՆԻՑ ԵՎ
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅԱՆ **305**

ԽՈՐԴՈՒԲՈՐԴՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻՑ.....

ԱՅՐԻԿՅԱՆ Տ.Հ.

ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՎԱԾ ՀԱՏԻԿՆԵՐՈՎ ԱՐՏԱՄՂՎԱԾ ՀՂԿԱՍԿԱՎԱՌԱԿՆԵՐԻ ԲԱՆՎՈՐԱԿԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՄԻԿՐՈՊՐՈՑԻԼԸ.....	312
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ԱՂԱՄՅԱՆ Տ.Ս., ՄԱՍՈՒՆՅԱՆ Ս.Է.	
ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐԿԱԹԻ ԵՎ ՊՂՆՁԻ ՍՈՒԼՖԻԴՆԵՐԻ ՌԵԱԿՑԻՈՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ	318
.....	
ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ Ա.Ռ.	
ՇԱՀՈՒՍՅԱՆԻ ՈՍԿԻ-ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐՈՒՄ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՀԱՆՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՌԱՅԻՈՆԱԼԱՑՈՒՄ	324
ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Ս.Գ.	
ՄԻՋԻԱՑՈՒՑԻՉ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ԾԱՎԱԼԻ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ	330
.....	
ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ Լ.Վ., ՄԱՅԱՐՅԱՆ Վ.Ս., ՂԱԶԱՐՅԱՆ Գ.Վ.	
ՌԵԱԿՏԻՎ ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՍԲ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ	337
.....	
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ. Ս., ԲԱԴԱԼՅԱՆ Ն. Պ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Կ. Վ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ս. Է.	
ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ	345
ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ Գ.Գ., ՄԱՐՏՈՅԱՆ Գ.Ա., ԶԱՌԱՆՅԱՆ Ա.Վ.	
ՆՈՐ ԷԼԵԿՏՐՈԼԻՏԻԿ ՄԵԹՈԴԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ PWR ՏԵՍԱԿԻ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ԵԶՐԱԳԾՈՒՄ.....	356
ԹԱԹԻԿՅԱՆ Տ.Ս.	
ԶԷԿ-Ի ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՌԵԺԻՄԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ԲՆԱՊԱՀՊԱՆԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴԳՐԿՄԱՍԲ.....	362
ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Ա.	
ՀԱԷԿ-Ի ՏՈՒՐԲՈՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՍԲ.....	368
ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ Ս.Ք., ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Ա.Ս.	
ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՅԻ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՅՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԲԵՌՆՎԱԾՔԸ.....	372
ՂԱԶԱՐՅԱՆ Վ.Կ.	
ՀԱՐԹ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿՈՃԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻՑ ԲԱՂԿԱՑԱԾ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ	379
ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ս.Հ.	

ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿ ԹՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՑԱՆՑԱՅԻՆ ԿԱՊՈՒՂԻՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ՕՏԱՈՐԾՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ RTP ՀՈՍՔԵՐԻ ՄՈՒԼՏԻՊԼԵՔՍԱՎՈՐՄԱՆ ՄԻ ՄԵԹՈԴԻ ՄԱՍԻՆ	386
---	-----

.....

ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ Գ.Շ.

ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎ ՏԱՐՐԵՐԻ ԴԵՐԸ Si(113) ՀԱՐԹԱԿՆԵՐԻ ՎՐԱ Ge - Ի ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԵՎ ՆԱՆՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԵՏԵՐՈՒՊԻՏԱՔՍԻԱԼԱՅԻՆ ԱՃԵՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ	394
---	-----

ԹԵՐԶՅԱՆ Հ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Գ.Գ.

ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄ ԱՌԱՆՁՆՑԱԿՆԵՐԻ ՄՈՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԿԱՑՈՒԹՅԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ	399
---	-----

.....

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս. Հ., ԲԱԴԱՆՅԱՆ Լ. Ա.

ՈՉ ԱՎՏՈՆՈՄ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ԿԵՂԾ ՀԱԿԱԴԱՐՁՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ
ՆՄԱՆԱԿՆԵՐԸ՝ ՀԻՄՆՎԱԾ ԳՐԱՄՄ-ՇՄԻՂՏԻ ՕՐԹՈԳՈՆԱԼԱՅՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԻ ԵՎ ՊՈԽՈՎԻ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ 406

.....

ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ա. Ս., ԱՄԱՏՈՒՆԻ Գ. Ա.

CANDLE -Ի ԳԾԱՅԻՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ԳԲՀ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ 418

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ռ. Մ.

ՓԱԿԱՆՈՒՄ ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՃՆՇՄԱՆ
ԿՈՐՍՏԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՆՐԱ ԴՐՈՍԵԼԱՅՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ..... 423

ՌԱԴԻԿ ՄԱՐՏԻՐՈՍԻ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԾՆՆԴՅԱՆ 70 - ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ 434

ՅՈՒՐԻ ԼԵՎՈՆԻ ՄԱՐԳՍՅԱՆ

ԾՆՆԴՅԱՆ 65 - ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ..... 437

ՈՍՏԱՆԻԿ ԶԱՎԵՆԻ ՄԱՐՈՒԹՅԱՆ

ԾՆՆԴՅԱՆ 60 - ԱՄՅԱԿԻ ԱՌԹԻՎ. 440

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ПЕТРОСЯН Г.Л., ХАЧАТРЯН Г.Г., ПЕТРОСЯН В. Г.</i>	
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ С МЯГКИМ ВНЕШНИМ СЛОЕМ	251
<i>САРКИСЯН Н.Е., САРКИСЯН Н.Н.</i>	
ВЛИЯНИЕ ТИПА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЧАСТОТНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕ- ЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ	259
<i>ПАПОЯН А.Р.</i>	
РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ	266
<i>БЕЛЛУЯН З.А., БЕЛЛУЯН С.З.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ПРИ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЯХ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ И СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ	271
<i>ГРИГОРЯН М.А., ГРИГОРЯН Т.М.</i>	
О ФАКТОРЕ, ВЛИЯЮЩЕМ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ	279
<i>АГБАЛЯН С.Г., ПЕТРОСЯН А.А., СТЕПАНЯН А.М.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ СТАЛИ МАРКИ ХВГ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАИРИТОВОГО ЛАТЕКСА	285
<i>ТОНОЯН А.О., ПОГОСЯН М.Г., САРГСЯН А.Г., КРИСТОФ ШИК, ДАВТЯН С.П.</i>	
О КИНЕТИКЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ.....	293
<i>ПОГОСЯН М.А., МКРТЧЯН Л.А., ГЕОКЧЯН О.К., САВЧЕНКО Л.М.</i>	
РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКЛОПОКРЫТИЙ НА ПРИРОДНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КАМНИ АРМЕНИИ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ	301
<i>КАРАПЕТЯН К.Г.</i>	
ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ОТ ПОРИСТОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН ...	305
<i>АФРИКЯН Т.Г.</i>	
МИКРОПРОФИЛЬ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ЗЕРНАМИ	312
<i>МАРТИРОСЯН В.А., АГАМЯН Т.С., САСУНЦЯН М.Э.</i>	
ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ СУЛЬФИДОВ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ	318

МОВСИСЯН А.Р.	
РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОБЫЧИ РУДЫ НА ШАУМЯНСКОМ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТО- РОЖДЕНИИ	324
МАРУХЯН В.З., КАЗАРЯН М.Г.	
РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ РАСЧЕТНОГО АЛГОРИТМА ОБЪЕМА УСРЕДНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	330
ЕГИАЗАРЯН Л. В., САФАРЯН В.С., КАЗАРЯН Г. В.	
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	337
ХАЧАТРЯН В. С., БАДАЛЯН Н. П., ХАЧАТРЯН К. В., ГРИГОРЯН С.Э.	
РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	345
НАЛБАНДЯН Г.Г., МАРТОЯН Г.А., ЗАРАНЦЯН А.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА В ПЕРВОМ КОНТУРЕ РЕАКТОРОВ ТИПА PWR	356
ТАТИКЯН Т.С.	
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТЭС С УЧЕТОМ ПРИРОДООХРАННЫХ ФАКТОРОВ.....	362
САРГСЯН А.А.	
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВКИ ААЭС МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ	368
БАГДАСАРЯН М.К., АВЕТИСЯН А.М.	
ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ	372
КАЗАРЯН В.К.	
РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ С ПЛОСКИМИ КАТУШКАМИ	379
ВАРДАНИЯН М.Г.	
ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ RTP ПОТОКОВ С ЦЕЛЬЮ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТЕВЫХ КАНАЛОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ	386
ШМАВОНЯН Г.Ш.	
РОЛЬ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ГЕТЕРО- СТРУКТУРНОМ РОСТЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУР Ge НА ПОДЛОЖКАХ Si(113)	394
ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., САРКИСЯН Г.Г.	
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОНЯТИЯ БЛИЗОСТИ ОСОБЕЙ	399

СИМОНЯН С.О., БАДАЛЯН Л.А.	
АНАЛОГИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕАВТОНОМНЫХ ПСЕВДООБРАТНЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ ГРАММА-ШМИДТА И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПУХОВА	406
ВАРДАНИЯН А.С., АМАТУНИ Г.А.	
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ CANDLE	418
ХАЧАТРЯН Р.М.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОТЕРИ НАПОРА В ЗАДВИЖКЕ ПРИ ЕЕ ДРОССЕЛИРОВАНИИ	423
РАДИК МАРТИРОСОВИЧ МАРТИРОСЯН	
К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	434
ЮРИЙ ЛЕВОНОВИЧ САРКИСЯН	
К 65- ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	437
ВОСТАНИК ЗАВЕНОВИЧ МАРУХЯН	
К 60- ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	440

CONTENTS

PETROSYAN G.L., KHACHATRYAN H.H., PETROSYAN V.G. COMPUTER MODELLING OF BIMETALLIC BAR PRESSING PROCESS WITH SOFT EXTERNAL LAYER	251
SARGSYAN N.E., SARGSYAN N.N. INFLUENCE OF THE ROADWAY COVERING TYPE AND RATE OF MOTION ON STATISTICAL DISTRIBUTION SPECTRUM FREQUENCY DEPENDENCE OF TRANSPORTED STRUCTURE RANDOM STRESSES	259
PAPOYAN A.R. GEOMETRICAL PARAMETER DESIGN OF PARABOLIC SLIPPING SUPPORT	266
BELLUYAN Z.A., BELLUYAN S.Z. SOME EXPERIMENTS ON BEARING UNIT WINDINGS OF SYNCHRONIC GENERATORS' RELIABILITY.....	271
GRIGORYAN M.A., GRIGORYAN T.M. ON FACTORS INFLUENCING DURABILITY OF ABRASIVE TOOLS	279
AGHBALYAN S.G., PETROSYAN A.A., STEPANYAN H.M. STUDIES ON QUENCHING PROCESS OF STEEL XBГ IN AGUEOUS SOLUTION OF NAIRIT LATEX.....	285
TONOYAN A.H., POGHOSYAN M.G., SARGSYAN A.G., CHRISTOPH SCHICK, DAVTYAN S. P. CRYSTALLIZATION KINETICS IN THE NONISOTHERMIC POLYMERIZATION.....	293
POGHOSYAN M.A., MKRTCHYAN L.A., GEOKCHYAN O.C., SAVCHENKO L.M. GLASS COVERING COMPOSITION DEVELOPMENT ON NATURAL BUILDING STONES IN ARMENIA BASED ON LOCAL RAW MATERIAL	301
KARAPETYAN K.G. DEPENDENCE OF INSTRUMENT DURABILITY ON POROSITY AND SURFACE ROUGHNESS OF CARBIDE PLATE	305
AFRIKYAN T.H. RASP-DISK WORKING SURFACE MICROPROFILE ORIENTED BY EXTRUDED DIAMOND GRANULES.....	312
MARTIROSYAN V.H., AGHAMYAN T.S., SASUNTSYAN M.E. MECHANO-CHEMICAL IMPACT INVESTIGATION ON COPPER AND IRON SULFIDE CHEMICAL ACTIVITY.....	318

MOVSISYAN A.R. TECHNOLOGICAL PARAMETER RATIONALIZATION ON SHAHUMYAN GOLD-POLYMETALLIC DEPOSITS	324
MARUKHYAN V. Z., GHAZARYAN M.G. DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF VOLUME CALCULATION ALGORITHM OF AVERAGING PLANT.....	330
EGHIAZARYAN L.V., SAFARYAN V.S., GHAZARYAN G.V. ELECTROPOWER SYSTEM RATES OPTIMIZATION BY REACTIVE POWER STREAMS MANAGEMENT.....	337
KHACHATRYAN V. S., BADALYAN N. P., KHACHATRYAN K.V. GRIGORYAN S.E. NONLINEAR ALGEBRAIC EQUATION SYSTEM SOLUTION OF THE ESTABLISHED ELECTROPOWER SYSTEM MODE.....	345
NALBANDYAN G.G., MARTOYAN G.A., ZARANTSYAN A.V. NEW ELECTROLYTIC METHOD APPLICATION IN THE FIRST CIRCUIT OF PWR TYPE REACTORS.....	356
TATIKYAN T.S. OPTIMIZATION OF THE TPP OPERATING MODE TAKING INTO ACCOUNT THE ENVIRONMENTAL FACTORS	362
SARGSYAN A.A. OPTIMIZATION OF ANPP TURBOPLANT WORKING CONDITIONS BY MATHEMATICAL MODELLING.....	368
BAGHDASARYAN M.K., AVETISYAN A.M. DYNAMIC LOADS IN ELECTRIC DRIVE SYSTEM OF ORE GRINDING MILL.....	372
GHAZARYAN V.K. CALCULATION OF PULSED ELECTROMAGNETIC PLANE COIL GUN	379
VARDANYAN M.H. ON A METHOD OF MULTIPLEXING RTP FLOWS FOR EFFECTIVE USAGE OF NETWORK CHANNELS WITH LIMITED CAPACITY.....	386
SHMAVONYAN G.SH. THE ROLE OF SURFACE ACTIVE SPECIES IN HETEROEPITAXIAL GROWTH OF Ge THIN FILMS AND NANOSTRUCTURES ON Si(113) SUBSTRATES.....	394
TERZIAN H.A., SUKIASYAN H.S., SARGSYAN G.G. GENETIC ALGORITHM OF DECISION MAKING USING CONCEPTION OF SPECIES RELATIONS.....	399

SIMONYAN S. H., BADALYAN L. A.	
ANALOGUES FOR DETERMINATION OF NONAUTONOMOUS PSEUDOINVERSE MATRICES BASED ON THE GRAM-SCHMIDT ORTHOGONALIZATION METHOD AND PUKHOV'S DIFFERENTIAL TRANSFORMS.....	406
VARDANYAN A.S., AMATUNI G. A.	
DESIGN AND SIMULATION OF RF CONTROL SYSTEM FOR CANDLE LINAC.....	418
KHACHATRYAN R.M.	
DETERMINATION OF THE HYDRAULIC RESISTANCE AND HEAD LOSS IN THROTTLED VALVE	423
RADIK MARTIROSYAN	
THE 70-TH ANNIVERSARY OF R.M. MARTIROSYAN'S BIRTH	434
YURI SARGSYAN	
THE 65-TH ANNIVERSARY OF Yu.L. SARGSYAN'S BIRTH	437
VOSTANIK MARUKHYAN	
THE 60-TH ANNIVERSARY OF V.A. MARUKHYAN'S BIRTH	440