

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. ԱՏՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԿՍՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.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

ՏՊԱԳՐՎԱԾ 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 ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

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.Լ. ԼԵՎՈՆՅԱՆ

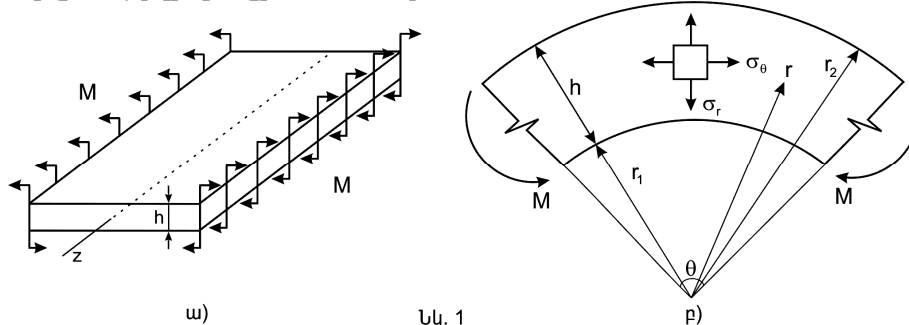
ԵՌԱԿԱԼ ՎԱԾ ՆՅՈՒԹԻՑ ԹԵՐԹԻ ՊԼԱՍՏԻԿ ԾՌՈՒՄԸ

Պիտարկված է եռակալված, կոշտ-պլաստիկ ամրացվող նյութից թերթի մաքուր ծռումը հարթ դեֆորմացիայի պայմաններում: Ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության հոսունության տեսության հավասարումների հիման վրա, խնդրի լուծումը բերված է շառավղային լարման նկատմամբ ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարման ինտեգրմանը: Թվային ինտեգրմամբ որոշված է չեզոք շերտի դիրքը և ստացված են թերթի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչները: Ըստ թերթի հաստության՝ կառուցված են լարումների բաղադրիչների էպյուրները և ծակոտկենության փոփոխության գրաֆիկները:

Առանցքային բառեր. պլաստիկ ծռում, թերթ, լարում, դեֆորմացիա, ծակոտկենություն, ամրացում, թվային ինտեգրում:

Թերթ անվանվում է այն նախապատրաստվածքը, որի չափսը մոմենտների ծռման հարթությանն ուղղահայաց ուղղությամբ (z) բավականին մեծ է հաստությունից (նկ. 1ա): Ընդ որում՝ ընդունվում է, որ այդ ուղղությամբ դեֆորմացիան հավասար է զրոյի ($\varepsilon_z=0$) [1]:

Սովորական նյութից թերթի ծռումը հարթ դեֆորմացիայի պայմաններում դիտարկված է [1]-ում, որտեղ նյութն ընդունվում է կոշտ-պլաստիկ: Թերթի ծռման դեպքում տեղի է ունենում չեզոք շերտի տեղաշարժ դեպի կորության կենտրոնը, իսկ շերտերի՝ միմյանց ճնշման հետևանքով առաջանում են σ_r լարումներ (նկ. 1բ): Որոշված են չեզոք շերտի շառավղիդը և լարումները՝ ձգված ու սեղմված գոտիներում: Խնդրի թվային լուծումն իրականացված է թերթի ծռված ստորին մակերևույթից՝ նախապես տալով շրջանային լոգարիթմական դեֆորմացիայի մեծությունը: Կոշտ-պլաստիկ ամրացումով նյութի դեպքում թերթի ծռման խնդիրը լուծված է [2]-ում: Կիրառված են Հուբեր-Միզեսի և Տրեսկա-Մեն-Վենանի պլաստիկության պայմանները, ինչպես նաև պլաստիկության հոսունության տեսության հավասարումները: Թվային հաշվարկները կատարվել են [1]-ի մեթոդով: Ինչ վերաբերում է եռակալված նյութից թերթի ծռման խնդրի լուծմանը, ապա մեզ հայտնի չեն այդպիսի աշխատանքներ:



Նկ. 1

Աշխատանքում դիտարկվում է եռակալված կոշտ-պլաստիկ ամրացվող նյութից թերթի մաքուր ծռման խնդիրը հարթ դեֆորմացիայի պայմաններում:

Դիտարկենք համասեռ, եռակաված, կոշտ-պլաստիկ ամրացվող նյութից հարթ թերթ, որը ծռման է ենթարկվում հակադիր եզրերում գործող ուժագույգերի (M) ազդեցության տակ (նկ. 1): Մաքուր ծռման հետևանքով շերտի վերին և ստորին հարթ մակերևույթները դառնում են գլանային՝ համապատասխանաբար ենթարկվելով ձգման և սեղմման դեֆորմացիաների, որի հետևանքով նախապատրաստվածքը նյութի խտության կամ ծակոտկենության փոփոխության պատճառով դառնում է անհամասեռ:

Խնդիրը լուծվում է իրական ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության հոսունության տեսության հավասարումների հիման վրա [3]՝

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}\beta^{n+0.5}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + 2\alpha^m (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2}, \quad (1)$$

$$\bar{d\varepsilon}_{eq} = \frac{\beta^{2n-0.5}}{3} \sqrt{2[(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2] + \alpha^{-m} (d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3)^2}, \quad (2)$$

$$d\varepsilon_1 = \frac{3\bar{d\varepsilon}_{eq}}{2\beta^{3n}\sigma_{eq}} [\sigma_1 - (1 - 2\alpha^m)\sigma_0],$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{3\bar{d\varepsilon}_{eq}}{2\beta^{3n}\sigma_{eq}} [\sigma_2 - (1 - 2\alpha^m)\sigma_0], \quad (3)$$

$$d\varepsilon_3 = \frac{3\bar{d\varepsilon}_{eq}}{2\beta^{3n}\sigma_{eq}} [\sigma_3 - (1 - 2\alpha^m)\sigma_0],$$

$$dv = \frac{9\alpha^m(1 - \nu)\sigma_0\bar{d\varepsilon}_{eq}}{\beta^{3n}\sigma_{eq}}, \quad (4)$$

որտեղ σ_{eq} -ը և $\bar{d\varepsilon}_{eq}$ -ը -համարժեքային լարումը և համարժեքային դեֆորմացիաների աճերն են, $d\varepsilon_1$ -ը, $d\varepsilon_2$ -ը, $d\varepsilon_3$ -ը՝ գլխավոր դեֆորմացիաների աճերը, σ_1 -ը, σ_2 -ը, σ_3 -ը՝ գլխավոր լարումները, $d\varepsilon_0 = (d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3)/3$ -ը՝ միջին դեֆորմացիայի աճը, $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ -ն՝ միջին լարումը, ν -ն՝ ընթացիկ ծակոտկենությունը, α -ն և β -ն, m -ը և n -ը՝ ծակոտկենության ֆունկցիաները և պարամետրերը:

Մաքուր ծռման դեպքում շառավղային և շրջանային ուղղություններով լարման շոշափող բաղադրիչները զրո են, հետևաբար σ_θ , σ_z , σ_r լարումները գլխավոր են և կարելի է ընդունել, որ

$$\sigma_1 = \sigma_\theta, \quad \sigma_2 = \sigma_z, \quad \sigma_3 = \sigma_r : \quad (5)$$

Այս դեպքում թերթից անջատված տարրի հավասարակշռության հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը.

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 : \quad (6)$$

Քանի որ թերթը ծովում է հարթ դեֆորմացիայի պայմաններում՝ $d\varepsilon_z = 0$, ապա (3)-ից, հաշվի առնելով (5)-ը, կստանանք՝

$$\sigma_z = \frac{1-2\alpha^m}{2(1+\alpha^m)}(\sigma_\theta + \sigma_r): \quad (7)$$

(2)-ից կունենանք՝

$$\overline{d\varepsilon_{eq}} = \frac{\beta^{2n-0,5}}{3\alpha^{0,5}} \sqrt{(4\alpha^m + 1)(d\varepsilon_\theta^2 + d\varepsilon_r^2) - 2(1-2\alpha^m)d\varepsilon_\theta d\varepsilon_r}: \quad (8)$$

Նկատի ունենալով (5) և (7)-ը, (1)-ը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$3(4\alpha^{2m} + 5\alpha^m + 1)\sigma_\theta^2 + 6(2\alpha^{2m} + \alpha^m - 1)\sigma_\theta\sigma_r + (12\alpha^{2m} + 14\alpha^m + 3)\sigma_r^2 - 4(1+\alpha^m)^2\beta^{2n+1}\sigma_{eq}^2 = 0, \quad (9)$$

որը լուծելով σ_θ -ի նկատմամբ, կստանանք՝

$$\sigma_{\theta_{1,2}} = \frac{(1-\alpha^m-2\alpha^m)\sigma_r \pm \sqrt{A(\alpha)\beta^{2n+1}\sigma_{eq}^2 - B(\alpha)\sigma_r^2}}{3(4\alpha^{2m} + 5\alpha^m + 1)}, \quad (10)$$

որտեղ

$$A(\alpha) = 12(4\alpha^{4m} + 13\alpha^{3m} + 15\alpha^{2m} + 7\alpha^m + 1),$$

$$B(\alpha) = 3(36\alpha^{4m} + 104\alpha^{3m} + 103\alpha^{2m} + 35\alpha^m):$$

(10)-ում պլյուս նշանը վերաբերում է ձգված գոտուն, իսկ մինուս նշանը՝ սեղմվածին:

Տեղադրելով σ_θ -ի արտահայտությունը հավասարակշռության դիֆերենցիալ հավասարման (6) մեջ, այն բերվում է հետևյալ տեսքի.

$$\frac{d\sigma_{r_{1,2}}}{dr} = \frac{-18\alpha^m(\alpha^m+1)\sigma_r \pm \sqrt{A(\alpha)\beta^{2n+1}\sigma_{eq}^2 - B(\alpha)\sigma_r^2}}{3(4\alpha^{2m} + 5\alpha^m + 1)r}: \quad (11)$$

Խնդրի եզրային պայմաններն են (նկ. 1բ)՝

$$\text{երբ } r=r_1 \text{ } \sigma_r=0, \text{ երբ } r=r_2 \text{ } \sigma_r=0, \text{ երբ } r=r_0 \text{ } \sigma_{r1}=\sigma_{r2}, \quad (12)$$

որտեղ r_0 -ն չեզոք շերտի կորության շառավիղն է, ընդ որում՝ երբ $r \in [r_1, r_0]$ $\sigma_r=\sigma_{r1}$ (սեղմված գոտի), երբ $r \in [r_0, r_2]$ $\sigma_r=\sigma_{r2}$ (ձգված գոտի):

Չեզոք շերտում ($r=r_0$) σ_θ լարումներն ունեն խզում, իսկ σ_r լարումներն անընդհատ են, ընդ որում՝ $\sigma_{r1}=\sigma_{r2}$ պայմանից որոշվում է չեզոք առանցքի դիրքը:

Այսպիսով, խնդիրը հանգում է (11) ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարման ինտեգրմանը (12) եզրային պայմանների դեպքում: α և β ծակոտկենության ֆունկցիաների պատճառով (11) հավասարումը հնարավոր է ինտեգրել միայն թվային եղանակով: Նկատենք, որ $\alpha=0$, $\beta=1$ դեպքում (սովորական ոչ ծակոտկեն նյութ) (11) հավասարումը ինտեգրվում է և արդյունքում ստացվում են իդեալական կոշտ-պլաստիկ նյութի համար պարզ լուծումները [1]: (11) հավասարման թվային ինտեգրումը իրականացնենք թերթի նյութի դեֆորմացման իրական դիագրամի դեպքում [4]: Այն ծակոտկեն պողպատ է՝ $v_0=0,1$ և $v_0=0,2$ սկզբնական ծակոտկենություններով և պարունակում է 4% Ni, 1,5% Cu և 0,5% Mo լրացումներ, եփված է 20 րոպե տևողությամբ, 95% N_2 և 5% H_2 -ի միջավայրում:

Ծակոտկենության պարամետրերը որոշելու համար ընտրված են ծակոտկենության պարզագույն ֆունկցիաները՝

$$\alpha = v, \quad \beta = 1 - v: \quad (13)$$

Այդ դեպքում, [3]-ում բերված մեթոդի հիման վրա, ծակոտկենության պարամետրերն են՝ $m=1,1$, $n=1,4$ [4]:

Նյութի դեֆորմացման կորը մոտարկված է հետևյալ ֆունկցիայով.

$$\sigma_{eq} = 630 + 750 \left(\int d\varepsilon_{eq} \right)^{0.286} : \quad (14)$$

Դիտարկենք թերթի ծոման այն վիճակը, երբ պլաստիկ դեֆորմացիաները ամբողջությամբ ընդգրկում են լայնական հատույթը և, [2]-ի համաձայն, ընդունենք, որ շրջանային դեֆորմացիաների աճը ($d\varepsilon_\theta$) լայնական հատույթում փոփոխվում է գծային օրենքով՝

$$d\varepsilon_\theta = y/r, \quad (15)$$

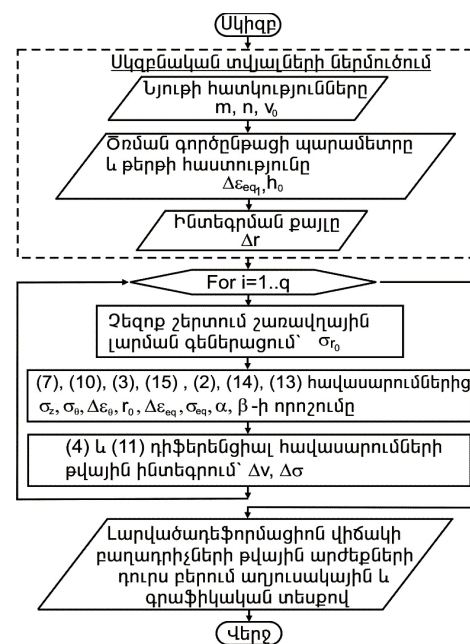
որտեղ y -ը լայնական հատույթի՝ չեզոք շերտից ունեցած հեռավորությունն է ([2]-ում տրվում է ε_θ -ի արժեքը թերթի ստորին մակերևույթի վրա): Ի տարբերություն [2]-ում բերված լուծման, այստեղ ինտեգրումն սկսվում է չեզոք շերտից, որտեղ նյութի ծակոտկենությունը հավասար է

սկզբնականին (v_0): Հակառակ դեպքում թերթի ստորին մակերևույթում բացի շրջանային դեֆորմացիայից (ε_θ) մեզ պետք է հայտնի լինի նաև նյութի փոփոխված ծակոտկենության արժեքը, որը պետք է ստացվի խնդրի լուծումից և տվյալ դեպքում անհայտ է:

Ձգված և սեղմված գոտիներում թվային ինտեգրումը կատարվում է առանձին-առանձին, ըստ y -ի: Յուրաքանչյուրն իրականացվում է՝ սկսելով չեզոք շերտից հաջորդական մոտավորությունների մեթոդով՝ հաշվարկները շարունակելով այնքան, մինչև բավարարվեն (12) եզրային պայմանները:

Առաձգական դեֆորմացիաների դեպքում թերթում $\sigma_r=0$: σ_r լարումներն առաջանում են, երբ թերթը ենթարկվում է պլաստիկ մեծ դեֆորմացիաների և մեծագույն արժեքն ունի չեզոք շերտում: [2]-ում բերված թվային օրինակում պողպատ 30 նյութից թերթի չեզոք շերտում, երբ թերթի ստորին շերտում $\varepsilon_\theta=0,4$, նյութի ամրացման դեպքում $\max|\sigma_r|=0,584\sigma_y$, իսկ բացակայության դեպքում՝ $\max|\sigma_r|=0,33\sigma_y$, որտեղ σ_y - ը նյութի հոսունության սահմանն է: Հետևաբար σ_r ի նախնական արժեքները կարելի է վերցնել $(-\sigma_y, 0)$ միջակայքից:

Ընդունենք, որ չեզոք շերտին անմիջապես հարող կետերում $\sigma_{eq}=630$ ՄՊա, իսկ σ_{r0} - ն հավասար է $(-\sigma_y, 0)$ միջակայքին պատկանող որևէ թվի: Այդ դեպքում (10)-ից և (11)-ից որոշվում են լարումների բոլոր բաղադրիչները: Δr հեռավորությամբ



Նկ. 2. Թերթի ծոման խնդրի
լուծման բլոկ-սխեմա

շերտում տալով $\Delta \varepsilon_{eq}$ - ին որոշակի արժեք (3), (4) և (15)-ից համապատասխանաբար որոշվում են դեֆորմացիաների բաղադրիչների աճերը՝ $\Delta \varepsilon_{\theta}$, $\Delta \varepsilon_r$, ծակոտկենության փոփոխությունը՝ Δv , չեզոք շերտի շառավիղը: Այնուհետև $\varepsilon_{\theta_i} = \varepsilon_{\theta_{i-1}} + \Delta \varepsilon_{\theta_i}$, $v_i = v_{i-1} + \Delta v_i$,

$\int d\varepsilon_{eq} = \sum_{i=1}^k \overline{\Delta \varepsilon_{eqi}}$ բանաձևերով՝ ընթացիկ դեֆորմացիաների, ծակոտկենության և նյութի

դեֆորմացման աստիճանի մեծությունները, որտեղ k -ն ինտեգրման քայլերի թիվն է: Δr քայլով ինտեգրումը շարունակվում է այնքան, մինչև թերթի ստորին և վերին մակերևույթներում շառավղային լարումը հավասարվի զրոյի: Եթե այդ պայմանը չի բավարարվում, ապա երկրորդ և հետագա մոտավորություններում փոփոխվում է σ_{r0} -ի սկզբնական արժեքը և համակարգչային մոդելավորմամբ որոշվում է σ_{r0} - ի այն արժեքը, որի դեպքում բավարարվում են խնդրի (12) եզրային պայմանները: Հաշվարկների իրականացման ալգորիթմի բլոկ-սխեման ունի նկ. 2-ում բերված տեսքը:

Հաշվարկման արդյունքներով, երբ $h=26\text{մմ}$, $\overline{\Delta \varepsilon_{eq0}} = 0,005$, $\Delta r=2\text{մմ}$, $v_{01}=0,1$ և $v_{02}=0,2$, որոշվել է չեզոք շերտի շառավիղը և ստացվել են թերթի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչները: Հաշվարկման արդյունքները բերված են աղյուսակում, նկ.3 և նկ.4-ում:

Թերթի դեֆորմացման տվյալ աստիճանին համապատասխան ծոռղ մոմենտի արժեքը միավոր լայնությամբ թերթի համար կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ.

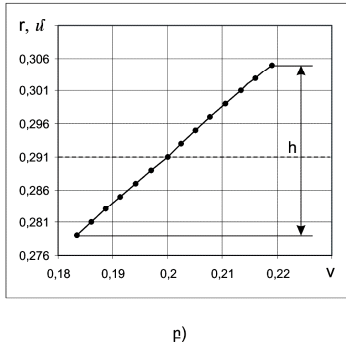
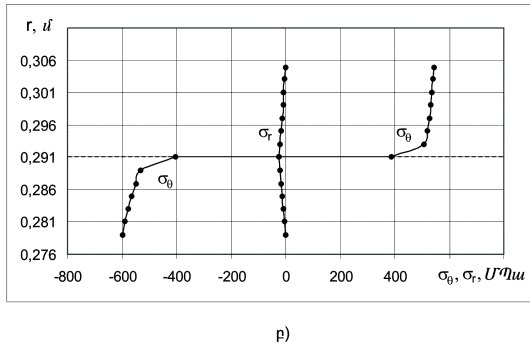
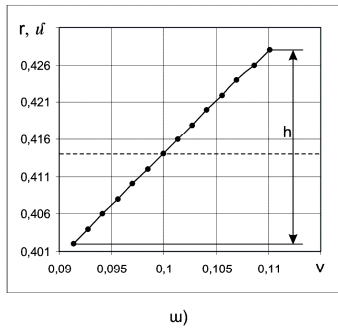
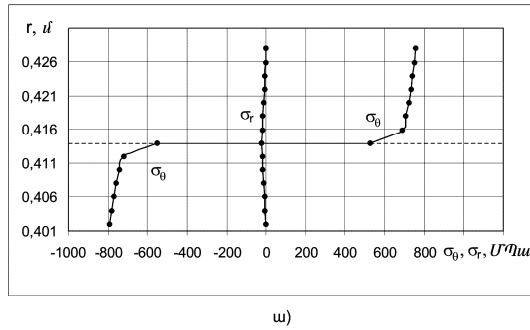
Աղյուսակ

Լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների արժեքները, երբ $v_{01} = 0,1$

$r, \text{մ}$	ε_{θ}	ε_r	$\overline{d\varepsilon_{eq}}$	$\sigma_{eq}, \text{ՄՊա}$	$\sigma_z, \text{ՄՊա}$	$\rho=1-v$
0,428	0,026	-0,025	0,033	912	287	0,890
0,426	0,025	-0,022	0,029	902	284	0,891
0,424	0,025	-0,019	0,025	891	281	0,893
0,422	0,024	-0,016	0,021	878	277	0,894
0,420	0,019	-0,013	0,017	863	273	0,896
0,418	0,015	-0,009	0,013	846	267	0,897
0,416	0,010	-0,006	0,009	825	260	0,899
0,414	0,005	-0,003	0,005	795	195	0,900
	-0,005	0,003	0,005	795	-225	0,900
0,412	-0,010	0,006	0,009	825	-290	0,902
0,410	-0,014	0,009	0,013	846	-298	0,903
0,408	-0,019	0,012	0,017	863	-304	0,904
0,406	-0,024	0,015	0,021	878	-309	0,906
0,404	-0,029	0,018	0,025	891	-313	0,907
0,402	-0,033	0,021	0,029	902	-317	0,909

$$M = \int_{r_1}^{r_2} \sigma_{\theta} (r - r_0) dr : \quad (16)$$

Նկ. 3-ում կառուցված են շրջանային (σ_{θ})և շառավղային (σ_r) լարումների էպյուրները, որտեղից էլ ակներև է տեղաշարժված չեզոք շերտի դիրքը ($r_{01}=0, 414\text{մ}$, $r_{02}=0,291\text{մ}$): Ծակոտկենության փոփոխությունն ըստ թերթի հաստության բերված է նկ. 4-ում:



Նկ. 3. σ_0 և σ_r լարումների փոփոխման գրաֆիկները ըստ թերթի h հաստության
ա) $v_{01}=0,1$, բ) $v_{02}=0,2$

Նկ. 4. Ծակոտկենության փոփոխության գրաֆիկն ըստ թերթի h հաստության
ա) $v_{01}=0,1$, բ) $v_{02}=0,2$

Ստացված արդյունքների վերլուծություն և եզրակացություն

Եռակալված կոշտ-պլաստիկ ամրացող նյութից թերթի մաքուր ծոման խնդիրը լուծվել է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության տեսության հիման վրա: Ի տարբերություն ոչ ծակոտկեն նյութերի համար գոյություն ունեցող լուծումների, որտեղ ստացված դիֆերենցիալ հավասարման թվային ինտեգրումը սկսվում է թերթի ծոված ստորին մակերևույթից, այստեղ ինտեգրումը սկսվում է չեզոք շերտից՝ $\Delta r=2\text{մմ}$ ինտեգրման քայլով: $v_{01}=0,1$ և $v_{02}=0,2$ ծակոտկենությամբ թիթեղի ծոման դեպքում ընտրելով համարժեքային դեֆորմացիայի աճը՝ $\overline{\Delta \varepsilon_{eq_0}} = 0,005$, հաջորդական մոտավորությունների եղանակով որոշվել են լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բոլոր բաղադրիչները՝ ըստ թերթի հաստության չեզոք շերտի շառավիղների ($r_{01}=0,414\text{մ}$, $r_{02}=0,291\text{մ}$), արտաքին $r_{11}=0,428\text{մ}$, $r_{12}=0,305\text{մ}$ և ներքին $r_{21}=0,402\text{մ}$, $r_{21}=0,279\text{մ}$ շերտերի շառավիղների, ինչպես նաև թերթի միավոր լայնությամբ համապատասխան ծող մոմենտի ($M_1=29,55\text{կՆմ}$, $M_2=21,69\text{կՆմ}$) մեծությունները:

Ստացված արդյունքներից հետևում է՝

1. Շրջանային և շառավղային լարումների բաշխումն ըստ թերթի հաստության նման է սովորական նյութի համապատասխան էպյուրներին: σ_0 -ն ստանում է մեծագույն արժեք թերթի ստորին և վերին մակերևույթներում, իսկ σ_r -ը՝ չեզոք շերտի վրա ($\max|\sigma_{r1}|=23,3\text{ՄՊա}$, $\max|\sigma_{r2}|=24,4\text{ՄՊա}$):

2. Շրջանային դեֆորմացիայի ամենամեծ արժեքը սեղմված գոտում թերթի ստորին մակերևույթի վրա է ($\max \varepsilon_{\theta 1} = 23,3 U\% , \max |\sigma_{r2}| = 24,4 U\%$), ($\max \varepsilon_{\theta u1} = 0,033 , \max \varepsilon_{\theta u1} = 0,047$) իսկ ձգված գոտում՝ արտաքին մակերևույթի վրա ($\max \varepsilon_{\theta v1} = 0,026 , \max \varepsilon_{\theta v2} = 0,057$) այդ մակերևույթների վրա նյութի ծակոտկենության (v) և հարաբերական խտության ($\rho=1-v$) մեծություններն են համապատասխանաբար՝ $v_{u1} = 0,091 , \rho_{u1} = 0,91 , v_{v1} = 0,110 , \rho_{v1} = 0,890$ և $v_{u2} = 0,183 , \rho_{u2} = 0,867 , v_{v2} = 0,219 , \rho_{v2} = 0,781$:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Малинин Н. Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. -М.: Машиностроение, 1975. –399 с.
2. **Ширшов А. А.** Исследование пластического изгиба листа с учетом упрочнения // Известия вузов. Машиностроение.- 1965.- N7.- С.168-174.
3. **Петросян Г. Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов.- М.: Металлургия, 1988. –153 с.
4. **Петросян Г. Л., Байс П., Амбарцумян А., Бадалян Г.** Особенности построения диаграммы деформирования пористых спеченных образцов из стального порошка // Сб. матер. год. науч. конф. ГИУА. – 2001.- Т.1.-С. 209-210.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 10.02.2006:

Գ.Լ. ПЕТРОСЯН, А.Л. ЛЕВОНЯН ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ ЛИСТА ИЗ СПЕЧЕННОГО МАТЕРИАЛА

Исследуется чистый изгиб листа из спеченного жестко-пластического упрочняющегося материала в условиях плоской деформации. На основании уравнений теории течения пористых материалов решение задачи сведено к интегрированию нелинейного дифференциального уравнения относительно радиального напряжения. Численным интегрированием определено положение нейтральной полосы и получены компоненты напряженно-деформированного состояния. Построены графики изменения компонентов напряжений и пористости по высоте листа.

Ключевые слова: пластический изгиб, лист, напряжение, деформация, пористость, упрочнение, численное интегрирование.

G.L. PETROSYAN, H.L. LEVONYAN PLASTIC BENDING OF PLATE FROM SINTERED MATERIAL

Pure bending of plate rigid-plastic hardening material in condition of plane deformation is examined. On the basis of porous material plasticity theory equations the problem solving results in integration nonlinear differential equation with regard to radial stress. By numerical integration the position of neutral axis is determined and the stress strain state components are obtained. By the height of plate the curves of stress components and porosity changing are constructed.

Keywords: plastic bending, plate, stress, deformation, porosity, hardening, numerical integration.

Г.Г. ШЕКЯН, Э.П. ХАЛАТЯН, Р.П. ХАЛАТЯН, А.П. ХАЛАТЯН

ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГИБКОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РОТОРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рассматривается задача устойчивости вращающегося ротора электрической машины в магнитном поле, когда силы магнитного притяжения изменяются пропорционально перемещениям. Из равновесия силы магнитного притяжения и сил упругой реакции ротора получено условие устойчивости возмущенного ротора и определено значение коэффициента жесткости, при котором происходит потеря устойчивости.

Ключевые слова: устойчивость, магнитное поле, гибкий ротор, силы магнитного притяжения, коэффициент жесткости.

Для того чтобы понять специфику рассматриваемой задачи, нужно сразу отказаться от некоторых представлений, связанных с обычной постановкой задачи теории упругости. В большинстве последних работ внешняя нагрузка тем или иным образом задана в статических задачах как функция координат точек нагруженного тела, а в динамических задачах, кроме того, и как функция времени. При этом считается, что все упругие эффекты (перемещения, деформации, напряжения) зависят от нагрузки, но сами на нагрузку не влияют [1].

В рассматриваемой задаче не только перемещения зависят от нагрузок, но и сами нагрузки меняются в зависимости от перемещения. Подобные нагрузки развиваются, например, при смещениях упругих систем, находящихся в магнитном поле. Такие системы называются магнитоупругими. В данном случае нагрузки как будто не остаются безучастными к изменениям формы или положения системы и как бы «следят» за этими изменениями. Убедимся, что потери устойчивости в смысле Эйлера вовсе не обязательно связаны с традиционным представлением о продольном изгибе сжатой стойки.

Пусть гибкий ротор на двух опорах вращается в магнитном поле, создаваемом статором электрической машины (рис.). Между статором и ротором установлен определенный зазор, который теоретически должен быть равномерным и по окружности, и по всей длине ротора. Если вертикальный ротор вращается в статоре с равномерным зазором по периметру, то магнитные силы в радиальных направлениях уравновешены и не могут влиять на процесс колебания. Однако практически даже если это так, то все равно малейшее отклонение ротора от положения равновесия в радиальном направлении может привести к появлению неустойчивости системы [2].

Силы магнитного притяжения при отклонении ротора от положения равновесия меняют свою величину в зависимости от расстояния между ротором (якорем) и статором. Поэтому если ротор гибкий или установлен на упругих

опорах, то эти силы представляют собой нагрузку, «следящую» за упругими перемещениями [3].

Рассмотрим вращение гибкого ротора в стационарном магнитном поле, симметричного относительно среднего положения. Такое поле создает статор асинхронной электрической машины во взаимодействии с полем ротора [4].

Статическую характеристику гибкого ротора будем считать линейной, а коэффициент жесткости равным C , поскольку при отклонении ротора Y от положения равновесия возникает упругая восстанавливающая сила, равная CY , направленная в сторону, противоположную отклонению.

Силы притяжения магнитного поля со стороны статора уравновешены только тогда, когда ротор находится в своем среднем положении ($Y = 0$). При смещении ротора от положения равновесия силы притяжения статора изменяются, но в разной мере в неравномерном зазоре. При малых смещениях можно принять, что величина силы притяжения в диаметрально-противоположных направлениях зависит от смещения Y следующим образом [5]:

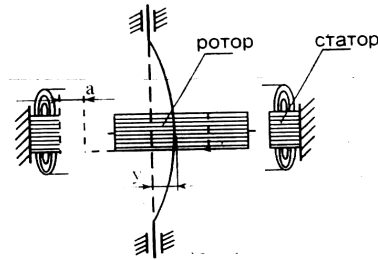


Рис. Вращающийся гибкий ротор в магнитном поле

$$P_1 = \frac{K}{(a + Y)^2}, \quad P = \frac{K}{(a - Y)^2},$$

где a и K - постоянные, a - начальный равномерный зазор между статором и ротором, K - магнитная постоянная, зависящая от магнитной индукции в зазоре.

Равнодействующая этих сил равна

$$R = \frac{K}{(a - Y)^2} - \frac{K}{(a + Y)^2} = \frac{4aK \cdot Y}{(a^2 - Y^2)^2}$$

и направлена в сторону смещения. При весьма малых отклонениях $Y \ll a$ можно приближенно принять

$$R = 4KY/a^3. \quad (1)$$

Согласно (1), равнодействующая сил магнитного притяжения пропорциональна смещению Y .

Теперь вообразим, что вследствие какой-либо случайной причины ротор выведен из среднего положения равновесия. Соответственно эйлеровой концепции, нужно выяснить, является ли отклоненное состояние устойчивым или нет.

Условие равновесия ротора в отклоненном состоянии

$$CY + 4KY/a^3 = 0$$

позволяет заключить, что при коэффициенте жесткости C , равном

$$C = 4K/a^3, \quad (2)$$

происходит потеря устойчивости. Это значение коэффициента жесткости является критическим. При таком значении C восстанавливающая сила гибкого ротора Y составляет CY и в точности уравнивает силу $R=4KY/a^3$. При $C>4K/a^3$ исходное состояние равновесия ротора устойчиво, а при $C=4K/a^3$ неустойчиво. При любом малом отклонении равнодействующая сил притяжения статора оказывается большей, чем восстанавливающая сила упругости ротора, и после начального возмущения ротор будет все дальше уходить от исходного положения, вплоть до полного «прилипания» к статору.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Амбарцумян С.А.** Некоторые особенности колебания пластинок в магнитном поле // Механика твердого тела. – М.: Изд. АН СССР, 1983. – N4. – С.197-200.
2. **Пановко Я.Г., Губанов И.П.** Устойчивость и колебания упругих систем. – М.: Наука. 1987. – 352с.
3. **Шекян Г.Г.** Исследование динамического качества электрических машин // Материалы Всесоюзной конференции по вибротехнике. –Телави, 1984.- С.30-31.
4. **Шекян Г.Г.** Вибродиагностика механического состояния двигателей малой мощности // Материалы VI Всесоюзной конференции по производству перспективных асинхронных двигателей. –Владимир, 1985. – С.56-58.
5. **Шекян Г.Г.** Колебания жесткого ротора на упругих опорах в магнитном поле // Труды ВНИИКЭ. – Ереван, 1977.- Т.4. – С.143-162.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.10.2005.

Հ.Գ. ՇԵԿՅԱՆ, Է.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Ռ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Հ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ ՊՏՏՎՈՂ ԶԿՈՒՆ ՌՈՏՈՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏԸ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ

Դիտարկված է մագնիսական դաշտում պտտվող էլեկտրական մեքենայի առաձգական ռոտորի կայունության խնդիրը, երբ մագնիսական ձգողության ուժը փոխվում է ռոտորի տեղափոխությանը համեմատական: Ռոտորի առաձգականության և մագնիսական ձգողության ուժերի հավասարակշռության պայմանից ստացված են «գրգռված» ռոտորի կայունության պայմանը և ռոտորի կոշտության այն արժեքը, որի դեպքում տեղի կունենա կայունության կորուստ:

Առանցքային բառեր. կայունություն, մագնիսական դաշտ, ձկուն ռոտոր, մագնիսական դաշտի ձգողական ուժ, կոշտության գործակից:

G.G. SHEKYAN, E.P.KHALATYAN, R.P. KHALATYAN, A.P. KHALATYAN STABILITY LOSS OF FLEXIBLE ROTOR IN MAGNETIC FIELD

The problem of stability loss of the revolving rotor in the magnetic attraction varies with movements. The condition of distributed rotor stability, the value of gravity coefficient, due to which the stability loss occurs, is obtained from the equilibrium of magnetic attraction force and forces of elastic rotor reaction.

Keywords: stability, magnetic force, elastic rotor, forces of magnetic attraction, gravity coefficient.

Г.В. МУСАЕЛЯН, Л.О. ЗАКАРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБА РАМЫ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработана модель рамы грузового автомобиля методом конечных элементов и исследован ее изгиб в вертикальной плоскости. Представлены особенности моделирования закл,почных соединений. Произведен анализ напряж,нно-деформированного состояния рамы и определены ее, наиболее опасные участки и соединения.

Ключевые слова: рама грузового автомобиля, конечно-элементная модель рамы, закл,почные соединения рамы.

Существует множество теоретических исследований прочности и ж,сткости рамы грузового автомобиля, которые осуществлялись на основании различных предположений процесса нагружения и упрощения конструкции рамы [1-6].

Целью данной работы является исследование изгиба рамы автомобиля в вертикальной плоскости методом конечных элементов, что позволяет определить перемещения, напряжения и деформации в любой точке рамы автомобиля. Представлены особенности моделирования процесса изгиба в вертикальной плоскости рамы грузового автомобиля КамАЗ-5410.

Исследуемая рама состоит из двух продольных, имеющих швеллерный профиль переменного размера, лонжеронов и пяти поперечин из сборной конструкции. Как составляющие элементы поперечин, так и поперечины с лонжеронами соединены с помощью закл,пок. Оси первых трех поперечин кривые.

Используя возможности вычислительной техники, осуществлялся процесс разработки расч,тной модели исследуемой рамы. Для этого был примен,н пакет программы ANSYS. Составляющие элементы рамы автомобиля представлены с помощью конечных элементов оболочечного и объ,много типов. Конечный элемент оболочечного типа SHELL 63 учитывает две изгибные и мембранные характеристики. Нагрузки на конечный элемент могут действовать как в его плоскости, так и по нормали.

Размеры расч,тной модели соответствуют реальным размерам рамы грузового автомобиля. В качестве граничных условий предъявлены следующие:

- рассматриваются нагрузки, обусловленные массой кабины водителя (572 кг), двигателя и силовых агрегатов (805 кг);
- нагрузка с полуприцепа (8100 кг) на седельно-сцепное устройство;
- на месте крепления рамы и подвесок применены подвижные и неподвижные опоры.

Составляющие элементы рамы автомобиля изготовлены из листовой стали толщиной 8 мм. Конструктивные элементы на рис. 1 представлены в виде плоскостей, которые позволяют моделировать положения закл,почных соединений. Закл,пки, примен,нные на раме, исключают относительное перемещение и вращение соединяемых элементов.

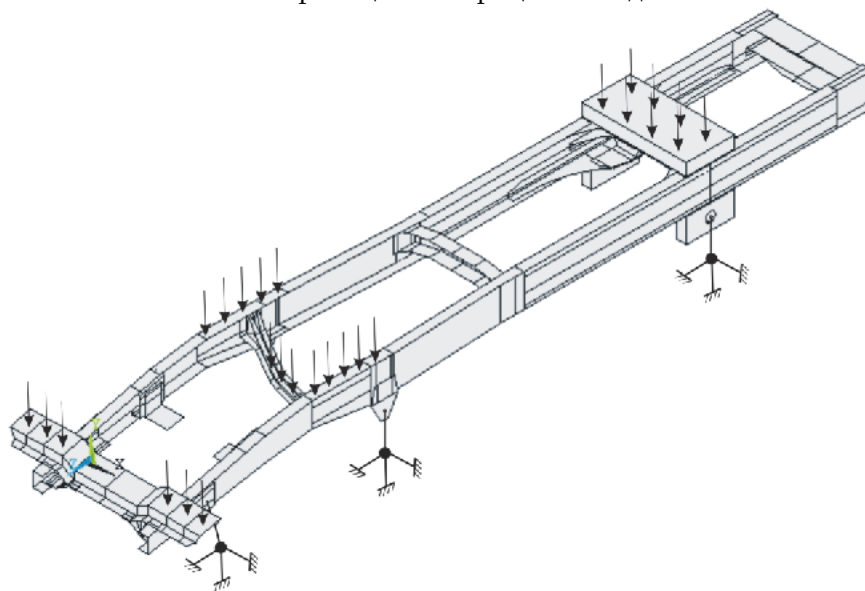


Рис. 1. Схема нагружения рамы автомобиля КамАЗ-5410

Моделирование закл,почных соединений производится путём задания соответствующим степеням свободы точек пересечения осей заклёпок и соединяемых плоскостей (узлам соответствующих конечных элементов) условия одинаковости. Иначе говоря, соединение моделировалось путём исключения в точках пересечения оси заклёпки и узлов конечных элементов на соединяемых плоскостях относительного перемещения и вращения.

На рис. 2 представлен пример моделирования закл,почного соединения передней поперечины и лонжеронов. На линии соединения плоскостей A57, A58 и A8, A9 в точках, соответствующих оси заклёпки, в качестве граничного задано условие одинаковости перемещения и вращения соответствующих составляющих. Аналогичным способом моделировались остальные заклёпочные соединения рамы автомобиля.

Модель деформируется под воздействием заданных нагрузок до тех пор, пока закреплённые плоскости при данном нагружении не давят друг на друга.

При наличии давления между креплёнными посредством закл,пок оболочками наблюдается “явление врезывания” плоскостей (рис. 3), появление которого обусловлено тем, что у данной модели при нагружении давящие друг на друга плоскости (например, A58 и A8, A57 и A9) взаимодействуют только по одним точкам, соответствующим оси заклёпки.

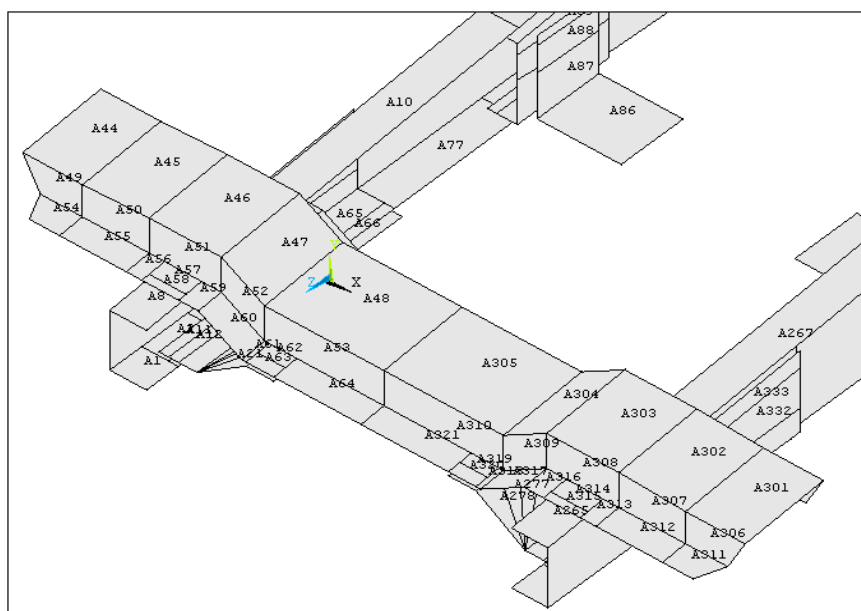


Рис. 2. Разработанная модель передней поперечины и лонжеронов рамы с помощью составляющих плоскостей

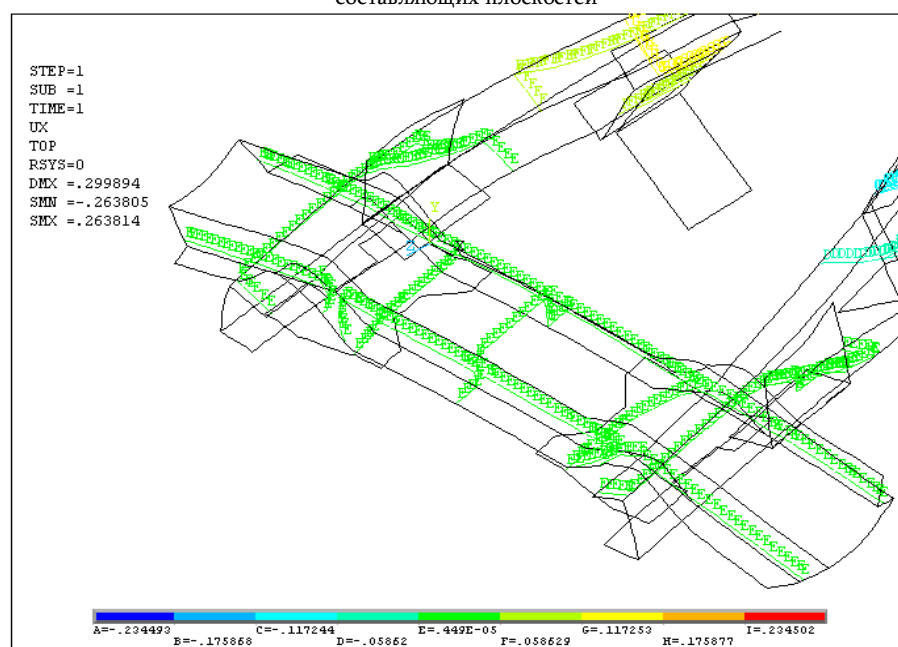


Рис. 3. Изображение врезывания передней поперечины и лонжеронов

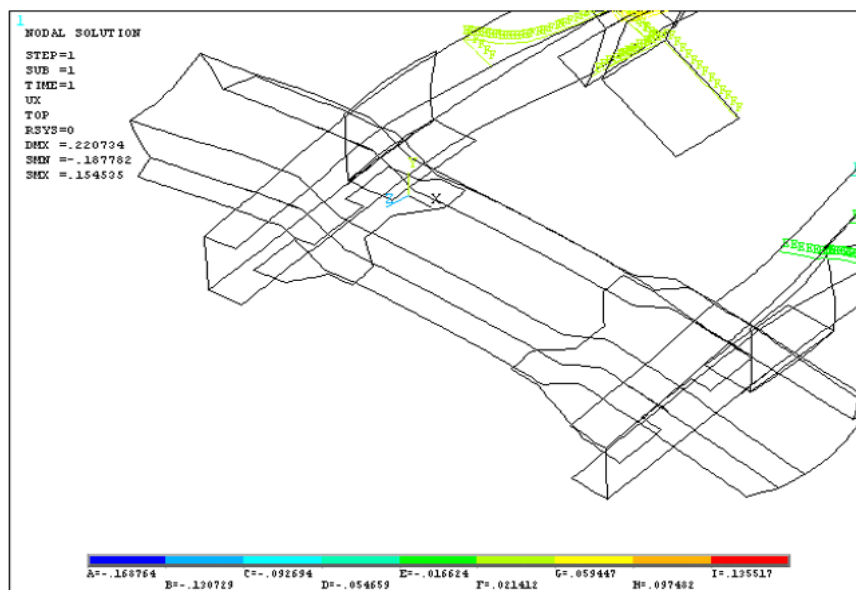


Рис. 4. Изображение передней поперечины и лонжеронов при отсутствии врезывания

На первом этапе решения задачи выявляются участки рамы, давящие друг на друга, т. е. наблюдается “явление врезывания”. С целью его устранения осуществляется второй этап моделирования. На этих участках задаются дополнительные граничные условия: перемещения соответствующих узлов конечных элементов по направлению давления приравниваются (рис. 4).

Исследование изгиба рамы автомобиля в вертикальной плоскости осуществляется после вышеизложенного уточнения граничных условий. По итогам исследования процесса изгиба рамы грузового автомобиля КамАЗ-5410 в вертикальной плоскости становится ясно, что максимальное значение интенсивности напряжения около 67 Н/мм^2 на месте крепления задней ушки рессоры (рис. 5). Интенсивность напряжения довольно высокая ($38,2...47,7 \text{ Н/мм}^2$) на месте крепления передней ушки рессоры. На участке соединения передней поперечины с верхними полками лонжеронов и второй поперечины со стенками лонжеронов интенсивность напряжения равна $9,5...19,1 \text{ Н/мм}^2$.

Максимальные перемещения сечений лонжеронов рамы автомобиля в поперечном направлении наблюдаются в верхних полках лонжеронов у задней части кабины (рис. 6), максимальные величины которых равны $0,09 \text{ мм}$.

Наибольшее перемещение лонжеронов в вертикальном направлении по своему абсолютному значению составляет $0,085 \text{ мм}$ – около крепления второй поперечины (рис. 7).

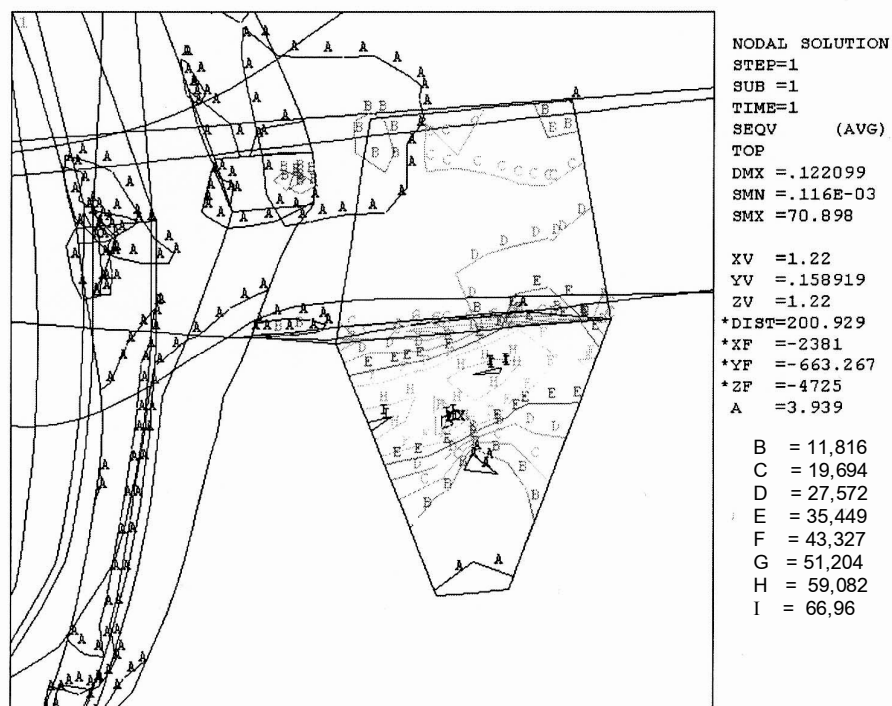


Рис. 5. Изополя интенсивности напряжения

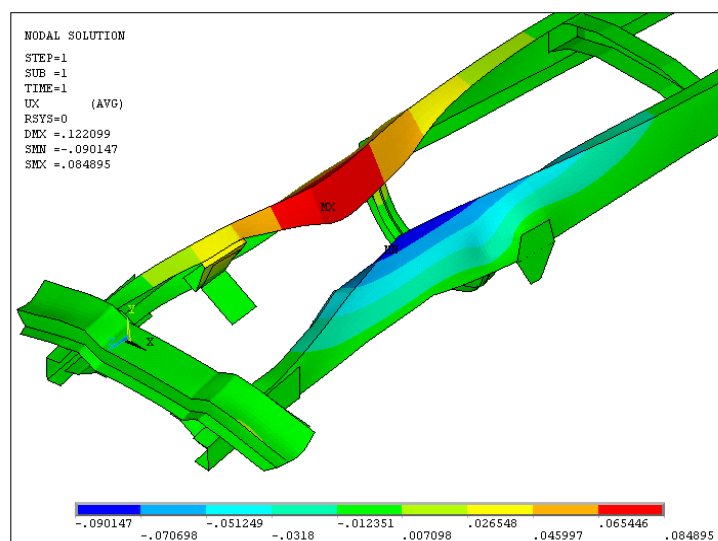


Рис. 6. Изополя перемещений рамы в поперечном направлении автомобиля

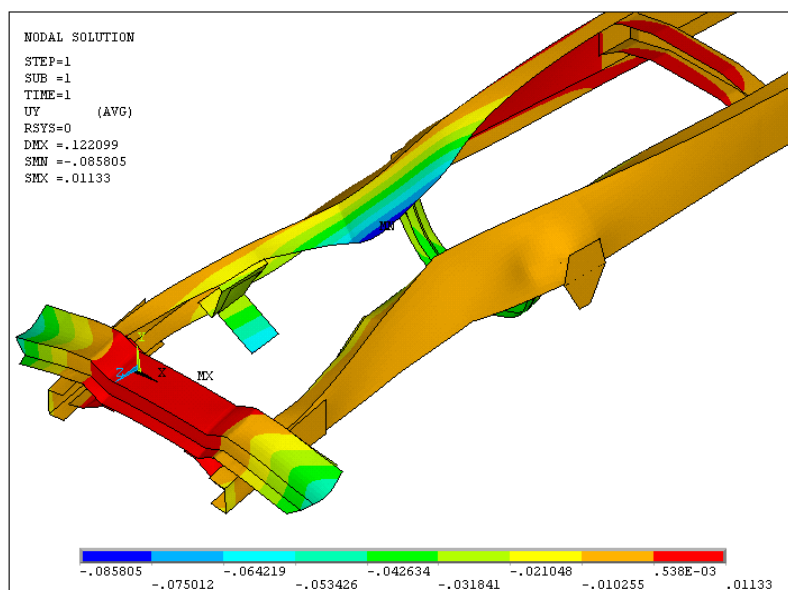


Рис. 7. Изополю перемещений рамы в вертикальном направлении автомобиля

Закключение. Разработанная математическая модель рамы автомобиля КамАЗ-5410 позволяет определить распределение компонентов напряжений и деформаций в раме автомобиля, а также перемещения в е, произвольной точке. Выявляются его наиболее опасные участки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельфгат Д.Б., Ошноков В.А. Рамы грузовых автомобилей. - М.: Машиностроение, 1959. - 231с.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975. - 541с.
3. Иванов А.А. Расч , т автомобильных рам методом конечных элементов // Автомобильная промышленность. - М., 1973. - ¹ 4. - С. 26-28.
4. Максапетян Г.В., Кочинян Г.Дж. Определение напряж ,нного состояния рам грузовых автомобилей при различных кузовах // Сборник научных трудов АрмСХИ. - 1977. - Вып. XXVIII. - С. 112-115.
5. Pippert H. Karosserietechnik. Vogel Verlag.1998. – 303 s.
6. Muller G. FEM fur Praktiker. Expert Verlag. 1997. – 859 s.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.02.2006.

Գ.Վ. ՄՈՒՍԱՅԵԼՅԱՆ, Լ.Հ. ԶԱԲԱՐՅԱՆ

**ԲԵՌՆԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄՈԲԻԼԻ ՇՐՋԱՆԱԿԻ ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ ՀԱՐԹՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ԾՈՒՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԲԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ**

Վերջավոր տարրերի մեթոդի օգնությամբ մշակվել է բեռնատար ավտոմոբիլի շրջանակի մոդելը և հետազոտվել ուղղահայաց հարթությունում դրա ծռման գործընթացը: Ներկայացվում են գամային միացությունների մոդելավորման առանձնահատկությունները: Կատարվում է շրջանակի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ուսումնասիրություն և որոշվում դրա առավել վտանգավոր հատվածներն ու միացությունները:

Առանցքային բառեր. բեռնատար ավտոմոբիլի շրջանակ, շրջանակի մոդել, վերջավոր տարրերի բաժանված վիճակում, շրջանակի գամային միացություններ:

G.V. MUSAYELYAN, L.H. ZAKARYAN

**INVESTIGATION OF TRUCK FRAME BENDING IN VERTICAL PLANE WITH THE HELP OF
FINITE-ELEMENT METHOD**

With the help of the finite-element method a model of a truck frame is worked out and its bending in vertical plane is investigated. The features of riveted joints modeling are represented. The analysis of the frame deformation mode is carried out and the most vulnerable places and joints are determined.

Keywords: truck frame, finite-element model of the frame, riveted joints of the frame.

G.A. SAMRA

THE PROBLEM OF THIN PLATE STABILITY AT SUPERSONIC FLOW AND PRESENCE OF CONCENTRATED WEIGHT AT EDGES

The stability problem of a thin plate with finite length, streamline gas is considered. A supersonic gas and the weight of a plate are neglected. But it is considered that there are concentrated weights on the fixed edge of a plate where the critical flow speeds causing flutter instability phenomenon are found.

Keywords: plate-stability, supersonic flow, harmonic oscillations, flutter, divergence speed, concentrated weight.

Aspiration to achieve higher speeds of flight FA by their constant perfection and their use in the new constructional materials (Aluminium-Lithium alloys, composite materials), systems of active and adaptive managements promote the rigidity reduction of designs. Then these processes are accompanied by the increase of aeroelastic oscillation level of the designs and also by the increased probability of various aeroelastic phenomena display. There are numerous researches [1-6] to study the problem of plane wing stability at supersonic flow, but this present work is actually based on piston theory and devoted to the considered theory of panel flutter at supersonic gas stream which it is supposed that the inertial weights of a plate are too small, so we can neglect them, but there are concentrated weight on the fixed edge of plate. And the critical speeds of a flow which cause the flutter phenomenon are determined.

1. Let the thin plate in the Cartesian system of coordinates $oxyz$ which occupies the area $0 \leq x \leq l, 0 \leq y \leq b, -h \leq z \leq h$. and the plate in a direction of axis ox , one side of the plate will be exposed to a supersonic distributed flow by the speed v . By accepting the validity of Kirchhoff hypothesis and piston theory [1] we can accept that the plate at direction of axis oy is wide enough, so it is possible to count, that the plate's oscillations have the form of a cylindrical surface, and do not depend on coordinate y . At specific assumptions the flexural vibration equation has the form [1,2]:

$$D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \alpha_0 \rho_0 \left(\frac{\partial w}{\partial t} + v \frac{\partial w}{\partial x} \right) + 2\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \quad (1.1)$$

Here ρ, ρ_0 – is the density of a plate and gas material, accordingly; α_0 is the speed of sound in gas; $w = w(x, t)$ is the function of plate deflection; D is the flexural rigidity:

$$D = \frac{2Eh^3}{3(1-\gamma^2)}. \quad (1.2)$$

The solution for equation (1.1) has been investigated by A.A.Movchan [3] under various static boundary conditions at plate's edges $x = 0$, $x = l$ and then the representation of the equation (1.1) solution will be as

$$w = f(x) e^{i\omega t}. \quad (1.3)$$

It turns out an ordinary differential equation of the fourth degree concerning the function $f(x)$, so for finding the general solution it is necessary to find the roots for characteristic equation of the fourth degree. The problem of plate stability essentially becomes simpler by applying Euler's static method. Then, instead of the equation (1.1), it is necessary to solve the equation [2],

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + s^3 \frac{\partial w}{\partial x} = 0; \quad s^3 = \alpha_0 \rho_0 \nu D^{-1}. \quad (1.4)$$

In spite of the fact that for finding the general solution of equation (1.3) we find the characteristic equation which also will be in the fourth degree, however the roots for that equation are easily defined and have the form

$$p_1 = 0; \quad p_2 = -s; \quad p_{3,4} = 0.5(1 \pm i\sqrt{3}). \quad (1.5)$$

According to (1.5), the general solution of equation (1.4) will be

$$w(x) = A_1 + A_2 e^{-sx} + (A_3 \cos \frac{\sqrt{3}}{2} sx + A_4 \sin \frac{\sqrt{3}}{2} sx) e^{\frac{sx}{2}}. \quad (1.6)$$

Let's consider that one of the long plate edges has a rigid jamming slide and the other side is rigidly jammed then

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dx} = 0; \quad \frac{d^3 w}{dx^3} = 0, \quad \text{where} \quad x = 0; \\ w = 0; \quad \frac{dw}{dx} = 0, \quad \text{where} \quad x = l. \end{aligned} \quad (1.7)$$

By substituting (1.6) in (1.7) we will obtain a homogeneous algebraic system of equations which will concern the constants A_i , $i = 1, 2, 3, 4, \dots$. Equality to zero determinant of the specific system gives the defined equation concerning the parameter sl

$$2 \sin\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{2} sl\right) - e^{-\frac{3}{2}sl} = 0. \quad (1.8)$$

Let's enter the notation

$$C(sl) = 2 \sin\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{2}sl\right) - e^{-\frac{3}{2}sl}. \quad (1.8a)$$

It is easy to show by the help of graphic-analytical research that:

$$C(sl) < 0, \quad \text{when} \quad sl < 0; \quad (1.9)$$

$$C(sl) = 0, \quad \text{when} \quad sl = 0;$$

$c(sl)$ – Sign-variable function when $sl > 0$, zero functions are defined by using the formula

$$(sl)_0 \approx \frac{2}{\sqrt{3}}\left(\frac{5\pi}{6} + \pi k\right); \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.10)$$

$$C(sl) > 0 \quad \text{when} \quad sl \in \frac{2}{\sqrt{3}}\left(2\pi k; \frac{5\pi}{6} + 2\pi k\right); \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.10a)$$

$$C(sl) < 0, \quad \text{when} \quad sl \in \frac{2}{\sqrt{3}}\left(\frac{5\pi}{6} + 2\pi k; \frac{11\pi}{6} + 2\pi k\right); \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.10b)$$

According to (1.10) the first zero function will be:

$$(sl)_1 \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{5\pi}{6} \approx 3,012. \quad (1.11)$$

It is possible to find v_{cr} for the stream from expression (1.4), by substituting (1.11) in (1.4):

$$v_{cr} \approx \frac{27 D}{\alpha_0 \rho_0 l^3}. \quad (1.12)$$

At this undistributed speed from the plate balance stability ceases and divergence conditions take place, then it will be obvious that from equations (1.9), (1.10) the divergence conditions arise only in the case when the gas stream is directed from rigid jamming slide edge to rigidly jammed edge.

2. As we see the equation (1.4) possesses remarkable property which corresponds to the characteristic equation and has simple roots (1.5), so there is a dynamic research idea for the (flutter instability) problem in which dynamic members are taken into account in the boundary conditions. Such an idea has been used by B.B.Bolotin in his method where the solution of plate stability problem was studied by keeping up the force system [1]. According to that method instead of the equation (1.1) we can use the considered equation

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + s^3 \frac{\partial w}{\partial x} = 0; \quad s^3 = \alpha_0 \rho_0 v D^{-1}. \quad (2.1)$$

We have to neglect the dynamic forces in the equation (1.1), as well as in the static approach (1.4). It is supposed that for edge $x = 0$ the rigid jamming slide is a

concentrated weight m which creates inertial force $(-m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2})$. So the boundary conditions (1.7) are replaced by the following conditions [4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial x} &= 0; \quad D \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = -m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad \text{when } x = 0, \\ w &= 0; \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad \text{when } x = 1. \end{aligned} \quad (2.2)$$

By substituting the equation (2.1) the solution will be as the harmonic oscillation (1.3), and we will obtain an equation concerning the function $f(x)$ which the general solution is related to (1.6) and by substituting (1.3) in the boundary conditions (2.2) we obtain the conditions concerning the function $f(x)$:

$$\begin{aligned} f' &= 0; \quad f''' - \beta \omega^2 f = 0, \quad \text{when } x = 0 \\ f &= 0; \quad f' = 0, \quad \text{when } x = 1, \end{aligned} \quad (2.3)$$

where

$$\beta = \frac{m}{D}; \quad (2.4)$$

where $\beta \geq 0$ is the parameter, describing the concentrated weight which is applied on edge $x=0$.

Furthermore, substituting the general solution of the form (1.6) in boundary conditions (2.3) we obtain a homogeneous algebraic system of equations concerning constants $A_i, i = 1, 2, 3, 4$:

$$\begin{cases} A_2 - \frac{1}{2} A_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} A_4 = 0; \\ \beta \omega^2 A_1 + (s^3 + \beta \omega^2) A_2 + (s^3 + \beta \omega^2) A_3 = 0; \\ A_1 + e^{-sl} A_2 + (e^{\frac{sl}{2}} \cos \frac{\sqrt{3}}{2} sl) A_3 + (e^{\frac{sl}{2}} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} sl) A_4 = 0; \\ e^{-sl} A_2 - (e^{\frac{sl}{2}} \sin(\frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{2} sl)) A_3 - (e^{\frac{sl}{2}} \cos(\frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{2} sl)) A_4 = 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

Equating to zero system determinant (2.5), we obtain α_n expression depending own frequencies square of plate oscillations:

$$\omega^2 = \frac{s^3}{\beta} \times \frac{B(sl)}{A(sl)}; \quad \beta \neq 0; \quad (2.6)$$

$$A(sl) = (\text{ch}(sl) - \text{ch} \frac{sl}{2} \cos \frac{\sqrt{3}}{2} sl - \sqrt{3} \text{sh} \frac{sl}{2} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} sl); \quad (2.7)$$

$$B(sl) = e^{\frac{sl}{2}} \left(\sin\left(\frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{2}sl\right) - \frac{1}{2}e^{-\frac{3}{2}sl} \right). \quad (2.8)$$

It is obvious that from the comparison of expressions (2.8) and (1.8a), and the behavior of function $B(sl)$ as well as at function $C(sl)$ according to (1.9) and (1.106) we have

$$B(sl) < 0 \text{ At } sl < 0, \text{ when } sl \in \left(\frac{5\pi}{6} + 2\pi k; \frac{11\pi}{6} + 2\pi k \right); k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.9)$$

$$B(sl) = 0 \text{ At } sl = 0, \text{ when } (sl_0) \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{5\pi}{6} + \pi k \right); k = 0, 1, 2, \dots;$$

$$B(sl) > 0 \text{ At } sl \in \frac{2}{\sqrt{3}} (2\pi k; \frac{5\pi}{6} + 2\pi k); k = 0, 1, 2, \dots$$

It is easy to show by the help of graphic-analytical researches that

$$A(sl) > 0 \text{ At } s \neq 0 \text{ and } A(sl) = 0 \text{ at } s = 0. \quad (2.10)$$

Let's notice that by accepting in the equation (2.6) the limit at $s \rightarrow 0$ ($\nu \rightarrow 0$), we obtain the accepted value approach of frequency square for free plate oscillations with the concentrated weight m on the edge when $x = 0$

$$\omega_{fr}^2 = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^3}{\beta} \times \frac{B(sl)}{A(sl)} = \frac{12}{\beta l^3}. \quad (2.11)$$

It is clear that $\omega_{fr}^2 > 0$ at $\beta > 0$.

According to (2.9) and (2.10), from (2.6) we will obtain

$$\omega^2 = 0 \text{ when } (sl) \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{5\pi}{6} + \pi k \right); k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.12)$$

$$\omega^2 < 0 \text{ when } (sl) \in \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{5\pi}{6} + 2\pi k; \frac{11\pi}{6} + 2\pi k \right); k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.13)$$

$$\omega^2 > 0 \text{ when } (sl) < 0 \text{ и } (sl) \in \frac{2}{\sqrt{3}} (2\pi k; \frac{5\pi}{6} + 2\pi k); k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.14)$$

It means that from intervals (2.13) the movement becomes unstable and changes to oscillatory movement; from intervals (2.14) the movement will be steady and oscillatory movement is fading. Thus the change of ω^2 from positive values to negative ones (or on the contrary) through ($\omega^2 = 0$) zero we have a small change from fading oscillations to increasing oscillations (or on the contrary) – type of flutter oscillations.

From (2.14) we can see if the stream is directed from rigidly jammed edge $x = l$ to an edge which has rigid jamming slide $x = 0$, the plate movement will be steady at all values of speed for gas stream of flow. For corresponding to zero

functions $C(sl)$ and $B(sl)$ the value of critical divergence speeds are equal so according to considered equations (2.12) and (2.1) we can write the expression

$$v_{cr} = \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{5\pi}{6} + \pi k \right) \right]^3 \alpha_0^{-1} \rho_0^{-1} l^{-3}; \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.15)$$

According to the first zero $(sl)_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{5\pi}{6}$ and by taking into account the equation (1.12)

we have

$$v_{cr0} = 27 D \alpha_0^{-1} \rho_0^{-1} l^{-3}.$$

Let's note that if the jammed edge of plate and the other edge is free, and the streamline of gas stream with concentrated weight is at free end, the value of critical gas stream speed takes place by the type of flutter oscillations and equals three times of value of considered equation (2.15), approximately [5].

REFERENCES

1. **Болотин В.В.** Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. - М.: Физматгиз, 1961. – 340 с.
2. **Пановко Я.Г., Губанова И.И.** Устойчивость и колебания упругих систем. - М.: Наука, 1979. - 384 с.
3. **Мовчан А.А.** О колебаниях пластинки, движущейся в газе // ПММ. – 1956. - Т.20.- С. 211-222.
4. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти томах. Т.1 / Под ред. **В.В. Болотина**. – М.: Машиностроение, 1978. - 352с.
5. **Белубекян М.В., Геворкян С.Х., Самра Г.А.** К задаче устойчивости пластинки при обтекании сверхзвуковым потоком // Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред: Сборник трудов. V Междун. конференции / Изд. НАН РА.- Ереван, 2005. - С. 88-92.
6. **Геворкян С., Самра Г.** К задаче исследования сил сопротивления на устойчивость пластинки в сверхзвуковом потоке // Сб. материалов годичной научн. конф. ГИУА. - Ереван, 2005. – Т.2. - С. 373-376.

SEUA. The material was received at the Editorial Board on 03.05.2006.

Ղ.Ա. ՍԱՄՐԱ

**ԳԵՐՁԱՅՆԱՅԻՆ ՇՐՋՆՈՍՄԱՆ ԵՎ ԵԶՐԵՐԻՆ ԿԵՆՏՐՈՆԱՑԱԾ ԶԱՆԳՎԱԾՆԵՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ
ՂԵՊՔՈՒՄ ՍԱԼԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴԻՐԸ**

Դիտարկվում է գազի գերձայնային հոսքով շրջապատվող վերջավոր երկարության բարակ սալի կայունության խնդիրը, սալի զանգվածը արհամարհվում է, սակայն համարվում է, որ սալի ամրակցված եզրերին կան նաև կենտրոնացած զանգվածներ, որոշված են ֆլաթերային անկայունության հանգեցնող շրջհոսման կրիտիկական արագությունները:

Առանցքային բաղեր. սալեր, կայունություն, գերձայնային հոսք, ներդաշնակ տատանումներ, թրթռում, արագության տարամիտում, կենտրոնացված կշիռ:

Г.А. САМРА

**ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ ОБТЕКАНИИ И
НАЛИЧИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ МАССЫ НА КРОМКАХ**

Рассматривается задача устойчивости тонкой пластинки конечной длины, обтекаемой сверхзвуковым потоком газа. Масса пластинки пренебрегается, но считается, что на ее закрепленных кромках имеются сосредоточенные массы. Найдены критические скорости обтекания, приводящие к флаттерной неустойчивости.

Ключевые слова: пластинка, стабильность, сверхзвуковой поток, гармонические колебания, вибрация, скорость расхождения, сконцентрированный вес.

А.В. АРТУНЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ВЫСОТЕ ПРЕССОВКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОЖНОПРОСТРАНСТВЕННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Рассмотрена возможность проектирования УЗ оснастки и осуществления процессов прессования, в контексте целенаправленных, запрограммированных соотношений сжимающих и касательных напряжений в прессуемом объекте, для достижения, с позиций осуществления в материале процесса самоорганизации, благоприятных условий, обеспечивающих высокую компактность прессовки.

Ключевые слова: самоорганизация, прессование, компактирование, ультразвук.

Достижения современной науки в развитии неравновесной термодинамики, синергетики и их приложений показывают высокую значимость энергетических потоков при структурообразовании, причем здесь существенными являются не только скорость подпитки энергией и в какой форме она подводится в систему, формирующую структуру, но и в какой возможной кинематической сингулярности она подводится [1,2]. В процессе деформирования материала и воздействия на его структурочувствительные параметры необходима дополнительная энергия, расширяющая возможности структур в поиске оптимальных решений и траекторий развития в пространстве возможных состояний, т.е. с позиций технологий обработки, нужны комбинированные методы. Особое место среди них занимают нашедшие широкое применение во многих процессах обработки материалов ультразвуковые (УЗ) и вибрационные методы обработки. Опыт их применения в процессах прессования с ультразвуковыми колебаниями (УЗК) и исследования отмечают высокую эффективность подпитки дополнительной энергией УЗК структурообразующих систем. Более того, этот метод допускает возможность осуществлять энергоподпитку структуры без ощутимого изменения средней температуры объекта, что в ряде случаев недопустимо. Механизм явно положительного влияния УЗК на технологические процессы в какой-то мере выяснен, но здесь есть разночтения. Поэтому на фоне того, что многие вопросы реологии деформирования материалов еще не получили полного объяснения и перспективности исследования реологии вибропроцессов на базе современных достижений науки: неравновесной термодинамики, синергетики, теории пластичности и упругости, и необходимости разработки качественно новых технологий, важность исследования вибрационных процессов безусловна.

Исследования процесса прессования с наложением крутильно-радиальных УЗК на матрицу, в сравнении с иным пространством УЗК, показали, безусловно, положительные результаты [3,4]. Однако при этом был выявлен один недостаток разработанной конструкции концентратора УЗК. Очевидно, что статическая сила, воздействующая со стороны верхнего и нижнего пуансонов, в случае наличия

УЗК верхнего пуансона снижает эффективность крутильно-радиальных УЗК матрицы, вследствие чего сжимающие и касательные напряжения по высоте прессовки в результате УЗК распределяются неравномерно, и в зоне центрального участка они выше, чем в ближних к пуансонам слоях.

В результате анализа различных конструкций матриц-концентраторов стало возможным устранить отмеченный недостаток у уже исследованной УЗ колебательной системы, более того, расширить кинематические возможности. Разработана и изготовлена новая акустическая система (рис.1), позволяющая в процессе прессования в прессовке получать различные по высоте сжимающие и касательные напряжения. В зависимости от целей нужны соответствующие исполнения акустической системы. Она, как и прежняя, состоит из свернутой призматической четырехкрылой матрицы-концентратора 1 и трансформаторов УЗК 2 от серийных преобразователей ПМС 6-22 с выходной мощностью 1,25 кВт. Концентраторы матрицы 1 выполнены в виде логарифмической спирали, ось которой сопрягается с поверхностью матрицы под углом, что позволяет получить крутильно-касательные УЗК поверхности отверстия матрицы и усиление амплитуды в зоне прессования ввиду снижения сечения концентратора у поверхности отверстия матрицы. А согласно расчетам, в зоне прессования одновременно возбуждаются и радиальные УЗК ввиду разности длин наружной и внутренней логарифмических спиральных поверхностей концентраторов.

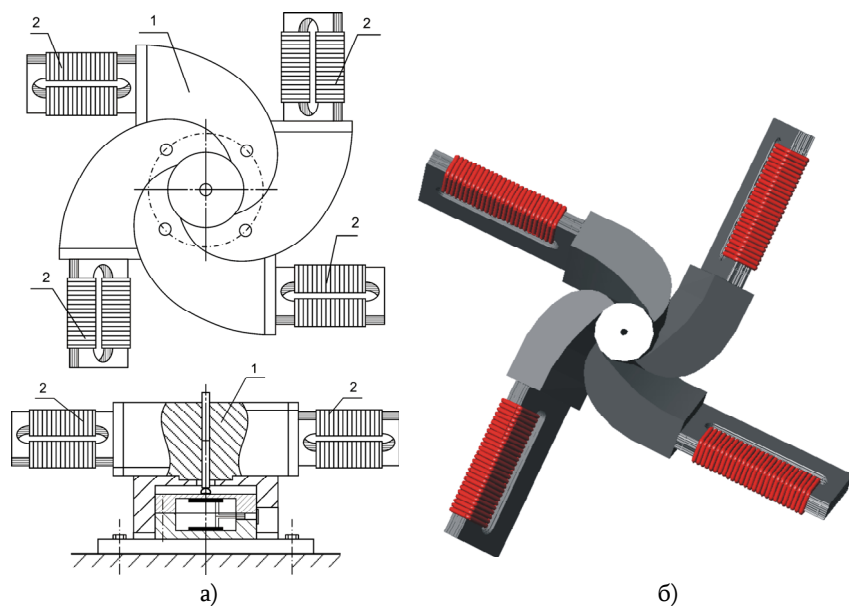


Рис. 1. Схема акустической системы для прессования порошков с применением крутильно-радиальных УЗК матрицы и обеспечением необходимого уровня касательных напряжений

Для правильного представления разработанной конструкции в пространстве на рис. 1 б приведена стереометрия устройства, выполненного в рамках возможностей CAD. Для снижения потерь внутренние и наружные поверхности концентраторов отделены пазами толщиной 0,4 мм. Обмотки возбуждения УЗК соединены последовательно, и УЗК у поверхности отверстия матрицы синфазны. Отличие новой схемы прессования в том, что концентраторы повернуты вокруг своей оси на определенный угол относительно оси матрицы. Вследствие этого волна УЗК доходит до прессовки в различных точках относительно её радиуса с соответствующей амплитудой. Очевидно, что в близлежащих к пуансону слоях она существеннее. Величина угла наклона концентраторов определяет касательные напряжения, вызванные УЗК, следовательно, величины сжимающих и касательных напряжений в пространстве прессования относительно ее оси.

Проведены контрольные исследования характеристик прессовок после спекания, которые показали, что при равномерных по высоте энергетических потоках акустической природы представляется возможным после спекания получить структуры с практически равномерными характеристиками по высоте, мало уступающие монолитным. По результатам измерений в шести сечениях приведено изменение сравнительного коэффициента компактированности порошков по высоте таблетки в сравнении с результатами на высоте 4 мм от основания и применением новой акустической системы (рис.2).

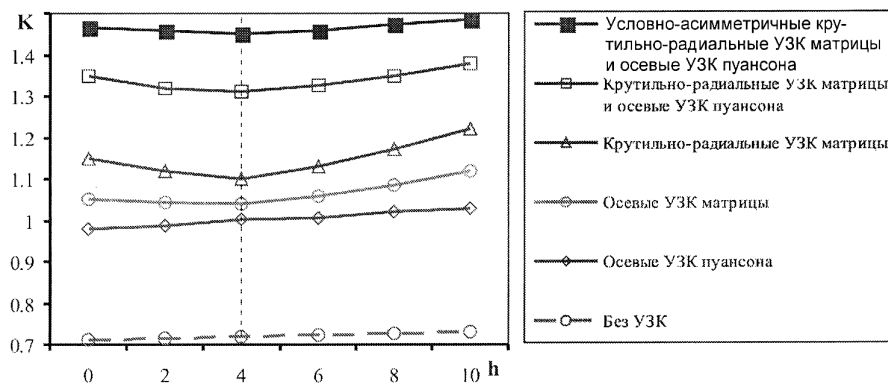


Рис.2. Изменение сравнительного коэффициента компактированности порошков по высоте прессовки в зависимости от схемы наложения УЗК на процесс

Сравнительная оценка результатов исследования процесса прессования порошковых материалов в закрытых объемах в пространстве УЗ энергетических потоков показала те же качественные показатели - существенное улучшение возможностей компактирования материала и заполнения предоставленного объема, т.е. дополнительная подпитка структуроформирующей системы УЗ энергией расширяет возможности явлений самоорганизации в материальных структурах, находящихся в поле напряжений сжатия. Установлено существенное повышение плотности прессовок специальных материалов для выращивания кристаллов, вследствие чего увеличивается объем выращенного кристалла. При

прессовании пластичных материалов *серебро, медь*, слоистых образцов *медь-серебро* и *серебро-золото* в закрытых объемах отмечено, что в случае применения одновременно двух схем наложения УЗК -крутильно-радиальные матрицы и осевые пуансона, в том числе с неравномерно распределенными по высоте прессовки сдвиговыми напряжениями, меняются физико-механические свойства образцов, наблюдается явное улучшение условий деформирования, позволяющее получение таких изделий сложной формы, которые редко удастся получить традиционными методами пластического деформирования без нагрева или нескольких переходов с промежуточными отжигами, например, выпускаемые ЕЮЗ конкурентоспособные сложные корпусы часов из драгметаллов.

Комплексные исследования комбинированных технологических процессов с дополнительной подпиткой энергией, в том числе прессования с применением различных схем наложения УЗК, продолжаются в направлении определения оптимального метода подпитки энергией, разработки соответствующих решений структуроформирующей колебательной системы для обеспечения посредством сложных схем наложения УЗК в процессе прессования должного соотношения нормальных и касательных напряжений в структурируемом материале и определения наиболее удачного сочетания акустических параметров УЗК для возможно полноценной реализации возможностей материальных структур к самоорганизации при осуществлении прессования в закрытых объемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гленсдорф П., Пригожин И.** Термодинамическая теория структур, устойчивости и флуктуаций / Пер. с англ. -М.: Мир. - 1980. - 280 с.
2. **Касьян М.В., Христафорян С.Ш.** К вопросу о механизме возникновения структуры резания // Известия Вузов. Машиностроение. - М., 1990. - N2. -С.121-124.
3. **Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С., Артунян А.В.** Повышение эффективности процесса прессования деталей в закрытых объемах с применением сложных схем наложения ультразвуковых колебаний // Проблемы прикладной механики: Международный научный журнал – Тбилиси. - 2004.- 2(15) - С.74-77.
4. **Христафорян С.Ш., Артунян А.В.** Особенности процесса прессования материалов в закрытых объемах с использованием различных схем наложения УЗК // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. -Донецк: ДонНТУ, 2006.-Вып.31. - С.305-310.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 19.11.2005.

Ա.Վ. ԱՐԹՈՒՆՅԱՆ

ՄԱՍԼՎԱԾՔԻ ԲԱՐՁՐՈՒԹՅԱՄԲ ԲԱՐԴ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ԳՁՏ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ՏԱՐԲԵՐ
ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Դիտարկվել է ԳՁ սարքավորումների նախագծման, մամլման գործընթացների իրականացման հնարավորությունը մամլվող օբյեկտում սեղմող և շոշափող լարումների նպատակառոդված հարաբերակցությունների կոնտեքստում, նյութում ինքնակազմակերպման գործընթացի իրականացման տեսանկյունից մամլվածքի խիտ դարսվածք ապահովող բարենպաստ պայմանների ապահովման համար:

Առանցքային բաներ. ինքնակազմակերպում, մամլում, կոմպակտավորում, գերձայն:

A.V. ARTUNYAN

THE POSSIBILITY OF OBTAINING DIFFERENT STRESSES WITH THE HEIGHT OF PRESSING
BY THE USE OF THREE-DIMENSIONAL ULTRASONIC FLUCTUATIONS

The possibility of designing ultrasonic rigging and realization of the processes of extrusion, with the guarantee of the goal-directed programmed relationships of the compressive and tangential stresses in the pressing, for achievement of the most favorable possible conditions and guarantee of high density of pressing is examined.

Keywords: self-organization, pressing, compactness, ultrasonic.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ԲԱՐՁՐ ԼԻԱՄԽՎԵԼԻՈՒԹՅԱՄԲ ՈՉ ՋԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆ ԳՈՐԾԻՔԱՅԻՆ
ՊՈՂՊՍՏՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՑԻԿԼԻԿ ՄԻՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՆԱԻՐԻՏԱՅԻՆ ԼԱՏԵՔՍԻ ԶՐԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ**

Կատարվել է XBF և 9XC մակնիշի պողպատների ջերմացիկլիկ միման գործընթացի հետազոտում նախնիտային լատեքսի ջրային լուծույթում: Արդյունքում մշակվել է միման նոր տեխնոլոգիա, որը մանրահատիկ կառուցվածքի ստացման շնորհիվ ապահովում է բարձր մեխանիկական հատկություններ, հատկապես ամրություն և հարվածային մածուցիկություն:

Առանցքային բառեր. պողպատ, ջերմակայունություն, լիամխվելիություն, լատեքս, ջերմացիկլիկ միմում, արձակում, կարծրություն, ամրություն, մածուցիկություն, միկրոստրուկտուրա:

Ժամանակակից նյութագիտության կարևոր ուղղություններից է տեխնոլոգիական գործընթացների լավարկումը, մասնավորապես ջերմային մշակման կատարելագործումը, որը հնարավորություն կտա ապահովել պահանջվող ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններ, հատկապես բարձր կարծրություն, ամրություն, հարվածային մածուցիկություն և այլն:

Խնդրի լուծման եղանակներից մեկը, որը վերաբերում է արտադրանքի որակի և մեխանիկական հատկությունների բարձրացմանը, ջերմամշակման եղանակի և սառեցնող միջավայրի ճիշտ ընտրությունն է: Ինչպես հայտնի է [1], ջերմային մշակման բոլոր տարատեսակների դեպքում, եթե մեծանում են ամրության բնութագրերը, ապա նվազում են պլաստիկության ու մածուցիկության ցուցանիշները: Մեխանիկական հատկությունների համալիր մեծացման նպատակով հաճախ իրականացվում է ջերմային մշակման մի քանի տեսակների գույքորդում, ինչպիսիք են ջերմամեխանիկական, քիմիկաջերմային մշակումները և այլն: Սակայն այս դեպքում ևս ոչ միշտ են ստացվում պահանջվող համալիր մեխանիկական հատկություններ: Խնդիրը հաջողությամբ կարելի է լուծել ջերմացիկլիկ մշակման եղանակով: Այս տեսակետից ներկայացված աշխատանքը, որի նպատակն է բարձր լիամխվելիությամբ ոչ ջերմակայուն XBF և 9XC մակնիշների գործիքային պողպատների ջերմացիկլիկ միման գործընթացի հետազոտումը նախնիտային լատեքսի ջրային լուծույթում, խիստ արդիական է և հրատապ, ինչը պայմանավորված է նաև նրանով, որ ՀՀ-ում առկա է միման միջավայրի հումքային բազա, որի ինքնարժեքը մի քանի անգամ փոքր է ավանդական եղանակով օգտագործվող յուղերի ինքնարժեքից:

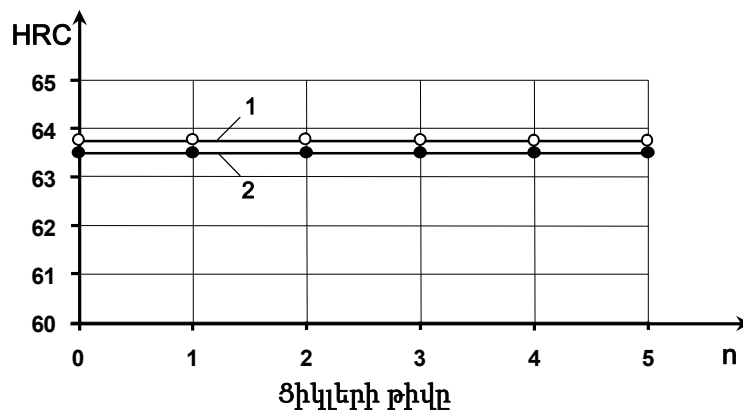
Ջերմացիկլիկ ջերմամշակման ժամանակ կարևոր նշանակություն ունի տաքացման և սառեցման ցիկլերի թիվը՝ $n_{\text{ց}}$, ինչպես նաև տաքացման և սառեցման արագությունները: Տաքացման փոքր արագության ժամանակ պողպատի կառուցվածքը ստացվում է կայուն աուստենիտային: Տաքացման չափավոր արագության դեպքում, դիֆուզիոն փոխակերպությանը զուգընթաց, տեղի են ունենում նաև ոչ դիֆուզիոն փոխակերպություններ, որոնց հետևանքով առաջանում է որոշակի քանակությամբ անկայուն աուստենիտ, իսկ մեծ արագությունների

դեպքում տեղի է ունենում ոչ դիֆուզիոն փոխակերպություն, որն ամբողջությամբ ապահովում է անկայուն աուստենիտի առաջացում: Գործնականում հիմնականում կիրառվում է տաքացման չափավոր (միջին) արագությունը [2], որը տատանվում է $(0,8...0,16)^{\circ}\text{C/վրկ}$ սահմաններում: Արագ տաքացման ժամանակ, երբ ջերմաստիճանը A_{c1} -ից շատ բարձր չէ, ի տարբերություն դանդաղ տաքացման, աուստենիտը ստացվում է մանրահատիկ՝ ածխածնով ավելի աղքատ, իսկ ֆերիտի հետ սահմանային մասերում՝ ածխածնի բարձր կոնցենտրացիայի շնորհիվ այն ավելի կայուն է: Հետագա սառեցման ժամանակ այսպիսի աուստենիտը փոխակերպվում է ոչ թե ֆերիտ-պեռլիտային խառնուրդի, ինչպես միշտ, այլ ստացվում են ֆերիտի խոշոր հատիկներ և մանրահատիկ ֆերիտի ու պեռլիտի խառնուրդ, այսինքն $\Phi + (\Gamma + \Phi)$: Սա հատիկի մանրացման առաջին փուլն է: Տաքացման և սառեցման յուրաքանչյուր ցիկլից հետո ստացվում է ավելի մանրահատ կառուցվածք: Անհրաժեշտ է նշել, որ սառեցման ժամանակ թերթավոր պեռլիտի կառուցվածքը ամբողջությամբ ձևավորվում է $\sim 600^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում, այնպես որ հետագա սառեցումը պողպատի կառուցվածքը չի փոխում: Այդ իսկ պատճառով, ջերմացիկլիկ մշակման ժամանակ սառեցումն իրականացվել է A_{c1} -ից $(80...100)^{\circ}\text{C}$ ցածր ջերմաստիճանում, ինչը տնտեսապես շահավետ է: Վերջնական տաքացումից հետո միումը կատարվել է նաիրիտային լատեքսի 1,25% ջրային լուծույթում [3]:

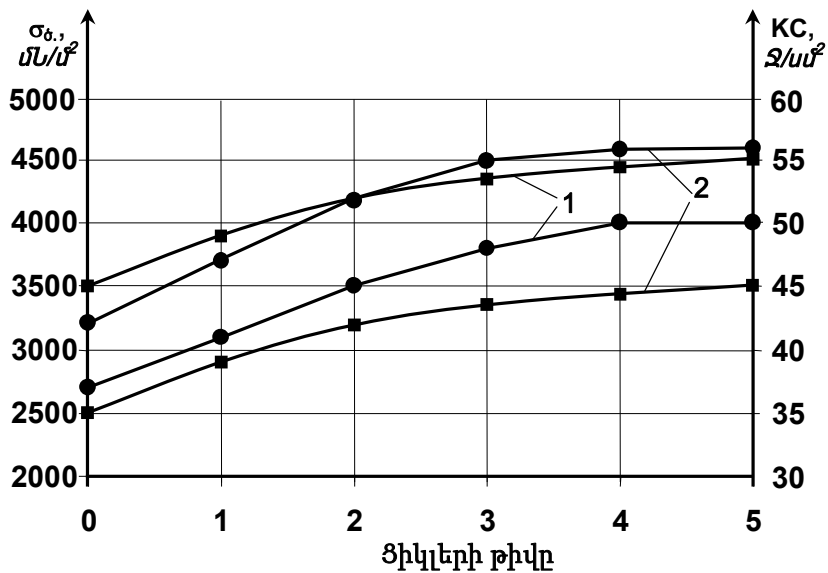
Ջերմացիկլիկ մշակման ժամանակ կարևոր դեր է կատարում ջերմադիֆուզիան (ջերմաստիճանի գրադիենտի ազդեցության տակ առաջացած դիֆուզիա), ինչը ոչ միայն արագացնում է նյութերում մի շարք գործընթացների ընթացքը, այլև օժանդակում է տրված հատկություններով կառուցվածքի ձևավորմանը: Ջերմացիկլիկ մշակման ժամանակ մեխանիկական հատկությունների բարձրացմանը նպաստող գործոններից է մետաղի նախնական մակակոփումը: Վերջինս նվազեցնում է տաքացման ժամանակ ֆազային փոխակերպության ջերմաստիճանը, մեծացնում ոչ դիֆուզիոն $\alpha \leftrightarrow \gamma$ փոխակերպության մասը, որի հետևանքով կրճատվում է ցիկլերի թիվը:

Փորձերը կատարվել են հետևյալ հերթականությամբ. XBF (9XC) մակնիշի պողպատից պատրաստված առաջին նմուշը տաքացվել է էլեկտրական վառարանում մինչև 830°C (870°C), պահվել այդ ջերմաստիճանում 1,5 րոպե և միավել նաիրիտային լատեքսի 1,25% ջրային լուծույթում մինչև սենյակային ջերմաստիճանը: Երկրորդ նմուշը նույնպես տաքացվել է 830°C (870°C), պահվել այդ ջերմաստիճանում 1,5 րոպե, այնուհետև մեկ այլ վառարանում սառեցվել մինչև 610°C (630°C), որից հետո տեղափոխվել է նախորդ վառարան և տաքացվել մինչև 830°C (870°C), պահվել այդ ջերմաստիճանում 1,5 րոպե վառարանի մեջ և դարձյալ միավել նաիրիտային լատեքսի 1,25% ջրային լուծույթում մինչև սենյակային ջերմաստիճանը և այսպես փորձը շարունակվել է մինչև հինգ ցիկլ: Փորձի համար օգտագործվել է երկու վառարան, որոնցից մեկի ջերմաստիճանը եղել է 610°C (630°C), իսկ մյուսինը՝ 830°C (870°C):

Ներքին լարումների փոքրացման նպատակով միումից հետո կատարվել է ցածր ջերմաստիճանային արձակում ($T_{\text{արձ.}} = 160 \pm 10^{\circ}\text{C}$): Նշված ռեժիմներով ջերմամշակումից հետո կատարվել է պողպատների հատկությունների (նկ.1, 2) և կառուցվածքի (նկ.3, 4) հետազոտում, որոնք իրականացվել են NEOFOT-21 մակնիշի օպտիկական մանրադիտակի, TK-2M մակնիշի կարծրաչափի, Տիրատեստ-2300 ձգման մեքենայի և PCB-30 մակնիշի ճոճանակավոր ցցահարի վրա:



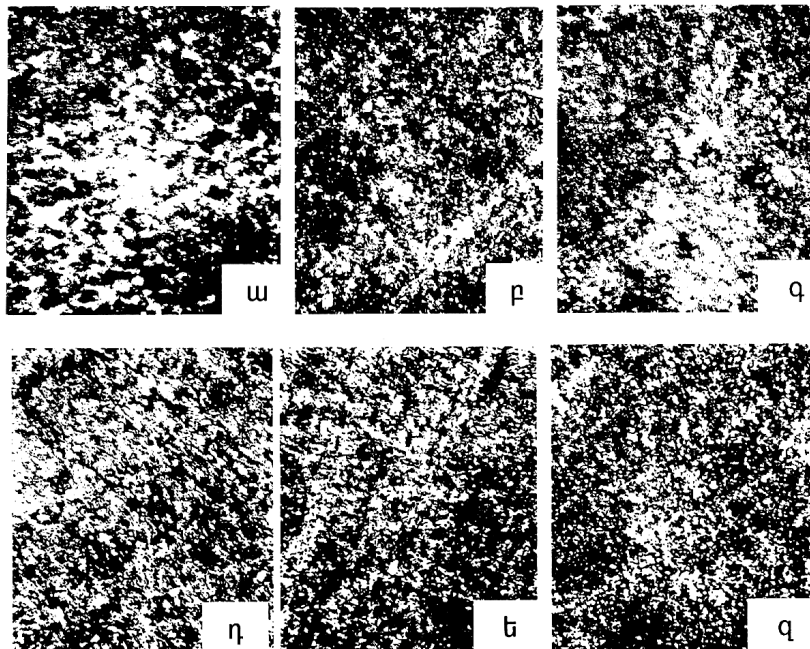
Նկ.1. Ջերմացիկլիկ եղանակով միաված և արձակված (160°C , 1σ) բարձր լիամիավելիությամբ ոչ ջերմակայուն գործիքային պողպատների կարծրության կախվածությունը ցիկլերի թվից՝ 1 – XBF, 2 – 9XC



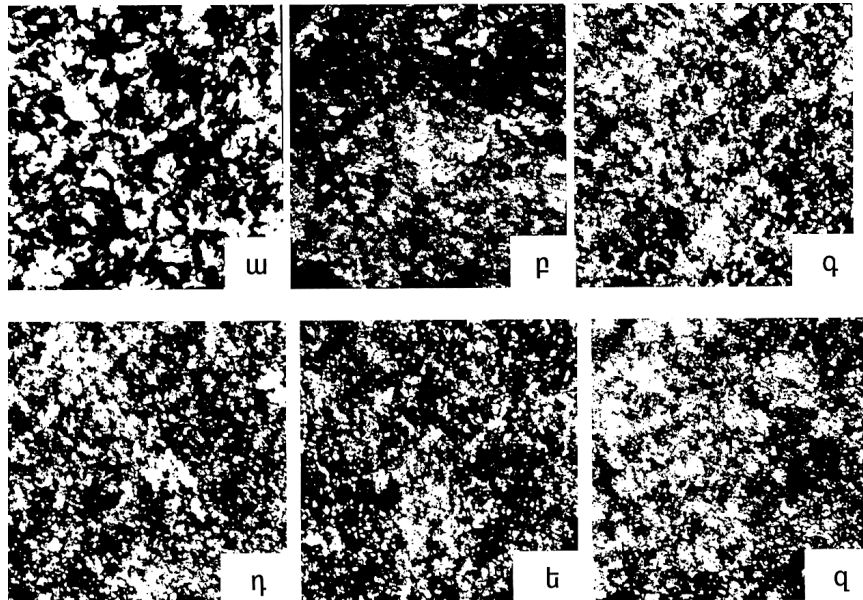
Նկ.2. Ջերմացիկլիկ եղանակով միաված և արձակված (160°C , 1σ) բարձր լիամիավելիությամբ ոչ ջերմակայուն գործիքային պողպատների ծոման ամրության սահմանի և հարվածային մածուցիկության կախվածությունը ցիկլերի թվից՝ 1 – XBF, 2 – 9XC; ● – KC ■ – σ_{δ}

Ակնհայտ է (նկ.1), որ ցիկլերի թվից կախված կարծրության փոփոխություն չի նկատվում, ինչը և սպասվում էր: Միանգամայն այլ է պատկերը ծոման ամրության և հարվածային մածուցիկության համար, որոնք աճում են հատիկի դիսպերսության մեծացմանը զուգընթաց: Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, երեք ցիկլից հետո ծոման ամրության և հարվածային մածուցիկության փոփոխությունը դառնում է աննշան, իսկ չորս ցիկլից հետո դրանք այլևս չեն փոխվում: Ելնելով վերոհիշյալից՝ որպես ցիկլերի օպտիմալ թիվ ընտրվել է չորսը, որի դեպքում հարվածային մածուցիկությունը XBF պողպատի մոտ աճել է 37 Ջ/սմ^2 -ից 50 Ջ/սմ^2 , իսկ ծոման ամրության սահմանը՝ 3500 մՆ/սմ^2 -ից 4500 մՆ/սմ^2 , մինչդեռ 9XC պողպատի մոտ KC աճել է 42 Ջ/սմ^2 -ից 57 Ջ/սմ^2 , իսկ σ_b -ը՝ 2500 մՆ/սմ^2 -ից 3500 մՆ/սմ^2 , որը հնարավոր չէ իրականացնել ջերմամշակման այլ եղանակներով: Նշվածը պայմանավորված է ստացված մանրահատիկ կառուցվածքով (նկ.3 և 4), որը կրկին անգամ ապացուցում է ջերմացիկլիկ ջերմային մշակման առավելությունները:

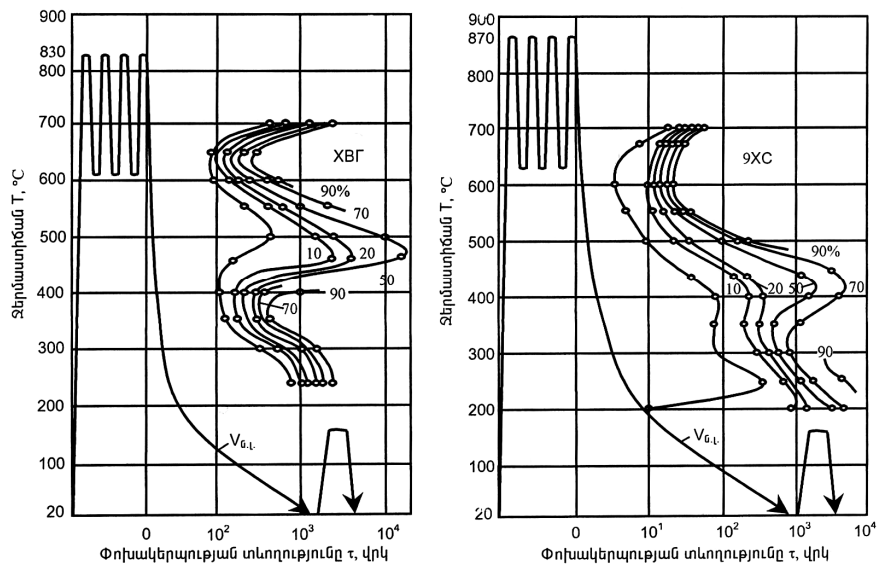
Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է XBF և 9XC մակնիշների գործիքային պողպատների համար ջերմային մշակման նոր տեխնոլոգիա, որը ներառում է ջերմացիկլիկ միտում նախրիտային լատեքսի 1,25% ջրային լուծույթում՝ հետագա ցածր ջերմաստիճանային արձակումով (նկ.5):



Նկ. 3. Ջերմացիկլիկ եղանակով միավաճ և արձակված (160°C , 1ժ) XBF մակնիշի գործիքային պողպատի միկրոկառուցվածքը՝ կախված ցիկլերի թվից ($\times 500$)
ա - $n=0$, բ - $n=1$, գ - $n=2$, դ - $n=3$, ե - $n=4$, զ - $n=5$



Նկ. 4. Ջերմացիկլիկ եղանակով միավաճ և արձակված (160°C , 1σ) 9XC մականիշի գործիքային պողպատի միկրոկառուցվածքը՝ կախված ցիկլերի թվից ($\times 500$)
ա - $n=0$, բ - $n=1$, գ - $n=2$, դ - $n=3$, ե - $n=4$, զ - $n=5$



Նկ.5. XBG և 9XC մականիշների գործիքային պողպատների ջերմացիկլիկ միաման սեխնուլոգիան նաիրիտային լատեքսի 1,25% ջրային լուծույթում

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Новиков И.И.** Теория термической обработки металлов: Учебник. Изд. 3-е.-М.: Металлургия, 1978.- 392с.
2. **Федюкин В.К.** Метод термоциклической обработки металлических материалов.- Л.: ЛДНТП, 1979.-21с.
3. Աղբալյան Ս.Գ., Պետրոսյան Ա.Ա., Ստեփանյան Հ.Մ. ХВГ մակնիշի գործիքային պողպատի միմյան գործընթացի հետազոտումը նաիրիտային լատեքսի ջրային լուծույթում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2006. – Հ. 59, № 2. - էջ 285-292:

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 10.02.2006:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НЕТЕПЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ ВЫСОКОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАИРИТОВОГО ЛАТЕКСА

Проведено исследование термоциклической закалки сталей ХВГ и 9ХС в водном растворе наиритового латекса. Разработана новая технология закалки, которая за счет мелкозернистой структуры обеспечивает высокие механические свойства, особенно прочность и ударную вязкость.

Ключевые слова: сталь, теплостойкость, прокаливаемость, латекс, термоциклическая закалка, отпуск, твердость, прочность, вязкость, микроструктура.

S.G. AGHBALYAN, A.A. PETROSYAN

STUDY OF THERMOCYCLIC FORGING PROCESS FOR NONTHERMAL RESISTANT STEEL WITH HIGH HARDENABILITY WATER SOLUTION OF NAIRIT LATEX

Thermocyclic forging of ХВГ and 9ХС study in water solution of Nairit latex is discussed. A new forging technology on the basis of finegrained structure of high mechanical properties especially, hardness and shock viscosity is developed.

Keywords: steel, thermal resistance, hardenability, latex, thermocyclic, forging, hardening, durability, viscosity, microstructure.

А.О. ЗАКАРЯН, А.Р. ХАЧАТРЯН, Н.Н. КИРАКОСЯН, А.О. ТОНОЯН,
В.Г. ТОВМАСЯН, С.П. ДАВТЯН

О ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМАХ АНИОННОЙ АКТИВИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ϵ - КАПРОЛАКТАМА

Проведен качественный анализ диаграммы Семенова тепловыделение-температура, исследованы критические переходы тепловых режимов при анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама. В условиях последовательного протекания процессов полимеризации и кристаллизации наблюдается большое разнообразие тепловых режимов по сравнению с классическим случаем, рассмотренным еще Семеновым. Показано, что даже для слабоэкзотермических реакций полимеризации существует критическое значение параметра Семенова, при котором наблюдается скачкообразный переход от квазиизотермического - низкотемпературного к квазиadiaбатическому - высокотемпературному тепловым режимам.

Ключевые слова: полимеризация, тепловыделение, критические условия, высокотемпературный - квазиadiaбатический режим.

Введение. Независимо от механизма полимеризации (радикальная, ионная или поликонденсация), процессы образования полимерных материалов сопровождаются тепловыделением, что часто приводит к саморазогреву реакционной смеси и изменению тепловых режимов полимеризации. Классическим примером может служить практически термонеutralный процесс анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама. Несмотря на то, что тепловой эффект полимеризации ϵ -капролактама составляет всего $\sim 13,4$ кДж·моль⁻¹, aдиабатический разогрев достигает 90...92°C. При этом одновременно с полимеризацией протекает экзотермическая кристаллизация образовавшегося полимера с тепловым эффектом ~ 25 кДж·моль⁻¹, вносящая свой вклад в повышение температуры реакции.

Необходимо отметить, что для любых экзотермических химических процессов протекание реакции в квазиизотермическом-низкотемпературном или квазиadiaбатическом-высокотемпературном режимах определяется отношением скоростей тепловыделения и теплоотвода, т.е. параметром Семенова [1]. В этом плане интересно, что аналогично развитию теплового взрыва, при радикальной полимеризации этилена [2] (под высокими давлениями) и стирола [3] переход от низкотемпературного к высокотемпературному режиму осуществляется не постепенно, а существует критическое значение параметра Семенова, при котором наблюдается скачкообразный переход.

Целью данной работы является исследование тепловых режимов в зависимости от параметра Семенова для слабоэкзотермической анионной

активированной полимеризации ϵ -капролактама (совмещенных¹ и разделенных во времени процессов полимеризации и кристаллизации) .

1. Качественный анализ диаграммы тепловыделение-температура. В условиях анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама, без учета теплоотвода, скорость суммарного повышения температуры реакции складывается из процессов полимеризации и кристаллизации, т.е.

$$c\rho \frac{dT}{dt} = q_{\alpha} \frac{d\Pi}{dt} + q_{\beta} \frac{d\Pi_{\text{кр}}}{dt} , \quad (1)$$

где c , ρ - усредненные теплоемкость и плотность реакционной смеси; T - текущая температура среды; q_{α} , q_{β} - тепловые эффекты полимеризации и кристаллизации; Π , $\Pi_{\text{кр}}$ - соответственно количество образовавшегося полимера и его закристаллизованная часть; t - время.

Глубина превращения α и степень кристаллизации β определяются следующим образом:

$$\alpha = \frac{M_0 - M}{M_0} = \frac{\Pi}{M_0} = \frac{T_{\alpha} - T_0}{T_{\infty}^{\alpha} - T_0}; \quad \beta = \frac{\Pi_{\text{кр}}}{M_0} = \frac{T_{\beta} - T_0}{\frac{q_{\beta}}{q_{\alpha}}(T_{\infty}^{\alpha} - T_0)} . \quad (2)$$

Здесь M_0 , M - начальная и текущая концентрации мономера; T_0 - начальная температура реакции; T_{α} , T_{β} - текущие температуры за счет полимеризации и кристаллизации; T_{∞}^{α} - конечная температура за счет полимеризации, рассчитанная на полное превращение мономера в полимер.

Теперь в предположении, что анионная активированная полимеризация ϵ -капролактама осуществляется в реакторе периодического действия, градиенты температур в объеме реакционной смеси отсутствуют и сосредоточены в стенке реактора, а теплоотвод осуществляется по закону Ньютона, уравнение баланса по температуре может быть записано следующим образом:

$$c\rho \frac{dT}{dt} = q_{\alpha} \cdot M_0 \frac{d\alpha}{dt} + q_{\beta} \cdot M_0 \frac{d\beta}{dt} - \frac{hs}{V}(T - T_0), \quad (3)$$

где h - коэффициент теплоотдачи; s , V - площадь поверхности и объем реактора.

В выражении (3) скорости полимеризации и кристаллизации задаются уравнениями [4 - 7]

$$\frac{d\alpha}{dt} = (1 - \alpha)K_{10} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right) + \alpha(1 - \alpha)K_{20} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \quad (4)$$

¹ В условиях адиабатической анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама при начальных температурах $<150^{\circ}\text{C}$ имеет место совмещенный процесс полимеризации и кристаллизации, а при $\geq 150^{\circ}\text{C}$ - разделенный.

и

$$\frac{d\beta}{dt} = K(T)(1 + a_0\beta)[\alpha\beta_p(T) - \beta]. \quad (5)$$

В выражении (4), начиная с малых глубин превращения, $\alpha(1 - \alpha)K_{20} \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \gg (1 - \alpha)K_{10} \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right)$. Поэтому в дальнейшем в (4) учтем только второй член. В (5) $\beta_p(T)$ определяется [8] следующим образом:

$$\beta_p(T) = 0,54 \left[1 - \left(\frac{T}{T_{пл}} \right)^4 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Для построения диаграммы Q от T необходимо учитывать, что $T = T_\alpha + T_\beta$. Тогда

$$c_p \frac{dT}{dt} = c_p \frac{d(T_\alpha + T_\beta)}{dt} = c_p \frac{dT_\alpha}{dt} + c_p \frac{dT_\beta}{dt}. \quad (7)$$

В соотношении (7) имеем

$$c_p \frac{dT_\alpha}{dt} = q_\alpha \frac{d\alpha}{dt} = \frac{d(\alpha \cdot q_\alpha)}{dt} = \frac{dQ_\alpha}{dt}. \quad (8)$$

Аналогично получим

$$c_p \frac{dT_\beta}{dt} = \frac{dQ_\beta}{dt}, \quad (9)$$

где Q_α , Q_β - тепловыделения за счет полимеризации и кристаллизации.

С учетом того, что общее тепловыделение является суммой тепловыделений за счет полимеризации и кристаллизации, т.е. $Q = Q_\alpha + Q_\beta$, уравнение (3) может быть переписано в виде

$$\frac{dQ}{dt} = q_\alpha \frac{d\alpha}{dt} + q_\beta \frac{d\beta}{dt} - h \frac{s}{v} (T - T_0). \quad (3')$$

Начальными условиями системы уравнений (4), (5) и (3)' являются

$$t = 0; \quad Q = 0; \quad \alpha = 0; \quad \beta = 0; \quad T = T_0. \quad (10)$$

Анализ диаграммы Q-T можно провести для двух случаев:

- тепловыделение осуществляется только за счет полимеризации;
- тепловыделение осуществляется за счет последовательно протекающих процессов полимеризации и кристаллизации.

Очевидно, что если в реакционной среде происходит только полимеризация, то

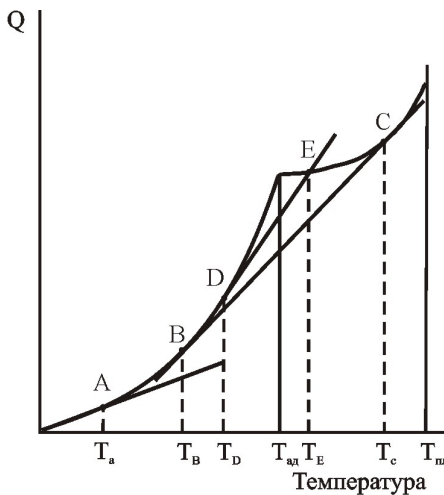
$$\frac{d\beta}{dt} = 0, \text{ и из (3)' получим}$$

$$\frac{dQ_{\alpha}}{dt} = q_{\alpha} K_{10} \exp\left(-\frac{E_1}{RT_{\alpha}}\right) - h \frac{s}{v} (T_{\alpha} - T_0). \quad (11)$$

Этот случай сводится к классическому, рассмотренному еще Семеновым [1], и в данной работе не рассматривается.

Для последовательно протекающих процессов полимеризации и кристаллизации анализ необходимо проводить при следующих ограничениях: тепловыделение за счет полимеризации должно быть ограничено температурой адиабатического разогрева реакционной смеси ($T_{ад}$) на участке полимеризации, а за счет кристаллизации - температурой плавления кристаллического полимера, т.е. $T_{пл}$. Очевидно, что в интервале температур до $T_{ад}$ $d\beta/dt = 0$, а выше $T_{ад}$ - $d\alpha/dt = 0$.

Решение системы с указанными ограничениями представлено на рис. 1. Здесь ветвь кривой зависимости Q от T для интервала температур от начальных до $T_{ад}$ соответствует полимеризации, а от $T_{ад}$ до $T_{пл}$ - кристаллизации.



При последовательном протекании полимеризации и кристаллизации развитие процесса в высокотемпературном адиабатическом режиме может осуществляться в трех различных случаях.

1. Прямая теплопотерь касается кривой тепловыделения за счет полимеризации лишь в точке А (рис.1). Этот случай сводится к условиям, описанным в работе Семенова [1].

2. Прямая теплопотерь одновременно касается кривых тепловыделения как за счет полимеризации, так и кристаллизации в точках В и С (рис.1). В этом случае к условиям касания прямой теплопотерь ВС с кривой тепловыделения за счет полимеризации для точки В (рис.1) добавляются новые условия касания прямой теплопотерь с кривой тепловыделения за счет кристаллизации в точке С (рис.1), т.е.

Рис.1. Диаграмма тепловыделение – температура для последовательных процессов полимеризации и кристаллизации

$$q_{\alpha} K_{10} \exp\left(-\frac{E_1}{RT_{\alpha B}}\right) = \frac{hs}{v} (T_{\alpha B} - T_0), \quad (12)$$

$$q_{\alpha} K_{10} \frac{E_1}{RT_{\alpha B}^2} \exp\left(-\frac{E_1}{RT_{\alpha B}}\right) = h \frac{s}{v},$$

$$q_{\beta} K_0 \exp \left[-\frac{E}{RT_{\beta c}} - \frac{\psi T_{\text{пл}}}{R(T_{\text{пл}} - T_{\beta c})} \right] = \frac{hs}{v} (T_{\beta c} - T_0), \quad (13)$$

$$\frac{d}{dT} \left\{ q_{\beta} K_0 \exp \left[-\frac{E}{RT_{\beta c}} - \frac{\psi T_{\text{пл}}}{R(T_{\text{пл}} - T_{\beta c})} \right] \right\} = h \frac{s}{v}.$$

Совместное решение уравнений (12), (13) позволяет найти связь между $T_{\alpha\beta}$, $T_{\beta c}$ и T_0 . Однако в данном случае, в отличие от [1], получается алгебраическое уравнение шестой степени, и поэтому анализ здесь не приводится.

3. И, наконец, прямая теплопотерь, касаясь кривой тепловыделения в точке D за счет полимеризации, пересекается с кривой тепловыделения за счет кристаллизации в точке E (рис.1).

По условиям (12) для точки D полимеризация протекает в адиабатическом режиме, и температура реакции повышается до T_E . При температуре T_E , как это видно из рис. 1, происходит смена теплового режима, вследствие чего образовавшийся в адиабатическом режиме полимер кристаллизуется в изотермическом режиме при температуре T_E .

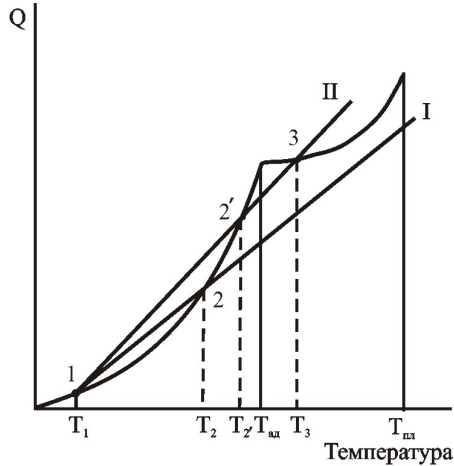


Рис.2. Диаграмма тепловыделение – температура для последовательных процессов полимеризации и кристаллизации

Для последовательных режимов полимеризации и кристаллизации пересечение прямой теплоотвода с кривыми тепловыделения также приводит к некоторым отличиям по сравнению с классическим случаем [1]. Так, если прямая теплоотвода пересекается только с кривой тепловыделения за счет полимеризации (рис.2, точки 1, 2), то возможные реализации тепловых режимов полностью аналогичны [1]. При этом точка 2 рис. 2 обеспечивает неустойчивое состояние реакционной смеси. А пересечение прямой теплоотвода с кривыми тепловыделения за счет полимеризации и кристаллизации в точках 1, 2', 3 (рис.2) приведет к реализации трех разных режимов.

При температуре T_1 обеспечивается устойчивый изотермический режим полимеризации, тогда как при температуре T_2 имеет место тепловой взрыв, а при температуре T_3 опять же произойдет смена тепловых режимов, и дальнейшая кристаллизация пройдет в изотермическом режиме при температуре T_3 .

2. О критических переходах тепловых режимов при анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама. Для определения тепловых режимов анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама численное решение системы (3)-(5) проводилось в безразмерных переменных по Франк-Каменецкому [9] с использованием следующих обозначений:

$$\theta = \frac{E}{RT_0^2}(T - T_0); \quad \gamma_1 = \frac{c_p RT_0^2}{q_\alpha E_1}; \quad \gamma_2 = \frac{c_p RT_0^2}{q_\beta E}; \quad c_1 = \frac{h}{c_p} \frac{s}{v k_1(T_0)}; \quad c_2 = \frac{k_2(T_0)}{k_1(T_0)};$$

$$c_3 = \frac{k_3(T_0)}{k_1(T_0)}; \quad \sigma_1 = \frac{E_2}{E_1}; \quad \sigma_2 = \frac{E_3}{E_1}; \quad \varepsilon = \frac{RT_0}{E_1}; \quad \varphi = \frac{\psi}{T_0}; \quad \delta = \frac{T_0}{T_{пл}}; \quad \tau = k_1(T_0)t.$$

Тогда система уравнений (3)-(6) переписывается следующим образом:

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{\gamma_1} \frac{d\alpha}{dt} + \frac{1}{\gamma_2} \frac{d\beta}{dt} - c_1 \theta,$$

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = (1 - \alpha) \exp\left(\frac{\theta}{1 + \varepsilon \theta}\right) + c_2 \alpha (1 - \alpha) \exp\left(\frac{\sigma_1 \theta}{1 + \varepsilon \theta}\right),$$

$$\frac{d\beta}{d\tau} = c_3 \exp\left[\frac{\sigma_2 \theta}{1 + \varepsilon \theta} + \frac{\varphi}{(1 + \varepsilon \theta)[1 - \delta(1 + \varepsilon \theta)]}\right] (1 + c\beta) [\alpha \beta_p(\theta) - \beta], \quad (14)$$

$$\beta_p(\theta) = 0,54 \left[1 - \left(\frac{\varepsilon \theta + 1}{\varepsilon \theta_{пл} + 1} \right)^4 \right]^{\frac{1}{2}}$$

с начальными условиями:

$$\tau = 0, \quad \alpha = \beta = 0, \quad \theta = 0. \quad (15)$$

Анализ решения системы (14) удобно вести с использованием параметров Семенова:

$$Se^\alpha = q_\alpha K_{10} \frac{E_1}{RT_\alpha^2} \exp\left(-\frac{E}{RT_\alpha}\right) \frac{v}{hs}; \quad Se^\beta = q_\beta K_0 \frac{E}{RT_\beta^2} \exp\left(-\frac{E}{RT_\beta}\right) \frac{v}{hs},$$

а в безразмерном виде:

$$Se = Se^\alpha + Se^\beta = \frac{1}{c_1} \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{\sigma_2 \cdot c_3}{\gamma_2} \right).$$

В качестве значений размерных кинетических, термодинамических и теплофизических параметров использовались данные [4 - 8, 10].

Зависимости предельных температур разогрева реакционной смеси как для полимеризации, так и для совмещенного процесса полимеризации и кристаллизации представлены на рис. 3. Из кривой 1 видно, что для слабоэкзотермической реакции полимеризации ϵ -капролактама существует такое критическое значение параметра Семенова, что при $Se < Se_{кр}^П$ разогревы невелики ($\sim 5-7^\circ C$), полимеризация протекает в квазиизотермическом-низкотемпературном

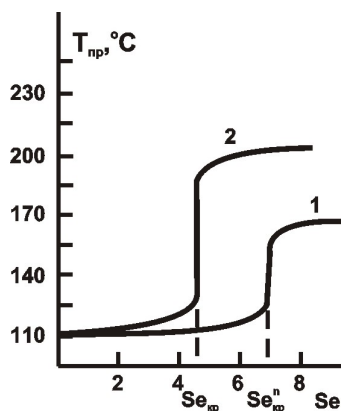


Рис.3. Зависимость предельных температур от параметра Se для процесса полимеризации (1) и полимеризации с кристаллизацией (2)

режиме. При $Se \geq Se_{кр}^П$ полимеризация развивается существенно неизотермично, разогревы достигают $45^\circ C$ и более, осуществляется квазиadiaбатический - высокотемпературный режим полимеризации.

Критическое значение параметра Se зависит как от начальной температуры кристаллизации, так и от температуры окружающей среды. Поскольку в условиях задачи эти температуры равны T_0 , то здесь анализируется влияние T_0 на величину Se .

Оказалось, что без учета процесса кристаллизации с повышением T_0 величина $Se_{кр}$ монотонно уменьшается (рис.4а), тогда как при наличии кристаллизации зависимость $Se_{кр}$ от T_0 приобретает немонотонный характер (рис.4б). Из рис. 4б видно, что с увеличением T_0 вначале $Se_{кр}$ уменьшается, затем возрастает, а при начальной температуре среды, равной примерно $\sim 148...150^\circ C$, падает до значений, характерных для процесса полимеризации.

Для совмещенных процессов полимеризации и кристаллизации немонотонная зависимость $Se_{кр}(T_0)$ может быть объяснена разнохарактерным влиянием величины T_0 на скорости тепловыделения за счет полимеризации и кристаллизации.

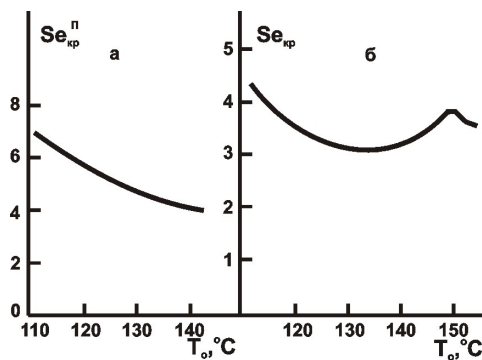


Рис.4. Зависимость параметра Se от начальной температуры для полимеризации (а) и полимеризации с кристаллизацией (б)

Так, если с увеличением T_0 скорость тепловыделения за счет полимеризации возрастает по обычной аррениусовской зависимости, то скорость тепловыделения за счет кристаллизации проходит через максимум, и значение максимума соответствует интервалу начальных температур $135...140^\circ C$. В этом случае очевидно, что уменьшение скорости тепловыделения за счет кристаллизации приведет к снижению скорости суммарного тепловыделения. Поэтому на кривой $Se_{кр}(T_0)$ при $T_0 = 135...136^\circ C$ появляется минимум.

Дальнейшее повышение T_0 до температур $148...150^\circ C$, при которых относительная скорость

кристаллизации уменьшается настолько, что лишь после полного завершения процесса полимеризации начинается кристаллизация образовавшегося полимера, приводит к некоторому возрастанию значения $Se_{кр}$. С этого момента величина $Se_{кр}$ определяется скоростью тепловыделения только за счет полимеризации, поэтому она уменьшается до значений, характерных для процесса полимеризации (рис.4).

Таким образом, результаты анализа показывают, что даже для слабозэкзотермических реакций полимеризации с тепловыми эффектами порядка $\sim 13,5 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ существует критическое значение параметра Семенова, при котором наблюдается скачкообразный переход от квазиизотермического - низкотемпературного к квазиadiaбатическому - высокотемпературному тепловым режимам.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов Н.Н. Цепные реакции.- Л.: Госхимтехиздат, 1934.
2. Максимов Э.И. // Докл. АН СССР. -1970. -Т.191, N 5. - С.1091-1094.
3. Жирков П.В., Давтян С.П., Карян А.А. // Высокомолек. соед. - 1984.- Т. 26А, N 7. - С. 1405-1411.
4. Бегипев В.П., Кипин И.А., Малкин А.Я. // Высокомолек. соед. -1982.- Т.24Б, N6. - С. 656-658.
5. Малкин А.Я., Фролов В.Г., Иванова А.И., Андрианова Э.С. // Высокомолек. соед. - 1979. - Т.21А, N3. - С.632-639.
6. Тоноян А.О., Погосян М.Г., Вардересян А.З., Давтян С.П. Кинетика адиабатической анионной активированной полимеризации ϵ -капролактама. Описание процесса полимеризации // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2006. - Т.59, №1. - С.44-52.
7. Тоноян А.О., Погосян М.Г., Саргсян А.Г., Кристоф Шик, Давтян С.П. О кинетике кристаллизации в условиях неизотермической кристаллизации // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2006. - Т.59., № 2. - С. 293-300.
8. Беляева Н.А., Клычников Л.В., Давтян С.П., Худяев С.И. Анализ напряженного состояния в процессе формирования цилиндрических изделий с учетом совместного протекания полимеризации и кристаллизации // Тезисы III Всесоюзной конференции по нелинейной теории упругости. - Сыктывкар, 1987. - С.51-53.
9. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике.- М.: Наука, 1967.
10. Kubota H., Nowell J.B. //J. Appl. Polymer Sci. - 1975. - V.19, N 6. - P.1521-1522.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.06.2005.

Հ.Հ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Հ.Ռ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ն.Ն. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ա.Ն. ՏՈՆՈՅԱՆ,
Վ.Գ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ

ε - ԿԱՊՐՈԼԱԿՏԱՄԻ ԱՆԻՍՈՆԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎԱՑՎԱԾ ՊՈԼԻՄԵՐԱՑՄԱՆ ՋԵՐՄԱՅԻՆ
ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Իրականացվել է ջերմատվության և ջերմաստիճանի Սեմյոնովի դիագրամի որակական վերլուծություն և հետազոտվել են ε- կապրոլակտամի անիոնային ակտիվացված պոլիմերացման ժամանակ ջերմային ռեժիմների կրիտիկական անցումները: Պոլիմերացման և բյուրեղացման գործընթացների հաջորդական ընթացքի դեպքում դիտվում է ավելի շատ բազմազանություն դասական դեպքի համեմատ, որը հետազոտված է դեռևս Սեմյոնովի կողմից: Ցույց է տրված, որ անգամ թույլ ջերմատվությամբ պոլիմերացման ռեակցիաների ժամանակ գոյություն ունի Սեմյոնովի պարամետրի կրիտիկական արժեք, որի դեպքում դիտվում է քվադրիգոթերմային ցածր ջերմաստիճանային ջերմային ռեժիմից թռիչքային անցում քվադրադիաբատիկ բարձր ջերմաստիճանային ռեժիմի:

Առանցքային բառեր. պոլիմերացում, ջերմատվություն, կրիտիկական պայմաններ, բարձրջերմաստիճանային քվադրադիաբատիկ ռեժիմ:

H.H. ZAKARYAN, H.R. KHACHATRYAN, N.N. KIRAKOSYAN, A.O. TONoyAN,
V.G.TOVMA SYAN, S.P. DAVTYAN

ON THERMAL CONDITIONS OF ANIONIC ACTIVATED POLYMERIZATION OF
ε - CAPROLACTAM

A qualitative analysis of Semenov's diagram of heat generation and temperature is given and critical jumps of thermal conditions during anionic activated polymerization of ε-caprolactam is developed. When processes of polymerization and crystallization pass in series, a great variety is observed, in comparison with classic case, which is already examined by Semenov. It is shown that even for faintexothermal reaction of polymerization the critical value of Semenov's parameter exists, which is observed in spasmodic jump from quasi-isothermal - low-temperature thermal condition to quasi-adiabatic - high-temperature thermal condition.

Keywords: polymerization, heat generation, critical conditions, high-temperature quasi-adiabatic condition.

Հ.Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ

ԼԵԳԻՐՈՂ ՏԱՐԴԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՊՂՆՁԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ուսումնասիրվել է մինչև 1,0% լեգիրող տարրերի (Al, Mg, Se, Te, Ca, Cr և Cd) ազդեցությունը պղնձի մեխանիկական հատկությունների վրա: Կատարված հետազոտությունների հիման վրա ընտրվել է լավարկված ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով պղնձի համաձուլվածք:

Առանցքային բառեր. լեգիրում, ամրության սահման, հարաբերական երկարացում, կարծրություն, ծակոտկենություն:

Շուկայական հարաբերություններին համահունչ զարգացող ցանկացած երկրի կարևորագույն խնդիրներից է տեղական հումքի պաշարների առավել արդյունավետ օգտագործումը, և այս առումով կարևորվում է նոր համաձուլվածքների ստացման առաջավոր տեխնոլոգիաների մշակումը, հատկապես բարձր էլեկտրահաղորդիչ և լավարկված ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով օժտված բարդ և ձևավոր ձուլվածքների ստացումը, որոնց պահանջարկը մեծ է էլեկտրատեխնիկական արդյունաբերությունում:

Հայտնի է, որ մաքուր պղինձն արտադրական պայմաններում ձուլման նպատակների համար գրեթե չի օգտագործվում իր ցածր հեղուկահոսունության, բարձր շիկաբեկունության և մեծ կծկվածքի պատճառով: Պղնձի բարձր էլեկտրահաղորդականությունը հիմնական գործոնն է, որով այն օգտագործվում է որպես նյութ՝ հոսանքահաղորդիչ արտադրատեսակների պատրաստման համար:

Ներկայումս արտասահմանյան մի շարք երկրներում հաշվվում են տարբեր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով օժտված պղնձի հիմքով համաձուլվածքների 100 - ից ավելի մակնիշներ: Սակայն այս համաձուլվածքներից ոչ բոլորն են պիտանի ձևավոր ձուլվածքներ ստանալու համար, որտեղ կարևոր նշանակություն ունեն երկրաչափական պարամետրերը: Մյուս կողմից՝ բարձր ֆիզիկամեխանիկական հատկություններով օժտված ձուլվածքների ստացումը խիստ կերպով կախված է համաձուլվածքի քիմիական բաղադրությունից [1]:

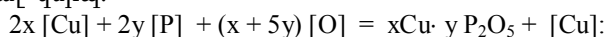
Համաձուլվածքներում պարունակվող հիմնական բաղադրատարրի քանակը տատանվում է լայն սահմաններում, իսկ փոքր սահմաններում թույլատրվում է լեգիրող տարրերի ներմուծումը: Պղնձի հիմքով համաձուլվածքների պատրաստման համար որպես բովախառնուրդային նյութեր օգտագործվել են մաքուր մետաղներ, արտադրական թափոններ, երկրորդային մետաղներ և լիգատուրաներ:

Հալումով համաձուլվածքների պատրաստման եղանակը սովորաբար կատարվում է բաց հալման վառարաններում՝ մթնոլորտային ճնշման տակ: Համաձուլվածքի որակը և քիմիական բաղադրությունը կախված են այն գործընթացներից, որոնք տեղի են ունենում հալման վառարանում:

Աշխատանքի նպատակն է՝ ստանալ բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ձուլման լավարկված հատկություններով օժտված պղնձի համաձուլվածքներ, որոնցից պատրաստված ձուլվածքները լայն կիրառություն ունեն մեքենաշինության, սարքաշինության, էլեկտրատեխնիկական արդյունաբերության մեջ և այլ բնագավառներում:

Պղնձի համաձուլվածքների ստացման ժամանակ կարևոր խնդիր է համաձուլվածքի թթվածնազերծումն ու գազերով հագեցումից պաշտպանումը: Ինչպես հայտնի է, պղնձի համաձուլվածքների թթվածնազերծումը, այսինքն՝ հալույթում լուծված թթվածնի հեռացումը, իրականացվում է հիմնականում ֆոսֆորով, ածխածնով, բորով և լիթիումով [2]: Աշխատանքում որպես հիմնական բաղադրատարր օգտագործվել է M1 մակնիշի կաթոդային պղինձ (ԳՈՍՏ 859 - 78), իսկ որպես թթվածնազերծիչ՝ ֆոսֆոր (ֆոսֆորային պղնձի ձևով, 7...11 % P պարունակությամբ), որը լավ լուծվում է պղնձում:

Cu - O - P համակարգում խարամային ֆազի գոյացման ռեակցիան կարելի է արտահայտել հետևյալ կերպ.



Վառարանում համաձուլվածքի ստացման ժամանակ մետաղական հալույթը մթնոլորտի հետ փոխազդեցությունից պաշտպանելու համար հալումն իրականացվել է պաշտպանիչ շերտի տակ՝ օգտագործելով փայտածուխ: Պաշտպանումն իրականացվում է ածխածնի անընդհատ այրման հաշվին, հալույթի մակերևույթում ստեղծված ազոտի ու ածխածնի օքսիդից կազմված միջավայրով, վերջիններս էլ չեն փոխազդում հալույթի հետ և այն պաշտպանում են օքսիդացումից:

Վառարանում բովախառնուրդային նյութերը բեռնավորվել են մինչև 100...120°C - ում տաքացված վիճակում: Սկզբում բեռնավորվել է պղինձը՝ մասամբ կամ ամբողջությամբ: Հալույթը գերտաքացվել է մինչև 1200°C, այնուհետև թթվածնազերծվել ֆոսֆորային պղնձով (պղնձի զանգվածի 0,1...0,15% - ի չափով), որից հետո ներմուծվել են համապատասխան լիգատուրաները: Լավ խառնելուց հետո հալույթից հեռացվել է խարամը: Համաձուլվածքների պատրաստման համար օգտագործվել են ինչպես ստանդարտ, այնպես էլ մեր կողմից պատրաստված լիգատուրաներ:

Շատ դեպքերում տեխնիկապես մաքուր պղնձից պատրաստված ձուլվածքները չեն բավարարում ժամանակակից կոնստրուկցիաների պահանջները, հատկապես բարձր ջերմաստիճաններում: Բարձր ֆիզիկամեխանիկական և կրակադիմացկուն բնութագրերից բացի հոսանքահաղորդիչ ձևավոր ձուլվածքների համար կարևոր նշանակություն ունի նաև մաշակայունությունը:

Պղնձի հիմքով բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված համաձուլվածքներ մշակելիս հաշվի է առնվել լեգիրող տարրերի փոխլուծելիության սկզբունքը, ըստ որի՝ պղնձի և լուծվող տարրի ատոմների պարամետրերը պետք է լինեն իրար մոտ ու բյուրեղային վանդակներն ունենան միևնույն կառուցվածքը:

Մյուս տարրերի հետ Cu-ի փոխազդեցության բնույթը որոշվում է քիմիական միացություններ առաջացնելու նրանց ընդունակությամբ և պինդ պղնձում նյութերի լուծելիությամբ: Պղնձում հեշտափալ էվտեկտիկայի առաջացման դեպքում (որոնք տեղաբաշխվում են հատիկների սահմաններում բարակ թաղանթների և փխրուն քիմիական միացությունների ձևով) կտրուկ վատանում են Cu-ի մեխանիկական հատկությունները (ամրություն և պլաստիկություն) պինդ և հատկապես պինդ - հեղուկ վիճակներում: Պինդ պղնձում լուծված տարրերը բարձրացնում են նրա

ամրությունն ու կարծրությունը, բայց այս դեպքում կտրուկ փոքրանում է պղնձի էլեկտրահաղորդականությունը [3]: Սա բացատրվում է նրանով, որ լուծիչի բյուրեղային վանդակում լուծվող նյութի ատոմները տեղաբաշխվելիս աղավաղվում է լուծիչի բյուրեղային ցանցը և դժվարանում էլեկտրոնների ազատ շարժը, որի հետևանքով հաղորդականությունը նվազում է:

Պղնձի լեգիրման համար օգտագործվող տարրերն ընտրելիս հաշվի են առնվել պղնձում դրանց լուծելիության սահմանները:

Աշխատանքում հետազոտման և բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված պղնձի ձուլման համաձուլվածքների մշակման համար ընտրվել են այնպիսի տարրեր, որոնք քիչ են իջեցնում Cu-ի էլեկտրահաղորդականությունը, և, միաժամանակ, ապահովում են բարձր ֆիզիկամեխանիկական և ձուլման հատկություններ, ինչպես նաև կանխում են հալույթը օքսիդացումից՝ նրա հալման, ձուլաձևի լցման և ձուլաձևում նրա պնդացման ընթացքում: Այս դեպքում, ելնելով վիճակի դիագրամից, դիտարկվել են ստացվող համաձուլվածքների կառուցվածքում այն փոփոխությունները, որոնք կարող են առաջանալ լեգիրող տարրերը ներմուծելիս:

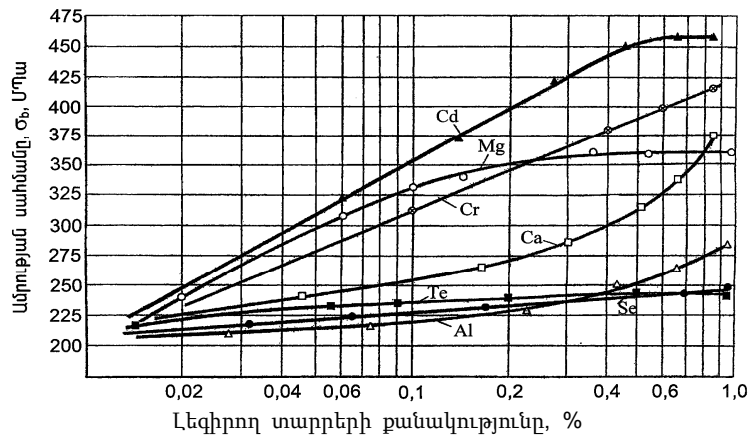
Ելնելով վերոհիշյալից՝ հետազոտություններ կատարելու նպատակով ընտրվել են հետևյալ լեգիրող տարրերը՝ Ca, Cr, Mg, Al, Se, Te և Cd:

Պղնձի համաձուլվածքների հալումը կատարվել է ICT - 0,06 մակնիշի ինդուկցիոն վառարանում, գրաֆիտե տիգելներում: Համաձուլվածքները օքսիդացումից և ջրածնով հարստանալուց պաշտպանելու համար հալումը կատարվել է փայտածխի ծածկույթի տակ, վերջինիս քանակը վերցվել է բովախառնուրդի զանգվածի 2,5...3,0 % - ի չափով:

Ցածր լեգիրված պղնձի համաձուլվածքների մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրման գործընթացներում առանձնակի ուշադրության են արժանի համաձուլվածքների մի շարք բնութագրեր, այդ թվում՝ ամրության սահմանը, հարաբերական երկարացումը, կարծրությունը, ծակոտկենությունը և այլն:

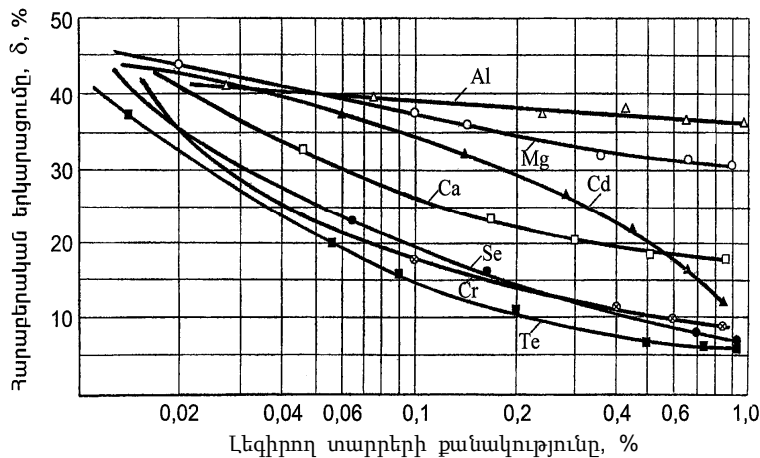
Համաձուլվածքների ամրության սահմանն ըստ ձգման որոշելու համար օգտագործել ենք 6 մմ տրամագծով և 50 մմ հաշվարկային երկարությամբ գլանաձև նմուշներ, ընդ որում՝ յուրաքանչյուր համաձուլվածքից փորձարկվել է 5 նմուշ: Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ ընտրված բոլոր լեգիրող տարրերը բարձրացնում են պղնձի ամրության սահմանը (նկ. 1):

Գիտափորձական արդյունքներից պարզվել է, որ համաձուլվածքներում մինչև 0,6% Cd ներմուծելիս նկատվում է պղնձի ամրության կտրուկ բարձրացում: Այս դեպքում ամրության սահմանը 225 ՄՊա - ից հասնում է 460 ՄՊա: Cu + Mg և Cu + Ca համաձուլվածքներում ամրության սահմանի առավելագույն մեծությունը կազմում է 360...375 ՄՊա, իսկ Cu + 0,88% Cr համաձուլվածքում այն հասնում է 420 ՄՊա: Ամրության բարձրացման համեմատաբար ցածր արդյունք է ստացվում պղինձը Al - ով, Se - ով և Te - ով լեգիրելիս: Te - ի մինչև 0,7% պարունակության դեպքում որոշակի մեծանում է պղնձի ամրության սահմանը, իսկ դրանից բարձր քանակի դեպքում փոփոխություն չի նկատվում:



Նկ. 1. Լեգիրող տարրերի ազդեցությունը պղնձի ամրության սահմանի վրա

Նկ. 2 - ում բերված է ընտրված լեգիրող տարրերի ազդեցությունը պղնձի հարաբերական երկարացման վրա: Չափումների արդյունքում պարզվել է, որ հարաբերական երկարացման առավել շատ նվազում է նկատվում պղինձը Se - ու, Te - ու և Cr - ու լեգիրելիս: Մինչև 0,6% Cd - ու լեգիրելիս պղնձի հարաբերական երկարացումը իջնում է մինչև 17...18%, իսկ 0,8...0,9% Cd - ի դեպքում՝ այն հասնում է 12...13%: 0,1...0,6% Cr - ու լեգիրելիս հարաբերական երկարացումը 18% - ից նվազում է մինչև 10%:

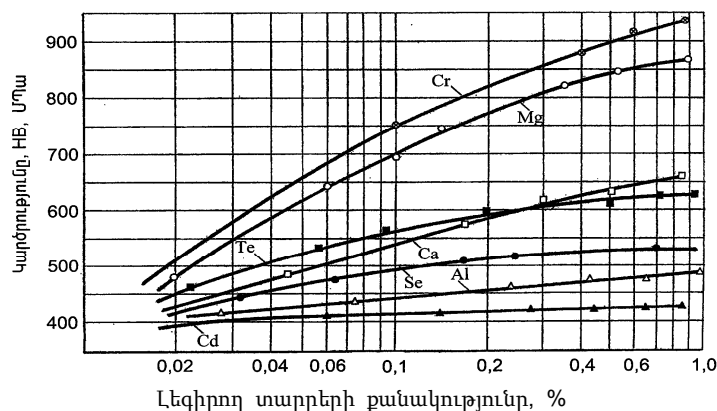


Նկ. 2. Լեգիրող տարրերի ազդեցությունը պղնձի հարաբերական երկարացման վրա

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ մինչև 1,0% Te - ու և Se - ու լեգիրելու դեպքում հարաբերական երկարացման մեծությունը նվազում է մինչև 6...7%, իսկ Cu - Mg համաձուլվածքներում հարաբերական երկարացման մեծությունը իջնում է մինչև 30...32%:

Նմանատիպ արդյունքներ են ստացվել նաև մինչև 1,0% Al - ու լեգիրված համաձուլվածքներում, որտեղ $\delta = 37...38\%$: Cu - Ca համաձուլվածքներում հարաբերական երկարացումը նվազում է մինչև 17...18%:

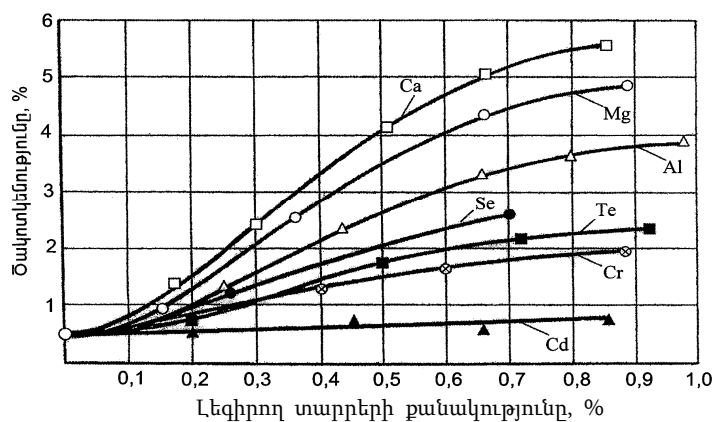
Լեգիրող տարրերը պղնձի կարծրության վրա թողնում են հարաբերական երկարացմանը համանման ազդեցություններ: Պղնձի կարծրության վրա առավել շատ ազդում է Cr - ը, իսկ ամենաքիչը՝ Cd - ը և Al - ը (նկ. 3):



Նկ. 3. Լեգիրող տարրերի ազդեցությունը պղնձի կարծրության վրա

Մինչև 1,0% լեգիրող տարրերով լեգիրված պղնձի համաձուլվածքների հարաբերական ծակոտկենությունը որոշել ենք $\theta = (1 - \gamma_h) \cdot 100$ բանաձևով, որտեղ θ - ն ծակոտկենությունն է, %, γ_h - ն՝ համաձուլվածքի հարաբերական խտությունը, $q/սմ^3$, որը որոշվել է $\gamma_h = \gamma_o / \gamma_{max}$ բանաձևով: Այստեղ γ_{max} - ը պղնձի առավելագույն խտությունն է ($\gamma_{max} = 8,94 q/սմ^3$), իսկ γ_o - ն՝ տվյալ համաձուլվածքից ստացված նմուշի խտությունը, որը որոշել ենք հիդրոստատիկ կշռման եղանակով:

Փորձի արդյունքները բերված են նկ. 4 - ում: Ստացված տվյալներից հետևում է, որ պղնձի ծակոտկենության կտրուկ բարձրացում է նկատվում Ca - ու և Mg - ու լեգիրելիս: Սա պայմանավորված է բյուրեղացման լայն միջակայքի առաջացմամբ: Al - ը և Cr - ը շատ չնչին են մեծացնում պղնձի ծակոտկենությունը, քանի որ Cu + 1,0% Al և Cu + 1,0% Cr համաձուլվածքներն ունեն բյուրեղացման փոքր միջակայք:



Նկ. 4. Լեգիրող տարրերի ազդեցությունը պղնձի ծակոտկենության վրա

Պղնձի մեխանիկական հատկությունների վրա լեգիրող տարրերի ազդեցության վերաբերյալ կատարված հետազոտությունները հիմք են տալիս եզրակացնելու, որ՝

- տեխնիկապես մաքուր պղնձի մեխանիկական հատկությունները բավարար չեն էլեկտրահաղորդիչ ձուլվածքների պատրաստման համար,

- համապատասխանաբար մինչև 0,6% Cd - ով և մինչև 0,8% Cr - ով պղինձը լեգիրելիս էլեկտրահաղորդականությունը փոքրանում է՝ կազմելով տեխնիկապես մաքուր պղնձի էլեկտրահաղորդականության 78...88% - ը,

- Cd - ով լեգիրելու դեպքում Cu - Cd համաձուլվածքների ամրության բարձրացմանը զուգընթաց տեղի է ունենում ծակոտկենության փոքրացում,

- ցածր լեգիրված պղնձի մեխանիկական հատկությունները բարձրացնելու նպատակով պետք է կատարել համալիր լեգիրում,

- պղնձի համաձուլվածքներում առավելագույն ֆիզիկամեխանիկական հատկություններ ստացվում են այն Cd - ով, Cr - ով, Ca - ով և Mg - ով լեգիրելիս:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Чурсин В.М.** Плавка медных сплавов. - М.: Металлургия, 1982. - 152 с.
2. Цветное литье / Под общ. ред. **Н. М. Галдина**. - М.: Машиностроение, 1989. - 528 с.
3. **Курдомов А.В., Пикун М.В., Бахтиаров Р. А.** Плавка и затвердевание сплавов цветных металлов. - М.: Металлургия, 1968. - 228 с.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 20.03.2005:

Г.А. КАРАПЕТЯН, А.С. АГБАЛЯН ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ

Исследовано отдельное и совместное влияние легирующих элементов на механические свойства малолегированных медных сплавов. На основании проведенных исследований выбран медный сплав, обладающий оптимальными физико - механическими и литейными свойствами.

Ключевые слова: легирование, предел прочности, относительное удлинение, твердость, пористость.

H.A. KARAPETYAN, A.S. AGHBALYAN ALLOYING ELEMENT INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF COPPER

Separate and joint influence of alloying elements on mechanical properties of small alloyed copper alloys is discussed. The studies are conducted on copper alloy possessing optimum of physical-mechanical and foundry properties.

Keywords: alloying, durability, limit, relative lengthening, hardness, porosity.

Կ.Գ.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԵ ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՎ
ՋԵՐՄԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Բերված են տաքացման տարբեր մեթոդներով ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման ենթարկած մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե գործիքանյութերի մաշակայունության վերաբերյալ տվյալներ: Հաստատված է, որ դժվարահալ մետաղներով և պաշտպանիչ զագային միջավայրում ստացվող մակերևութային մաշակյուն շերտերը մետաղների մշակման գործընթացներում ապահովում են կարծր համաձուլվածքե գործիքների առավել բարձր մաշակայունություն:

Առանցքային բառեր. ջերմաքիմիական մշակում, գործիք, կարծր համաձուլվածք, մակերևութային շերտ, մաշակայունություն:

Հայաստանի Հանրապետությունում արդյունաբերության զարգացման և մեքենաշինական նոր ձեռնարկությունների գործարկման և վերագործարկման գործընթացներում առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվում գործիքային տնտեսության մեջ մեծ կիրառում գտած մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքների որակական հատկանիշների բարձրացմանը: Հայտնի է, որ լայնորեն կիրառվող այս գործիքանյութի հնարավորությունները գերազանցում են մինչև այժմ ուսումնասիրված բոլոր տեսակի գործիքանյութերի հնարավորություններին: Համեմատության համար նշենք, որ մեկ կգ կարծր համաձուլվածքից պատրաստված գործիքներով տասնյակ անգամ ավելի մետաղ կարելի է մշակել, քան նույն քանակությամբ վոլֆրամ պարունակող արագահատ պողպատից պատրաստված գործիքներով:

Մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե գործիքանյութերը ռազմավարական նշանակության պատճառով երբեք վաճառքի նյութ չեն եղել, և նախկին խորհրդային տարիներին ձեռնարկություններն այն ստացել են ըստ հատկացված ֆոնդի՝ փոքր ծավալներով: Վերջին տասնամյակում գործիքանյութերը մուտք չեն գործել Հայաստանի Հանրապետություն, ուստի եղած սակավաթիվ ծավալների ռացիոնալ օգտագործմանը և նոր եղանակներով մշակմամբ գործիքանյութերի մաշակայունության, կարծրության, երկարակեցության բարձրացմանը առաջնակարգ նշանակություն է տրվում Հանրապետությունում:

Գրականության տվյալների [1-2] վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ կարծր համաձուլվածքե գործիքանյութերի որակական հատկանիշների բարձրացման տեսանկյունից կարևորագույն գործընթաց է ստանդարտ (գործարանային) թիթեղիկների ջերմաքիմիական մշակումը, դրանց մակերևութային վրա կարբիդների, բորիդների, նիտրիդների, կարբոնիտրիդների և այլ մաշակայուն միացությունների ստացումը:

Աշխատանքի նպատակն է՝ ջերմաքիմիական մշակմամբ փոփոխել մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևութային շերտի կառուցվածքը, բարձրացնել գործիքանյութերի մաշակայունությունը և երկարակեցությունը: Նպատակին հասնելու համար կարծր համաձուլվածքե

թիթեղիկները ենթարկվել են ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման հետևյալ եղանակներով.

- ա) կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներին ջերմային մշակում $F\dot{Z}\dot{Z}$ -ով,
- բ) ջերմաքիմիական մշակում պաշտպանիչ գազային միջավայրում,
- գ) ջերմամշակում վակուումային վառարանում,
- դ) ջերմաքիմիական մշակում (բուլատ),
- ե) ջերմաքիմիական մշակում դժվարահալ մետաղների նստեցմամբ:

Ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման եղանակների ընտրությունը հիմնավորվում է հետևյալ նկատառումներով:

Արտադրության պայմաններում կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներով գործիքների գողումը հիմնականում կատարվում է $F\dot{Z}\dot{Z}$ -ով, որտեղ տեղի ունի արագ տաքացում և սառեցում, որն էլ էական ազդեցություն է թողնում կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների որակական հատկանիշների վրա:

Պաշտպանիչ գազային միջավայրում ($CO+H_2+N_2$) էնդոգազի բաղադրության որոշակի փոփոխության պայմաններում, ջերմաստիճանի ազդեցության տակ ստացվում է կարբոնիտրիդե շերտ, որն օժանդակում է գործիքի մաշակայունության բարձրացմանը:

Վակուումային վառարանում կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների դանդաղ տաքացումը և սառեցումը միաարժեք ազդում է համաձուլվածքի լարվածային վիճակի վրա, վերջինս էլ իր հերթին ազդեցություն է թողնում գործիքի մաշակայունության վրա:

Արտադրության մեջ կիրառություն ունեն կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներ՝ ջերմաքիմիական մշակման ենթարկած իոնների ռմբակոծման եղանակով (բուլատ), որի արդյունքում թիթեղիկների մակերևույթների վրա ստացվում է 2...5 մկմ-ի սահմաններում տիտանի նիտրիդ, որն էլ դրականորեն է ազդում գործիքի երկարակեցության վրա:

Փորձ է արվել կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկները մշակման ենթարկել ռենիումի աղերում՝ տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում, փոփոխել մակերևութային շերտի կառուցվածքը, ապահովել գործիքի բարձր մաշակայունություն:

Բոլոր եղանակներով ջերմաքիմիական մշակման ենթարկած կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկները պետք է համապատասխանեն մի շարք պահանջների, այդ թվում՝ բարձր մաշակայունություն, ամրություն, ջերմակայունություն, ջերմահաղորդականություն, գործիքի իրանի հետ մաշակայուն շերտի ամուր կապակցություն, մաշակայուն շերտի մշակվող նյութին կպչելու կայունություն, օքսիդացման նկատմամբ բարձր կայունություն, մաշակայուն շերտի վրա մաշվածքի փոսիկների առաջացման մեծ դիմադրողականություն, նվազագույն ներքին լարումներ, ապահովի տնտեսական մեծ շահավետություն:

Բացի բուլատից (ընտրվել է պատրաստի վիճակում) ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման բոլոր տարբերակներում տաքացման առավելագույն ջերմաստիճանը կազմել է $1100^{\circ}C$: $F\dot{Z}\dot{Z}$ -ի և դժվարահալ մետաղների միջավայրում տաքացումը կատարվել է բարձր արագություններով՝ 35...45 *աստ/վրկ*-ում, իսկ սառեցումը կատարվել է օդում: Ջերմային և ջերմաքիմիական մշակումը վակուումային վառարանում և պաշտպանիչ գազային միջավայրում թիթեղիկների տաքացման և սառեցման արագությունները կազմել են 1,3...1,5 *աստ/վրկ* (տաքացում) և 0,35...0,45 *աստ/վրկ* (սառեցում):

Իրականացվել են գիտափորձնական աշխատանքներ և վերոհիշյալ հինգ ձևերով ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված կարծր համաձուլվածքե

եռանկյուն սրման չենթարկվող թիթեղիկների մաշակայունությունը համեմատվել է նույն խմբի գործարանային՝ առանց լրացուցիչ մշակման թիթեղիկների մաշակայունության հետ: Փորձարկումները կատարվել են խառատային պտուտակահանման 1E62B մակնիշի հաստոցի վրա: Կտրման արագությունների մեծություններն ընտրվել են գործնականում կիրառվող և տեղեկագրքերով երաշխավորվող արագություններ՝ 50-ից 300 մ/րոպ (V = 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 մ/րոպ): Կտրման խորությունները տատանվել են 0,5 մմ-ից մինչև 2,0 մմ, ելնելով այն նկատառումից, որ արտաքին մակերևութային մաշակայուն շերտեր ունեցող կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկներով գործիքներն առավել արդյունավետ և լավագույն ցուցանիշներ են ապահովում մաքրատաշ մշակումների ժամանակ, որի ընթացքում ստացվում են մշակվող մակերևութի փոքր խորդուրորդություններ և գործիքի մաշվածք: Մշակվել է պողպատ 45 զլանաձև նախապատրաստվածք՝ Մ180...200 մմ, L = 400...450 մմ չափերով: Բոլոր գործիքների համար մաշվածքի թույլատրելի չափն ընդունվել է կտրող թիթեղիկի հետևի նիստի վրա մինչև $h_3 = 1,0$ մմ մաշումը: Կտրիչի նյութը՝ T15K6:

Մեխանիկական փորձարկումների մեծ շրջանակը հնարավորություն է տալիս տարբեր եղանակներով ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մաշակայունության ցուցանիշները ոչ միայն համեմատել իրար, այլև մանրակրկիտ փորձերի արդյունքում բացահայտել կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների համալիր հատկություններ՝ կախված դրանց կառուցվածքային փոփոխությունների և լարվածային վիճակներից:

Մեխանիկական փորձարկումների արդյունքները բերված են նկ 1-2-ում: Ուսումնասիրություններից պարզ է դառնում, որ ԲՀՀ-ով տաքացված թիթեղիկներում, ուր տեղի ունի արագ տաքացում և սառեցում, ներքին լարումներն ստանդարտ թիթեղիկների համեմատ ավելի են շատանում, և, տիտանի ու վոլֆրամի կարբիդներն աշխատանքի ընթացքում մասնակցելով տաշեղահանմանը, ներքին լարումների մեծացման շնորհիվ պոկվում և տաշեղի հետ միասին դուրս են գալիս, որը հաստատված է $\square$ էներգոկոմպլեքս $\square$ ՄՊԸ քիմիական լաբորատորիայում կատարված փորձարկումներով, ուր կարբիդների պոկվելու հաճախականությունը ԲՀՀ-ով տաքացված թիթեղիկներում 1,7-ից 2,0 անգամ մեծ է, քան ԲՀՀ-ով տաքացված որոշ ստանդարտ թիթեղիկներում: Արագ տաքացման և սառեցման շնորհիվ, նկատվում են միկրո և մակրոճաքեր, որոնք և մեխանիկական մշակման դեպքում թիթեղիկների քայքայման հիմքն են: Այդ պարագայում գործարանային ջերմային մշակման չենթարկված թիթեղիկների համեմատ մաշակայունությունը նվազում է 25...30%-ի չափով (նկ.1,2 – 1):

Ստացված գիտափորձական տվյալները չեն հակասում, և նույնիսկ համապատասխանում են Շվեդական «Սանդվիկ Կոռումանտ» ֆիրմայի այն ձեռնարկումներին, որոնցով նախատեսվում էր կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ամրացումը գործիքների իրանային մասերին կատարել միայն մեխանիկական ամրացումով, հատկապես հրաժարվել ԲՀՀ-ով տաքացնելուց և զոդմամբ գործիքները կպցնելուց: Այս եղանակների կիրառումը վերջնական լուծում չստացավ այն պարզ պատճառով, որ արտադրության պայմաններում օգտագործում են խառատային տիպի և այլ կտրիչներ, որոնք նախատեսվում են ունենալ տարբեր պրոֆիլներ և անկյուններ, և միշտ չէ, որ հնարավոր է այն ապահովել կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների կտրող գործիքների իրանային մասերին մեխանիկական ամրացումով:

Մաշակայունության բարձրացման տեսակետից լավագույն արդյունքներ են ստացվում այն թիթեղիկների համար, որոնք ջերմաքիմիական մշակման են

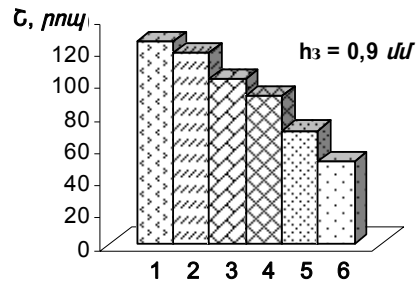
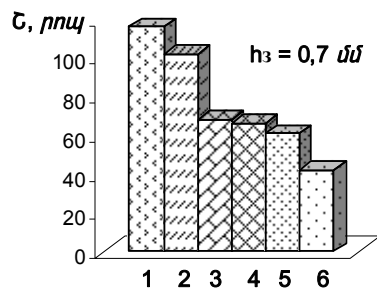
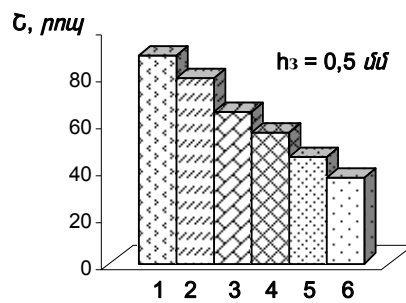
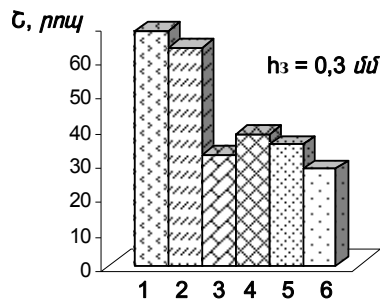
ենթարկվել հատուկ պաշտպանիչ գազային միջավայրում, և թիթեղիկների արտաքին մակերևույթների վրա ստացվել է դիֆուզիոն մաշակայուն կարբոնիտրիդե շերտ [3]: Դանդաղ տաքացմամբ և սառեցմամբ թիթեղիկների պաշտպանիչ գազային միջավայրում թիթեղիկների ջերմաքիմիական մշակումը օժանդակել է լարումների նվազեցմանը: Բացահայտված է, որ դիֆուզիոն մաշակայուն շերտի ձևավորման վրա էական ազդեցություն ունեն գազի բաղադրությունը (հատկապես ազոտի տոկոսային հարաբերությունը), ջերմաստիճանը, մշակման ռեժիմները: Ֆազային անալիզի ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ գազային միջավայրում ջերմամշակումից կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկի արտաքին մակերևույթի վրա առաջանում է նոր ֆազ՝ $(\text{Ti};\text{W})\text{C}_x\text{N}_{1-x}$: Բացահայտված է, որ ածխածինը և ազոտը նոր գոյացման մեջ տատանվում են $(\text{Ti};\text{W})\text{C}_{0,6}\text{N}_{0,4}$ –ից մինչև $(\text{Ti};\text{W})\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2}$:

Ti - C - N և Ti - W - C համակարգերի հետազոտությունը [3] ցույց է տալիս, որ լավագույն մաշակայուն շերտը $\text{TiC}_x\text{N}_{1-x}$ – ն է: Առավել գերադասելի է $\text{TiC}_{0,7}\text{N}_{0,3} \dots \text{TiC}_{0,8}\text{N}_{0,2}$ բաղադրությունը, որն օժանդակում է կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևույթների վրա կարբոնիտրիդե մաշակայուն շերտի գոյացմանը: Նման թիթեղիկների մաշակայունությունն անհամեմատ ավելի մեծ է (նկ.1,2 - 5):

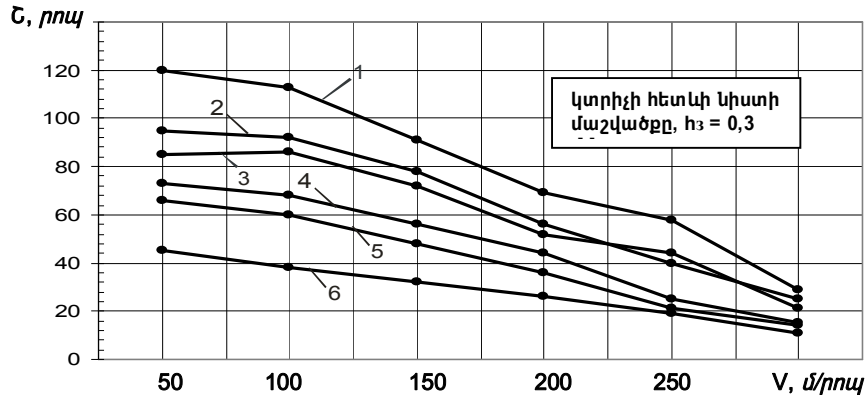
Առանձին հետաքրքրություն է ներկայացնում կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ջերմամշակումը վակուումային վառարանում, որտեղ թիթեղիկների դանդաղ տաքացումը և սառեցումն օժանդակում են ներքին լարումների նվազեցմանը, որն էլ օժանդակում է ստանդարտ թիթեղիկների նկատմամբ գործիքների մաշակայունության բարձրացմանը 1,1-ից 1,4 անգամ (նկ.1,2-3): Փաստորեն հնարավորություն է ստեղծվում վակուումային վառարանում նվազեցնել կարծր համաձուլվածքի բաղադրության մեջ մտնող տիտանի և վոլֆրամի կարբիդների և կոբալտի փոխկապակցության մեջ գտնվող ընդհանուր կառուցվածքի լարվածային վիճակը, դրանով իսկ ստեղծելով տիտանի և վոլֆրամի կարբիդների կտրման պրոցեսում մշակվող նյութի հետ տեսականորեն կոնտակտի մեջ մնալու և կտրման պրոցեսում կարբիդների պոկվելու և տաշեղի հետ հեռանալու գործընթացը համեմատաբար նվազեցնելու հնարավորություն:

Գիտափորձերի համար ընտրվել են նաև արտադրությանը հայտնի “Բուլատ”,-ի պատրաստի նմանատիպ թիթեղիկներ, որոնք մյուս եղանակներով մեր կողմից փորձարկվել և համեմատվել են ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված թիթեղիկների հետ: Տեխնոլոգիական այս գործընթացում կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների արտաքին մակերևույթի վրա իոնների ռմբակոծման եղանակով ստացվում է տիտանի նիտրիդի շերտ, որի հիման վրա մաշակայունությունը ստանդարտ թիթեղիկների նկատմամբ ավելանում է 1,2-ից մինչև 1,6 անգամ (նկ.1,2-4):

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների արտաքին մակերևույթները դժվարահալ մետաղներով (վոլֆրամ, ռենիում, տիտան և այլն) ծածկութապատմամբ հնարավորություն է ստեղծվում փոփոխել թիթեղիկների մակերևութային շերտերի կառուցվածքը: Ջրածնի և բարձր (1100-1200°C) ջերմաստիճանի պայմաններում առաջ են գալիս նոր կարբիդներ և միացություններ, ազդում են թիթեղիկների ծակոտկենության, ազատ գրաֆիտի, կոմպոնենտների առնչությունների վրա՝ ստեղծելով նոր որակական և ֆիզիկամեխանիկական բարձր հատկանիշներով օժտված մակերևութային մաշակայուն շերտ:



Նկ.1. Տարբեր եղանակներով ջերմային և ջերմաքիմիական մշակման ենթարկված թիթեղիկների մաշակայունության կախվածությունը գործիքի հետևի նիստի մաշվածքի չափից $V=225$ մ/րոպ, $txS=1,5 \times 0,9$



Նկ.2. Կտրիչի մաշակայունության կախվածությունը արագությունից մշակման տարբեր ձևերի դեպքում $txS=1,8 \times 0,12$

Նկարներ 1 և 2 - ում նշված թիթեղիկները մշակված են՝ 1- դժվարահալ մետաղներով (Re), 2 - գազային միջավայրում, 3 - վակուումում, 4 - բուլատ, 5 - չջերմամշակված, 6 - ԲՀՀ-ով:

Այսպիսով, կատարած գիտափորձական աշխատանքների հիման վրա կարելի է եզրակացնել, որ մետաղակերամիկական կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների ջերմային և ջերմաքիմիական մշակումը առաջավոր տեխնոլոգիական գործընթաց է, որն օժանդակում է թիթեղիկների մաշակայունության բարձրացմանը կտրման բոլոր արագությունների և թիթեղիկների հետևի նիստի մաշվածքի տարբեր չափերի ($h_3=0...1,0$ մմ) դեպքում: Բացառություն են ԲՀՀ-ով արագ տաքացված և սառեցված կարծր համաձուլվածքների թիթեղիկների մաշակայունության ցուցանիշները, որտեղ նախնական լարումներ ունեցող համաձուլվածքները ջերմային մշակման գործընթացում ձեռք են բերում լարումների առավել մեծ արժեքներ, առանձին դեպքերում ի հայտ են գալիս միկրո և մակրոճաքեր, ինչի հետևանքով մետաղների մշակման ընթացքում տեղի են ունենում թիթեղների կտրուկ մաշում և կոտրատում:

Կարծր համաձուլվածքե թիթեղիկների մակերևույթներին դժվարահալ մետաղների նստեցումը գործիքային տնտեսությունում նորություն է, որն արժանի է առավել խորը ուսումնասիրման:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Самсонов Г.В., Зеликман А.Н.** и др. *Металлургия редких металлов.* - М.: Металлургия, 1978. - 560 с.
2. **Эпик А.П., Самсонов Г.В.** *Тугоплавкие покрытия.* - М.: Металлургия, 1973.-399 с.
3. **Овсеян Г.С., Карапетян К.Г., Галоян А.Г.** *Химико-термическая обработка титановольфрамовых твердых сплавов // Актуальные проблемы современной науки.* - М., 2003. - N5. - С.199-201.

ՄՊԸ «Էներգոկոմպլեքս»: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.12.2004:

К.Г. КАРАПЕТЯН

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Приведены данные по износостойкости инструментов при химико-термической обработке твердосплавных режущих пластин, осуществляемой разными способами нагрева. Установлено, что пластины, покрытые тугоплавкими металлами, и химико-термическая обработка пластин в атмосфере защитного газа обеспечивают более высокую износостойкость твердосплавных режущих инструментов при резании металлов.

Ключевые слова: термохимическая обработка, инструмент, твердый сплав, поверхностный слой, износостойкость.

K.G. KARAPETYAN

FEATURES OF HARD- ALLOY CUTTING INSTRUMENTAL MATERIAL DURING THERMAL AND CHEMICOTHERMAL TREATMENT

Data on durable resistance of tools chemical-thermal treatment process of hard alloyed cutting plates, which are carried out in different ways of heating are given. It is established that covering of plates with refractory metals and chemical thermal treatment of plates in an atmosphere of protective gas provides high wear of hard alloyed cutting tools during cutting of metals.

Keywords: chemical-thermal treatment, tool, hard-alloy, surface layer, wearability.

Լ.Ե. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ,
Թ.Ռ. ԱՎԱԳՅԱՆ

**ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԲԱՐՁՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ
ԽՏԱՆՑՈՒԹԵՐԻՑ ԶՈՒՏ ՀԻԴՐՈՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՑԻՆԿԻ
ԿՈՐԶՄԱՆ ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՆ**

Փորձ է արված ճշգրիտ թերմոդինամիկայի տեսանկյունից հիմնավորել արծաթի և ոսկու բարձր պարունակությամբ բազմամետաղական սուլֆիդային խտանյութերից ցինկի ուղղակի հիդրոմետալուրգիական կորզման գործընթացը (շրջանցելով ավանդական բովման օպերացիան): Ցույց է տրված, որ ծծմբական թթվի թույլ ջրային լուծույթում թթվածնի ցածր ճնշման պայմաններում կարելի է օքսիդացումով տարրալուծել ցինկի և նրան ուղեկցող մետաղների սուլֆիդները: Արծաթը և ոսկին դատարկ ապարների հետ ամբողջությամբ մնում են սորախցուկում: Տարրալուծված մետաղների կորզումը լուծույթից իրականացվում է ընտրողական նստեցման և էլեկտրավերականգնման եղանակներով:

Առանցքային բառեր. բազմամետաղային խտանյութ, ցինկ, կորզում, սորախցուկ, թերմոդինամիկա:

Ցինկի ավանդական հիդրոմետալուրգիայում, նախքան տարրալուծման օպերացիան, ցինկատար սուլֆիդային խտանյութերը (45...60% Zn) ենթարկվում են օքսիդարար բովման 920...980°C ջերմաստիճանում («եռացող շերտում»), որի արգասիքները (հիմնականում ZnO) լավ լուծելի են ծծմբական թթվի նոսր ջրային լուծույթներում [1]: Այս տեխնոլոգիայի ակնհայտ թերությունն այն է, որ անխուսափելի են վնասակար գազային արտանետումները, որոնցում SO₂ գազի պարունակությունը էլեկտրաֆիլտրումից հետո կազմում է 6,0...7,5%: Իսկ օքսիդարար բովման օպերացիայի պարզ բացառումը ավանդական տեխնոլոգիական ցիկլից գրեթե անհնար է, քանի որ առանց լրացուցիչ օքսիդիչի ZnS-ը գործնականորեն անլուծելի է նոսր թթվային լուծույթներում: Դրա տարրալուծումը կոնցենտրիկ ծծմբական թթվով (60...65% H₂SO₄) հնարավոր է միայն 150...170 °C ջերմաստիճաններում, բայց ձեռնառու չէ՝ սարքավորումների բարդության և տնտեսապես անարդյունավետ լինելու տեսակետից:

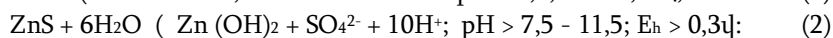
Օքսիդարար բովման օպերացիան չի շրջանցվում նաև վերջերս «Օուրոկուսպու» ֆիրմայի (Ֆինլանդիա) Կոկկոլա գործարանի հետազոտողների կողմից առաջարկված նոր տեխնոլոգիայով, ըստ որի ցինկային բովվածքի սովորական չեզոք տարրալուծումը միավորված է սուլֆիդային խտանյութի ուղղակի տարրալուծման գործընթացի հետ [2]:

Սակայն առաջին հայացքից հրապուրիչ թվացող այդ տեխնոլոգիական մեթոդը, որի դեպքում խտանյութի միայն մի մասն է ենթարկվում օքսիդարար բովման, ընդունելի չէ ցինկի առավելագույն բաղադրությամբ տեղական բազմամետաղային խտանյութերի վերամշակման համար՝ թեկուզ միայն այն պատճառով, որ վերջիններս, ի տարբերություն Կոկկոլա գործարանում օգտագործվող խտանյութերի, մեծ քանակությամբ ոսկի և արծաթ են պարունակում (մինչև 20 g/t Au,

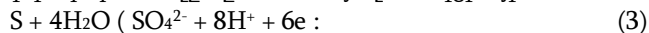
320...370 q/un Ag [3]) և սկզբունքորեն կարող են դիտվել որպես ազնիվ մետաղներով հարուստ ելանյութեր՝ լիազումար հիդրոմետալուրգիական ցիկլով արժեքավոր մետաղների համալիր կորզման համար:

Մյուս կողմից՝ հայտնի է [4], որ սուլֆիդների մեծամասնությունը մթնոլորտային ճնշման տակ ջրային լուծույթներում թթվայնության ցուցանիշի (pH) լայն սահմաններում կարող են քայքայվել առանց որևէ օքսիդիչ ազդանյութի մասնակցության: Այդ պրոցեսը կարելի է արագացնել՝ մեծացնելով լուծույթի օքսիդարար պոտենցիալը (E_h), ինչը, սովորաբար, կատարվում է լուծույթի մեջ հավելելով հարմար օքսիդիչ (օրինակ O_2 և Cl_2 զազեր կամ HNO_3) և, անհրաժեշտության դեպքում, բարձրացնելով լուծույթի ջերմաստիճանը և ճնշումը: Օրինակ, օպտիմալ E_h -pH պայմաններում 45 - 75 մկմ տրամաչափի սուլֆիդային միներալը կարող է ամբողջապես տարրալուծվել մեկ ժամվա և, նույնիսկ, բույներին ընթացքում: Որոշ դեպքերում օքսիդացման արագության մեծացման համար լուծույթում հավելվում են կատալիզատորներ, ինչպիսիք են՝ պղնձի իոնները, ակտիվացած ածուխը կամ մանրէները: Ընդ որում, սուլֆիդային միներալների զգայունությունը ջրային օքսիդացման նկատմամբ կախված է նրանց էլեկտրական և քիմիական հատկություններից, այդ թվում՝ էլեկտրահաղորդականություն, ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալ և լուծելիություն օքսիդարար միջավայրում: Օքսիդացման արագության վրա զգալի ազդեցություն կարող են ունենալ նաև միջֆազային գալվանական փոխազդեցությունները և ռեակցիայի արգասիքների մորֆոլոգիան [4]: Բացի դրանից, պետք է նկատի ունենալ, որ էլեմենտար ծծումբ անջատող օքսիդացման ռեակցիաները միներալի ծավալի որոշակի փոփոխություն են առաջ բերում (տվյալ դեպքում ZnS - ի մոլեկուլյար ծավալը 35% - ով փոքրանում է [5]), անջատված ծծումբը կիպ պատում է սուլֆիդային միներալի մակերևույթը՝ մեկուսացնելով լուծիչի ներգործությունից, ուրեմն՝ սուլֆիդի տարրալուծումից գոյացող էլեմենտար ծծումբը պետք է հեռացվի ռեակցիայի գոտուց՝ փոխազդեցության ընթացքին չխոչընդոտելու նպատակով:

Ինչպես երևում է $Zn-S-H_2O$ համակարգի E_h -pH դիագրամից [6] (նկ.1), սֆալերիտը (ZnS) թթվային լուծույթներում կարող է օքսիդանալ մինչև Zn^{2+} , իսկ ալկալիական լուծույթներում գոյացնել $Zn(OH)_2$ հիդրօքսիդ, ինչպես նաև $Zn(OH)_4^{2-}$ և $Zn(OH)_3^-$ իոններ: Դիագրամին համապատասխանող պայմաններում հավանական են ցինկի օքսիդացման հետևյալ ռեակցիաները [4]՝

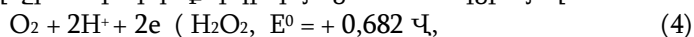


Քանի որ հիդրօքսիդը նստվածք է տալիս, ապա ցինկը լուծույթում պահելու տեսակետից նախընտրելի է (1) ռեակցիան, որը կարող է հաջողությամբ ընթանալ լուծույթի pH-ի արժեքների բավականին լայն տիրույթում: Հետևաբար, տարրալուծման գործընթացում կա՛մ պետք է կանխվի էլեմենտար ծծմբի գոյացումը, կա՛մ էլ անջատված ծծումբը օքսիդանալ՝ մինչև ջրում լուծելի սուլֆատային տարրամասնիկներ դառնալը՝ ըստ հետևյալ ռեակցիայի՝

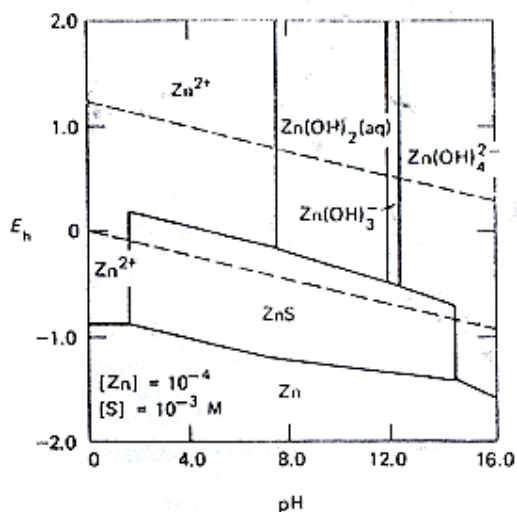


Նկար 2-ում բերված $S-H_2O$ համակարգի E_h -pH դիագրամից [5] երևում է, որ այդպիսի թերմոդինամիկական պայմաններն առկա են լուծույթի pH արժեքների լայն սահմաններում: Ուստի վերոհիշյալ նկատառումները հիմք են տալիս տեղական ցինկային խտանյութերի ուղղակի տարրալուծման համար ընտրել թթվածնի ցածր ճնշումով թթվային օքսիդացում (սովորական մթնոլորտային ճնշման տակ): Այդպիսի պայմաններում թթվածինը, ուղղակիորեն մղվելով ջրային խլուսի մեջ, ի վիճակի է օքսիդացնելու թթվային միջավայրում ոչ միայն ZnS -ը, այլ նաև նրան

ուղեկցող մյուս սուլֆիդները, որոնց փոխակերպությունների հետևանքով գոյացող համապատասխան իոնային տարրամասնիկները (օրինակ, Fe^{3+}) որպես ուժեղ օքսիդիչներ ավելի են օգնում ցինկի օքսիդացմանը: Ընդ որում՝ մոլեկուլար թթվածինը ջրում վերականգնվելով ջրածնի գերօքսիդի գոյացման ռեակցիայով՝

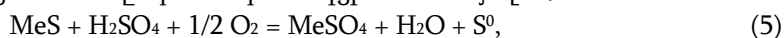


ավելի է նպաստում լուծույթի օքսիդարար ընդունակության մեծացմանը, ինչը իր հերթին նպաստում է սուլֆիդների օքսիդացմանը:



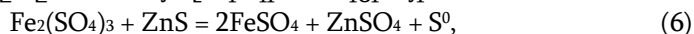
Նկ. 1. Zn-S-H₂O համակարգի
E_h – pH վիճակի դիագրամը (25°C)

Սուլֆիդների օքսիդացման համընդհանուր ռեակցիան հետևյալն է՝



որտեղ Me = Zn, Cu, Fe, Pb, Cd և այլն:

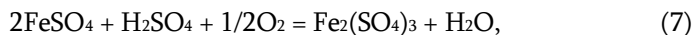
Ոսկին և արծաթը, որպես կանոն, մնում են անլուծելի նստվածքում (սորախցուկում): Երկաթի եռավալենտ սուլֆատը, փոխազդելով ցինկի և մյուս գունավոր մետաղների սուլֆիդների հետ, ինքը փոխակերպվում է երկվալենտ սուլֆատի, օքսիդացնելով նաև ռեակցիայի մեջ մտնող սուլֆիդները՝ ըստ հետևյալ տիպի ռեակցիայի՝



որի համար ազատ էներգիայի փոփոխության ջերմաստիճանային ֆունկցիան կլինի՝

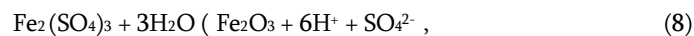
$$(G_T^0 = (H - (S(T = -249 \text{ կՋ/մոլ})))$$

Երկաթի սուլֆատը այնուհետև վերաօքսիդանում է՝ նորից փոխակերպվելով Fe(III) տարրատեսակի՝

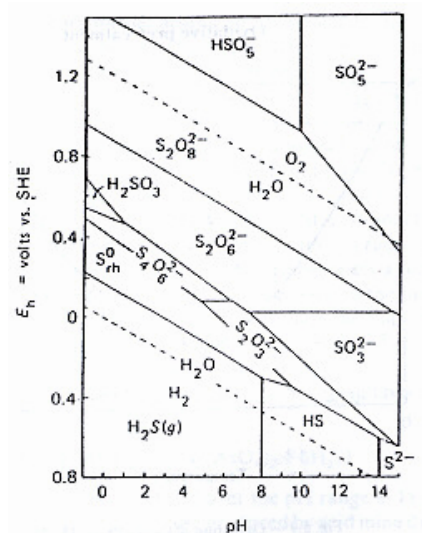


որի համար $\Delta G_T^0 = -207 \text{ կՋ/մոլ}$:

Ծծմբական թթվի 30...50 գ/լ կոնցենտրացիայի դեպքում եռավալենտ սուլֆատը փոխակերպվում է հեմատիտի՝



որը նախընտրելի արգասիք է՝ երկաթի կորզման հնարավորության տեսակետից: Երկաթը կարող է հեշտությամբ կորզվել սորախցուկից, ոսկու և արծաթի ցիանիդային տարրալուծումից հետո:



Նկ. 2. S-H₂O համակարգի E_h - pH դիագրամը այն դեպքի համար, երբ SO₄²⁻ իոնների գոյացումը բացառված է

Հիդրօքսիդացման փուլում գոյացող ազատ ծծմբական թթուն կարող է օգտագործվել օքսիդացած հանքանյութերի տարրալուծման գործընթացներում: Յինկի կորզումը հարստացած և մաքրված լուծույթից կատարվում է էլեկտրանստեցման եղանակով, օգտագործելով Pb-1%Ag չլուծվող անոդներ [7]:

Լաբորատոր հետազոտություններով բազմամետաղական սուլֆիդային խտանյութից (50% Zn, 0,5% Cu, 1,1% Pb, 0,31% Cd, 2% Fe, 31,5% S) ստացված էլեկտրոլիտիկ ցինկի փոշին իր մաքրությամբ չի զիջում II2 և II3 մակնիշների ցինկին ըստ ԳՕՍՍ 3640-65 (աղյուսակ):

Աղյուսակ

Փորձարարական ցինկի փոշու բաղադրությունը (ԳՕՍՍ 3640-65-ի համեմատ)

Մակնիշը	Zn, ոչ պակաս	Խառնուրդներ, ոչ ավելի, %					
		Pb	Fe	Cd	Cu	Sn	Ընդամենը
II2	98,7	1,0	0,05	0,2	0,005	0,002	1,3
II3	97,5	2,0	0,1	0,2	0,05	0,005	2,5
Փորձարարական Zn փոշի	98,63	0,02	0,018	0,18	1,152	-	1,37

(Էմիսիոն սպեկտրալ վերլուծությունը կատարված է ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ լաբորատորիայում:

Պղնձի համեմատաբար բարձր պարունակությունը փորձարարական նմուշում արդյունք է լուծույթի թերի մաքրման էլեկտրակորզումից առաջ, ինչից կարելի է խուսափել՝ էլեկտրոլիզի ենթարկելով բավարար մակարդակով մաքրված լուծույթ, կիրառելով նաև համապատասխան էլեկտրոլիտային հավելանյութեր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Шиврин Г.Н.** Металлургия свинца и цинка. - М.: Металлургия, 1982. - 352 с.
2. **Такала Х.** Выщелачивание цинковых концентратов на заводе в Коккола // Цветные металлы. - 2001. Июнь. Специальный выпуск. - С.65 - 68.
3. **Certificate** of Zinc Concentrate at Kapanian Mountain Enrich Plant: - 18.05.2001.
4. **Mardsen, J., Hause, I.** The Chemistry of Gold Extraction. Chichester (England), Ellis Horward, 1992.- 597 p.
5. **Peters, E.** Leaching of sulphides // In: Advances in Mineral Processing, Ed. Somasundaran, P., SME-AIME. - 1986. - P. 445-462.
6. **Osseo-Asare, K., Xue, T. and Ciminelly, V.S.T.** Splution chemistry of cyanide leaching systems // In: Precious Metals: Min. Extr. and Proc. Ed. Kudryc, V., Corrigan, D.A. and Liang, W., Metall. Soc. AIME.-1984.- P. 173-197.
7. **Sargsyan L.Ye., Martirosyan M.V., Hovhannisyan A.M., Safaryan A.B.** Development of Cost Effective Anodic Materials for Electrowinning of Metals // Information Technologies and Management. 3-2. - Yerevan, 2003.- P. 161-166.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 21.03.2005:

Л.Е. САРГСЯН, А.М. ОГАНЕСЯН, М.В. МАРТИРОСЯН, Т.Р. АВАГЯН

ТЕРМОДИНАМИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ЧИСТО ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сделана попытка с точки зрения точной термодинамики обосновать процесс прямого гидрометаллургического извлечения цинка (обходя традиционную операцию обжига) из полиметаллических сульфидных концентратов с высоким содержанием серебра и золота. Показано, что в слабых водных растворах серной кислоты при низком давлении кислорода можно выщелачивать окислением как сульфид цинка, так и сульфиды сопутствующих ценных металлов. Серебро и золото вместе с пустыми породами полностью остаются в кек. Извлечение выщелоченных металлов из очищенного раствора осуществляется методами избирательного осаждения и электровосстановления.

Ключевые слова: полиметаллический, концентрат, цинк, извлечение, кек, термодинамика.

L.Ye. SARGSYAN, A.M. HOVHANNISYAN, M.V. MARTIROSYAN, T.R. AVAGYAN

THERMODYNAMICS OF ZINC RECOVERY BY CLEAR HYDROMETALLURGICAL METHOD FROM SULPHIDE CONCENTRATES WITH HIGH CONTENTS OF NOBLE METALS

From the point of view of exact thermodynamics an experiment to substantiate the direct recovery process of zinc from polymetallic sulphide concentrates with high contents of silver and gold (without traditional roasting) is given. It is shown that both zinc and other metal sulphides can be leached in dilute acidic solutions by the oxidation under ambient oxygen-low pressure conditions. Silver and gold remain in solid residue with the gangue minerals. The recovery of leached metals from leach solutions can be fulfilled by the separate precipitation and electrodeposition methods.

Keywords: polymetallic, concentrate, zink, thermodynamics, recovery, thermodynamics.

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Տ.Ս. ԱՂԱՄՅԱՆ, Մ.Է. ՄԱՍՈՒՆՅԱՆ,
Մ.Վ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԻՐԻՏ-ԽԱԼԿՈՊԻՐԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՓՈԽԱՐԿՈՒՄՆԵՐԸ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ
ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ**

Ուսումնասիրվում են պղինձ պարունակող խտանյութերի փոխարկումները մեխանիկական և ջերմային մշակման հետևանքով: Ցույց է տրված, որ պլանետար թրթռադաշտում չոր և թաց մանրացումից հետո երկաթի և պղնձի սուլֆիդները ենթարկվում են խորը քիմիական փոխարկումների՝ առաջացնելով սուլֆատներ և հիդրոսուլֆատներ, իսկ երկաթի դեպքում նաև օքսիդներ: Ռենտգենաֆազ վերլուծության եղանակով հաստատվել են կատարված հետազոտությունների արդյունքները:

Առանցքային բառեր. մեխանաքիմիա, սուլֆիդ, փոխարկումներ, երկաթ, պղինձ, խտանյութ:

Հայաստանի տարածքում գտնվող տարբեր հանքավայրեր հարուստ են գունավոր մետաղներ պարունակող զանազան սուլֆիդային հանքանյութերով: Բացի դրանից՝ հայտնաբերվում և շահագործվում են նոր հանքավայրեր: Այդ հանքավայրերն ունեն բարդ միներալոգիական կազմ և տարբերվում են իրենց կազմով ինչպես իրարից, այնպես էլ այլ տարածքների բավական տարածված նմանատիպ հանքանյութերից: Այսօր Հայաստանի զանազան հարստացման ֆաբրիկաներ արտադրում են պղնձային տարբեր խտանյութեր, որոնց համար ավանդական մշակման եղանակները հաճախ դառնում են անկիրառելի: Մեծ մետալուրգիայով պղնձի արտադրության կազմակերպումը հանրապետությունում դժվարանում է, քանի որ չկան ջրային, էներգետիկական և տնտեսական անհրաժեշտ պայմաններ: Դեռևս չլուծված են մնում SO_2 -ի կորզման հարցերը, որոնք կապված են բնապահպանական դժվարությունների հետ, բացի դրանից, նման եղանակով կորզվում է միայն պղինձը, մինչդեռ երկաթը, որի պարունակությունն այդ խտանյութերում կազմում է 40...45%, դեռ է շարունակվում թափոնների տեսքով:

Աշխատանքի նպատակն է՝ մշակել սուլֆիդային խտանյութերի նոր, ավելի պարզ և արդյունավետ տեխնոլոգիա, որը կհանգեցնի հետագա տեխնոլոգիական գործընթացների ինտենսիվացման և, շրջանցելով SO_2 -ի ստացումը, թույլ կտա համալիր ձևով կորզել ոչ միայն պղինձը, այլ նաև երկաթը, ընդհուպ մինչև մետաղական վիճակը՝ լեգիրող հավելանյութերի տեսքով:

Վերջին տարիներին արդյունավետ տեխնոլոգիա է համարվում սուլֆիդային հանքանյութերի նախնական մեխանաքիմիական ակտիվացումը նուրբ մանրացման եղանակով [1-4]: Տեղական սուլֆիդային պղնձային խտանյութերի մեխանաքիմիական մշակման արդյունքները կարևոր գործնական նշանակություն կարող են ունենալ ինչպես պիրոմետալուրգիական, այնպես էլ հիդրոմետալուրգիական մշակման հետագա գործընթացներում: Մեխանաքիմիական ակտիվացման շնորհիվ բավականին կհեշտանան այդպիսի հանքանյութերի ինչպես օքսիդացման, այնպես էլ վերականգնման հարցերը:

Պինդ նյութերի մեխանիկական ակտիվացման պատճառը ոչ միայն նյութի մանրացման աստիճանի, հետևաբար նաև մակերևութային էներգիայի մեծացումն է,

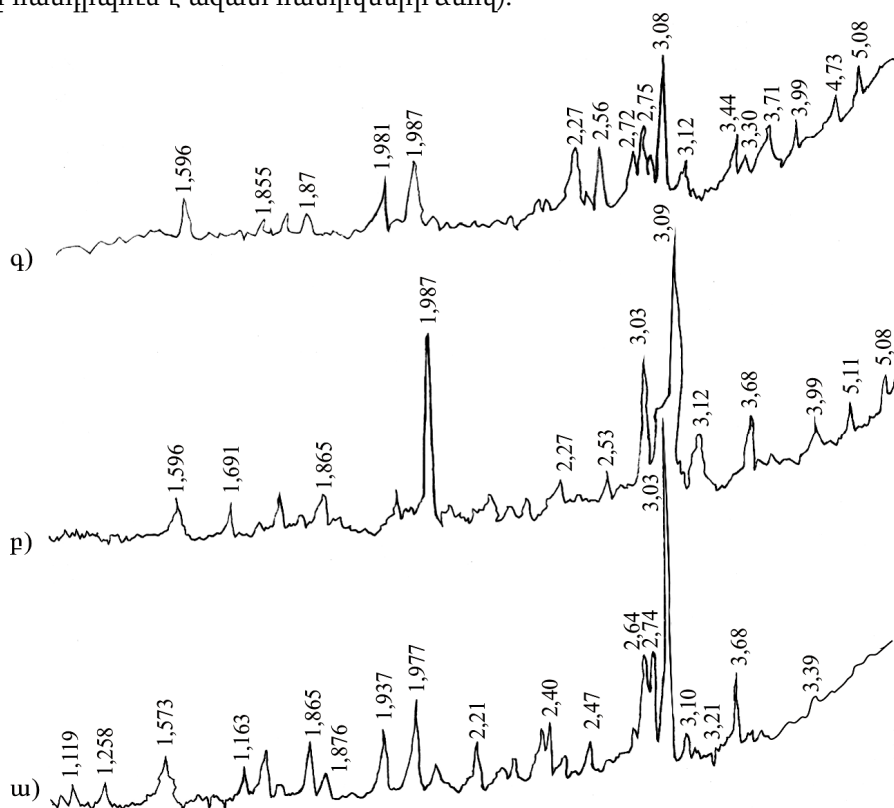
այլ նաև բյուրեղային ցանցում առաջացած զանազան խաթարումները, որոնք հանգեցնում են քիմիական կապերի խզման, նոր կապերի առաջացման և զանազան խոր ֆիզիկաքիմիական փոխարկումների:

Աշխատանքի նպատակն է՝ ուսումնասիրել տեղական պղնձային խտանյութերի փոխարկումները նախնական մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացներում:

Ուսումնասիրությունները կատարվել են Կապանի Շահումյանի հանքավայրի պղնձային խտանյութերի վրա, որոնց քիմիական վերլուծության տվյալները հետևյալներն են՝ Cu-27,2%; Fe-24,1%: S-29,1%: (80,4%, մնացածը SiO_2 և ոչ հանքային միներալներ:

Միներալոգիական ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ Կապանի պղնձային խտանյութն ունի հետևյալ կազմը՝ խալկոպիրիտ (CuFeS_2)-60%, խալկոզին (Cu_2S)- 8%, պիրիտ (FeS_2)- 5%, տենորիտ (CuO)-4%, բորնիտ (Cu_5FeS_4)- 3%:

Ակնհայտ է, որ խտանյութում գերակշռում են խալկոպիրիտը և պիրիտը, այդ պատճառով այս խտանյութերը կոչվում են խալկոպիրիտ-պիրիտային խտանյութեր (պիրիտը հանդիպում է ազատ հատիկների ձևով):



Նկ. 1. Կապանի պղնձային խտանյութի մեխանիկական մշակման ռենտգենագրերը՝ ա- ելանյութ- խտանյութ, բ- օդում մանրացված, գ- ջրում մանրացված (մանրացման տևողությունը 60 ր)

Խալկոպիրիտային խտանյութի մանրացումը (-0,1...+0,074 մմ չափսերի) տարվել է լաբորատոր թրթռաղացում, 2474 պտ/րոպե արագության, 380 Վ լարման և 350 Վտ հզորության պայմաններում: Մանրացվել է 50 գ փորձանմուշ: Մանրացվող գնդիկների տրամագիծը կազմել է 0,8 մմ, իսկ կշիռը՝ 35 անգամ մեծ էր նմուշի զանգվածից (1750 գ): Մանրացումը կատարվել է ինչպես չոր օդում, այնպես էլ ջրային միջավայրում (պ:h=1:1,5) հարաբերությամբ, փորձերի 30, 60, 90, 120 րոպե տևողության պայմաններում:

Նկ. 1-ում պատկերված են ինչպես ելանյութ փորձանմուշի, այնպես էլ չոր օդում և ջրային միջավայրում ակտիվացված փորձանմուշների ռենտգենագրերը:

Ռենտգենագրերում ֆիքսվում է 3,12, 3,03, 1,85 θ ռեֆլեքսները (նկ. 1 ա), որոնք բնորոշ են խալկոպիրիտին: Երևում են նաև պիրիտին բնորոշ ռեֆլեքսները՝ $d=3,14, 2,71, 2,21, 1,637$ θ :

$d=3,39, 2,40, 1,969, 1,87, 1,695$ θ ռեֆլեքսները բնորոշ են խալկոզինին, իսկ 2,72, 1,937, 1,876, 1,258 θ ռեֆլեքսները՝ բորնիտին:

Աղյուսակում ներկայացված են նշված միներալների էտալոնային նմուշների ռենտգենագրային տվյալները: Ելանյութ ֆրակցիայից ռենտգենագրերում կան նաև 3,31, 3,10 θ ռեֆլեքսներ, որոնց քանակներն ըստ ինտենսիվության շատ չեն: Հիմնական գծերը համընկնում են էտալոնային նմուշների հետ:

Աղյուսակ

Խալկոպիրիտի ռենտգենագրերը

N	Փորձնական նմուշ		Էտալոն, ASTM									
	1		9-423		6-0710		9-328		23-961		5-0661	
			խալկոպիրիտ		պիրիտ		խալկոզին		բորնիտ		տենորիտ	
	d	l	d	l	d	l	d	l	d	l	d	l
1	3,39	15	-	-	3,128	2,6	3,39	30	3,31	25	-	-
2	3,04	100	3,03	100	-	-	-	-	3,15	30	-	-
3	2,71	25	-	-	2,709	84	-	-	2,72	55	-	-
4	2,64	14	2,63	5	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2,47	20	-	-	2,423	66	2,4	70	2,47	45	2,523	100
6	2,21	10	-	-	2,2118	52	-	-	-	-	2,323	96
7	1,937	20	-	-	1,9155	40	1,969	80	1,937	100	-	-
8	1,862	79	1,865	40	-	-	1,87	100	1,876	90	-	-
9	1,854	20	1,854	80	-	-	-	-	-	-	1,866	25
10	1,63	20	-	-	1,6332	100	1,695	40	-	-	-	-
11	1,591	35	1,591	60	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1,573	20	1,573	20	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1,501	-	-	-	1,5025	20	-	-	-	-	1,51	27
14	1,317	9	1,820	7	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1,258	10	-	-	-	-	1,278	30	1,258	50	-	-
16	1,119	10	-	-	-	-	1,278	30	1,119	50	-	-
17	1,077	10	1,077	6	-	-	-	-	1,069	50	-	-

Այսպիսով, ռենտգենաֆազային և միներալոգիական վերլուծության տվյալները համընկնում են:

Մեխանիկական մշակումից հետո զգալիորեն փոփոխվում են խալկոպիրիտ-պիրիտային խտանյութի բնութագրերը: Մեկ ժամ օդում ակտիվացումից հետո (նկ. 1 բ) նկատվում են մագնետիտին բնորոշ նոր ռեֆլեքսներ՝ $d=2,53, 1,596, 1,696$, ռեֆլեքսներ՝ բնորոշ FeSO_4 4,85, 3,44, 3,12, 2,52 θ և ռեֆլեքսներ՝ բնորոշ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 5,11, 3,68,

5,11, 3,68, 3,13, 3,09, 2,84, 1,985, 1,897 ժ. Որոշ դեպքերում այդ ռեֆլեքսները համընկնում են մակ երկաթի օքսիդների ռեֆլեքսների հետ:

Ջրում մշակելիս ռենտգենագրերում երևում են մակ սուլֆատների բյուրեղա-
հիդրատներին բնորոշ ռեֆլեքսներ

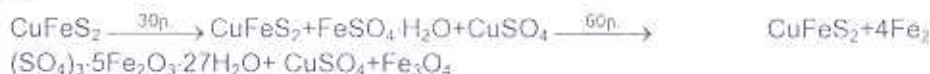
$4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$, ($d=5,11, 3,13, 3,09, 2,55, 1,987, 1,838$ ժ);

$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d=3,99, 3,44, 3,12$ ժ) և $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($d=5,48, 4,73, 3,99, 3,71, 2,75$ ժ):

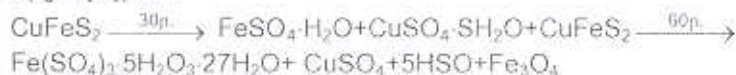
Դրան զուգընթաց, խալկոպիրիտի և մյուս միներալների բնորոշ գծերն աստիճանաբար նվազում են: Հատկապես նվազել է 3,03 ժ բնորոշ գիծը վերածվելով $d=3,08$ ժ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ գծի: Ակտիվացված նմուշներում նկատվում է SO_4^{2-} իոնների բավականին մեծ պարունակություն (որոշված BaCl_2 -ի 10% լուծույթով):

Նշենք խալկոպիրիտի փուլային փոխարկումները մեխանիկական ակտիվաց-
ման հետևանքով.

Չոր օդում



Ջրային միջավայրում



Համակցված մշակում (60 օր)



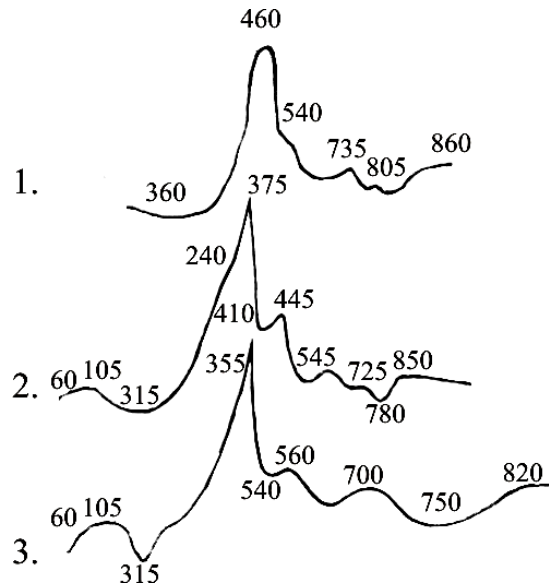
Ջրային միջավայրում 30 ր ակտիվացնելիս խալկոպիրիտի և խալկոզինի կառուցվածքները քայքայվում են, ինչն ակնհայտ է CuFeS_2 -ի $d=1,870$ և $1,855$ ժ գծերի ինտենսիվության նվազումից: Բացի $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ֆազից, որի քանակը բավականին շատ է, առաջանում է նոր ֆազ $4\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$, որի լավ բյուրեղացման արդյունք է $d=3,12$ և $5,08$ ժ գծերի սուր ձևը: Այսինքն ակտիվացման հենց սկզբնական փուլում տեղի ունի արդյունավետ մեխանիկական ակտիվացում: Հետագա մանրացումից $4\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ ֆազը դառնում է ավելի բյուրեղացած, որը հաստատվում է $3,08$ գծի սուր ռեֆլեքսով և $d=4,73$ ռեֆլեքսով, որը բնորոշ է $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ -ին: $4\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ի և խալկոպիրիտի միջհարթությունների միջև եղած հեռավորությունները համընկնում են և ընկած են $3,08$ ժ-ի վրա: Սա թույլ է տալիս եզրակացնել, որ մեխանիկական մշակման հետևանքով CuFeS_2 -ը վեր է ածվում $\text{Cu}_9\text{Fe}_5\text{S}_{16}$ ձևի:

Վերջինս հիմնավորվում է նրանով, որ խալկոպիրիտը մեխանիկական մշակման ժամանակ կորցնում է իր S-ի մեծ մասը:

Այսպիսով, մեկ ժամ չոր օդում և ջրային միջավայրում մեխանաքիմիական ակտիվացումը հանգեցնում է ֆիզիկաքիմիական փոփոխությունների, զգալի փոխվում է խալկոպիրիտ-պիրիտային խտանյութի դիֆրակցիոն նկարագիրը: Չոր օդում մանրացումը հանգեցնում է խալկոպիրիտային միներալի բյուրեղային վիճակի ամորֆացման և վերաբյուրեղացման խորանարդային կառույցից հեքսագո-
նալային կամ տրիգոնալային ձևերի CuFeS_2 (2,04 ժ) օքսիդացման մինչև CuSO_4 , FeSO_4 , $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ (2,68 ժ) և Fe_3O_4 (2,74, 2,53, 1,691):

Ուսումնասիրվել են նաև ակտիվացված և ոչ ակտիվացված խալկոպիրիտ-պիրիտային խտանյութի օքսիդացման գործընթացները ջերմածանրաչափական եղանակով:

Ակտիվացված խտանյութի DTA կորերի սուրճայր և սիմետրիկ ձևը 375 և 355°C-ում վկայում է նրանց ավելի ինտենսիվ օքսիդացման մասին՝ համեմատած չակտիվացված խակոպիրիտի (460°C) հետ:



Նկ. 2. Խակոպիրիտ-պիրիտ խտանյութի DTA կորերը՝
1) էլանյութ խտանյութ; 2) ակտիվացված օդում; 3) ակտիվացված ջրում
(ակտիվացման տևողությունը՝ 60 ր)

Հստ որում՝ օդում և ջրում ակտիվացված նմուշների օքսիդացման համեմատությունը ցույց է տալիս դրանց տարբերությունն իրարից, որը խոսում է տաքացման ընթացքում տարբեր ֆազերի առաջացման մասին:

Տաքացման ընթացքում տեղի է ունենում ոչ միայն CuFeS_2 -ի օքսիդացում, այլև քայքայում, որը հաստատվում է TG կորերի բնույթով: Եթե տաքացումից էլանյութ խակոպիրիտի կշիռն ավելանում է 15...17%-ով, ապա ակտիվացված նմուշներում կշիռը աճում է 30%-ով:

Կշռի այդպիսի կտրուկ կորուստը բացատրվում է ծծմբի օքսիդացմամբ մինչև SO_2 և օքսիդացման գործընթացի ավելի խորը ընթացքով: Եթե ակտիվացված նմուշներում 60...105°C տիրույթում տեղի են ունենում ջերմակլանիչ երևույթներ՝ մինչև օքսիդացումը, ապա էլանյութ խտանյութն այդ տիրույթում կայուն է և չի փոփոխվում: Դա բացատրվում է ակտիվացված նմուշներում հիդրատների քայքայման հետ:

CuSO_4 -ի օքսիդացումը տեղի է ունենում 360...540°C-ում, որի արդյունքում առաջանում է բարձր ջերմաստիճանային խակոզին (Cu_2S): Ջերմաստիճանի հետագա բարձրացումից բացի CuSO_4 -ից, առաջանում է նաև $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$: 735 մինչև 805°C-ում CuSO_4 քայքայվում է առաջացնելով CuO , Cu_2O , և $\text{CuSO}_4 \cdot \text{C}_4\text{O}$: Միաժամանակ

$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, վերածվում է $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -ի, որը դառնում է հիմնական ֆազ: 860° -ում CuSO_4 -ի թերմիկ քայքայումը խիստ արագանում է՝ առաջացնելով պղնձի օքսիդներ:

Ակտիվացված նմուշների օքսիդացման գործընթացները նման են չակտիվացված նմուշներին, միայն այս դեպքերում մաքսիմալ կետերը կորի վրա տեղաշարժվում են դեպի ցածր ջերմաստիճանների կազմի մոտ 100° -ով:

Կատարված ուսումնասիրություններն ունեն գործնական մեծ կիրառություն: Մանրացման հետևանքով խիստ մեծանում է սուլֆիդների քիմիական ակտիվացումը, որը հանգեցնում է օքսիդացման գործընթացների խթանման և ջերմաստիճանի զգալի իջեցման: Տեղի են ունենում ավելի խորը ֆիզիկաքիմիական փոխարկումներ: Հետևաբար՝ մեխանաքիմիական ակտիվացումը կարելի է համարել պիրո և հիդրոմետալուրգիական գործընթացների ինտենսիվացման լավագույն եղանակներից մեկը, որն այսօր չի մտել գունավոր մետաղների մետալուրգիա՝ հզոր աղացների բացակայության պատճառով: Սակայն մոտ տարիներին այդպիսի աղացների ստեղծումը ռեալ է և սուլֆիդների մեխանաքիմիական ակտիվացումը կունենա մեծ առաջընթաց, հատկապես դժվար մշակվող սուլֆիդների մշակման տեխնոլոգիայում:

Բացի դրանից, ստացված սուլֆիդները հեշտ լուծելի են, ինչը նույնպես սուլֆիդային հանքանյութերի հարստացման աշխատանքներում կունենա տեխնոլոգիական նշանակություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Колебакин В.Г.** Превращения сульфидов при активации. – Новосибирск: Наука, 1983. – 208 с.
2. **Колебакин В.Г., Юсупов Т.С.** Некоторые физико-химические особенности тонкодисперсного халькопирита // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. – Новосибирск, 1986. – Т. 10, вып. 305. – С. 219-223.
3. **Аввакумов Е.Г., Болдырев В.В., Кособутский И.И.** Механохимическая активация твердых реакций. Сообщение 1 // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1972. – Вып. 4. – С. 45-50.
4. **Голосов С.И., Молчанов В.И.** Центробежная планетарная мельница, ее технические возможности и применение в практике геологических исследований // В кн.: Физ.- хим. изменения минералов в процессе сверхтонкого измельчения. –Новосибирск: Изд. ИГ и Г, 1966. – С. 5-25.

ՀՊ&Հ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 7.11.2005:

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

**ПРЕВРАЩЕНИЯ ПИРИТ- ХАЛЬКОПИРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА АРМЕНИИ ВСЛЕДСТВИЕ
МЕХАНИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ**

Исследуются вопросы превращения медьсодержащих сульфидных концентратов вследствие механической и химической активации. Показано, что при сухом и мокром измельчении в планетарной гидромельнице сульфиды железа и меди подвергаются глубокому химическому превращению, образуя растворимые в воде сульфаты и гидросульфаты, а в случае железа также оксиды. Результаты эксперимента подтверждены методом рентгенофазового анализа.

Ключевые слова: механохимическая активация, сульфат, превращения, железо, медь, концентрат.

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

**ARTICLE I. PIRIT-CHALCOPIRITE CONCENTRATE INTERACTIONS UNDER MECHANICAL
AND THERMAL IMPACT**

Chemical interactions holding in the sulfide-containing concentrate during fine grinding are discussed. As it was shown, sulfides turn into sulphate, hydro-sulphate, and sometimes even into oxides during fine grinding in the planetary mill in air, water and combined environments. Obtained products are active; they participate in RedOx processes in relatively lower temperatures.

Keywords: mechanochemical, sulphate, interaction, iron, copper, concentrate.

Ա.Մ. ԶԱԵԱՐՅԱՆ

ԽԻՍՏ ՃԵՂՔԱՎՈՐՎԱԾ ԼԵՈՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ
ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Բերված են բարդ լեռնաերկրաբանական պայմաններում ապարների կայունության գնահատման եղանակներ և դրանց վրա առողջ գործոնները: Մշակված է փորվածքների և նրանց առաստաղում զարգացող փլուզումների չափերի կոռելայցիոն կապը: Առաջադրված է ապարների: կայունության գնահատման հոր մոտեցում, որը քայլ առ քայլ տալիս մինչև փորվածքների անցկացումը նախապես կանխողչել փլուզումների չափերը և ուղղությունները:

Առանցքային բառեր. լեռնային ապարների կայունություն, ապարների քայքայման ինտենսիվություն, լեռնային ճնշում:

Լեռնահանքային արդյունաբերության զարգացման բնորոշ առանձնահատկություններից մեկը լեռնաերկրաբանական պայմանների բարդացումն է: Այդ պատճառով էլ խնդիրների հաջող լուծումը, որը կապված է հանքերի չափազործման հուսալիության պահպանման հետ, բավականաչափ կախված է շրջապատող ապարների մեխանիկական գործընթացների կանխագուշակման, օգտագործվող եղանակների կատարելագործման մակարդակից, ինչպես նաև տարբեր ինժեներական կառուցվածքների հաշվարկման եղանակներից:

Լեռնային աշխատանքների կատարման ժամանակ ապարային զանգվածում առաջացող մեխանիկական գործընթացները կարող են ունենալ անցանկալի հետևանքներ՝ փորվածքներում և հանութային տեղամասերում ապարների փլվածքների տեսքով, որա եզրագծի չափազանց մեծ տեղաշարժերով, ինչպես նաև դինամիկ երևույթներով (լեռնային հարվածներ և այլն): Այդ երևույթների կանխման միջոցների և եղանակների հիմնավորված ընտրության համար անհրաժեշտ է որոշակի երկրամեխանիկական իրադրությունում գնահատել ապարային մերկացումների կայունությունը: Տվյալ հարցի վերաբերյալ գոյություն ունեցող հետազոտությունների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ չամրակապված փորվածքի կայունության կանխատեսումը սովորաբար հանգեցնում է հետևյալ պայմանի ստուգմանը՝

$$\sigma_{\text{ամ}} - \sigma_{\text{տեղ}} \leq 0 \quad (1)$$

որտեղ $\sigma_{\text{ամ}}$ -ն չամրակապված փորվածքի եզրագծում գործող զլխավոր առավելագույն լարվածությունն է, $\sigma_{\text{տեղ}}$ ապարի ամրության սահմանն է ըստ միաբանցք սեղմման:

Նշված պայմանի կատարման դեպքում ապարային մերկացումը դասակարգվում է որպես կայուն վիճակ, իսկ չկատարումն՝ անկայուն: Այդ պարագայում մշակված են մի շարք առաջարկություններ, որոնց հիման վրա կարելի է ապարների մերկացումները դասակարգել ըստ կայունության առտիճանի:

Մեղրածորի և Սոթքի ոսկու հանքավայրերի պայմաններում ուտեմնաախրությունների և բնական պիտակումների արդյունքում բացահայտվել է, որ ապարների կայունության կամ մերկացումներից առաջացած փլուզումների

չափերի փոփոխությունները հիմնականում կախված են մի շարք գործոնների միասնական ազդեցությունից. ապարների ամրությունից, ներքին խզման անկյունից, ճեղքավորվածությունից, մասնատվածության աստիճանից, ճեղքերի դիրքից, կողմորոշումից, բացվածքից, լցվածքի բնույթից և պատերի բնութագրից, աշխատանքների կատարման խորությունից, տեկտոնական խզվածքների և ջրերի հոսքի առկայությունից, ապարների դեֆորմացման հատկություններից, հորատապայթեցման աշխատանքների ազդեցությունից և զանգվածի մերկացված մակերեսի երկարատևությունից: Դիտարկվել են, որ ստորգետնյա ջրերը մշակված տարածություններում և փորվածքներում, կաթոցների տեսքով, ներս էին թափանցում բնական ու հորատապայթեցման աշխատանքների ազդեցությունից առաջացած ճեղքերով:

Ըստ վերը նշված գործոնների՝ լեռնային ապարների կայունության գնահատման եղանակներ են մշակվել մի շարք տարբեր գիտահետազոտական կազմակերպություններ և առանձին հետազոտողներ, որոնցից գործնական կիրառության տեսակետից նպատակահարմար է առանձնացնել Նորվեգական երկրամեխանիկայի ինստիտուտի, արդյունաբերական և գիտական հետազոտությունների Հարավաֆրիկյան խորհրդի և պրոֆ. Ն. Ա. Բուլիչևի մշակած եղանակները [1,2]:

Աղյուսակ 1

Հ/հ	Դիտարկումների տեղը	Ապարների կայունության գնահատումը		
		Ըստ ՀԱՀ-ն խորհրդի	Ըստ Նորվեգական երկրամեխանիկայի ինստիտուտի	Ըստ պրոֆ. Ն. Ա. Բուլիչևի
1	Հանքամարմնի հանքաքարային ապարներում	11	0,04	0,15
2	Ինտենսիվ մասնատված կավախճային զանգվածում	3	0	0,0006
3	Հանքային մարմնի սահմանագծից մինչև 3,0 մ հեռավորության սահմաններում	24	0,02	0,14
4	3,0 մ-ից ավել հեռավորությամբ ապարներում	39	8	3

Երեք առաջարկությունների հիմքում դրված են ապարների կայունության վրա ազդող հիմնական գործոնների միասնական քանակական ազդեցությունների գնահատման տարբեր մոտեցումներ [3]: Յուրաքանչյուր գործոնի ազդեցությունը գնահատվում է չափողականություն չունեցող գործակիցներով, որոնց ցուցանիշները ընդունվում են ըստ փորձնական և բնական դիտարկումների: Ապարների կայունության գնահատման ուսումնասիրությունների արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում:

Լեռնային ապարների կայունության նման գնահատումն ունի կարևոր գործնական նշանակություն, որովհետև այդ դեպքում հնարավոր է ընտրել փորվածքների անցկացման լավագույն ուղեգիծ, ինչպես նաև հանքավայրի մշակման համակարգ:

Ակնհայտ է, որ ստացված արդյունքներով չենք կարող կանխորոշել անկայուն ապարներում հնարավոր փլուզումների չափերը (ծավալները) և զարգացման ուղղությունները: Հայտնի է նաև, որ այդ մեծություններն են հանդիսանում ելակետային տվյալներ լեռնային ճնշումների և ամրակապի կոնստրուկտիվ տարրերի չափերի հաշվարկման համար: Հետևաբար լեռնային ապարների կայունությունը դասակարգելիս առաջարկվում է հաշվի առնել նաև դրանց քայքայման ինտենսիվությունը:

Հետազոտությունների արդյունքում փորձ է արվել փլուզումների չափերը կանխորոշել՝ կախված ապարների մերկացումների թռիչքից, ճեղքավորվածության ինտենսիվությունից, ամրությունից, ներքին խզման անկյունից և այլ գործոններից: Սակայն այդ խնդրի լուծման բոլոր փորձերը հանդիպել են մեծ դժվարությունների, քանի որ խիստ ճեղքավորված չոր լեռնային ապարներում փլուզումներն աննշան են, իսկ խոնավության կամ ջրի հոսքի պայմաններում՝ նշանակալի (փլուզումների չափերը կազմում են մինչև 1...3ւ, իսկ երբեմն 5ւ և ավել): Լեռնային ապարների ամրության և ներքին խզման անկյան ցուցանիշները նույնպես հնարավոր չէր օգտագործել՝ կախված զանգվածի խիստ ճեղքավորվածությունից, ջրապարունակությունից և մշակված տարածությունում տարատեսակ ապարների առկայությունից: Այդ երևույթը ակնհայտ է երակային հանքամարմինների մշակման դեպքում:

Վերը շարադրվածից հետևում է, որ անկայուն հանքաքարում և դատարկ ապարներում փորվածքների անցկացման ժամանակ առաստաղում զարգացող փլուզումները նպատակահարմար է գնահատել՝ օգտվելով դրանց չափերի կոռելյացիոն կապից [4,5]: Փլուզումների չափերը հաստատվել են բնական դիտարկումներով և մարկշեյդերական հանույթներով: Ստացված արդյունքները կետերի տեսքով, իրենց համապատասխան օրդինատներով (փլվածքի բարձրությունը, հօ) և աբցիսներով (փլվածքի լայնությունը, Լ) ներկայացված են նկ. 1-ում:

Դրանցով կառուցված գրաֆիկները վկայում են, որ մերկացված ապարներում փլուզումների բարձրությունների և լայնությունների կապը կարելի է ներկայացնել հետևյալ արտահայտություններով.

- չոր ապարների դեպքում՝

$$h_0=0,185 \cdot l, \quad (2)$$

- խոնավ ապարների դեպքում՝

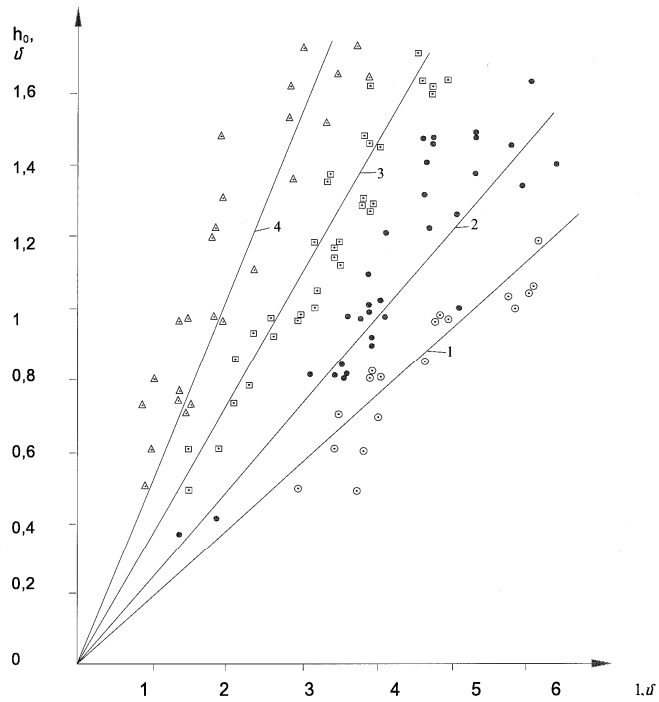
$$h_0=0,240 \cdot l, \quad (3)$$

- ջրի կաթոցների դեպքում՝

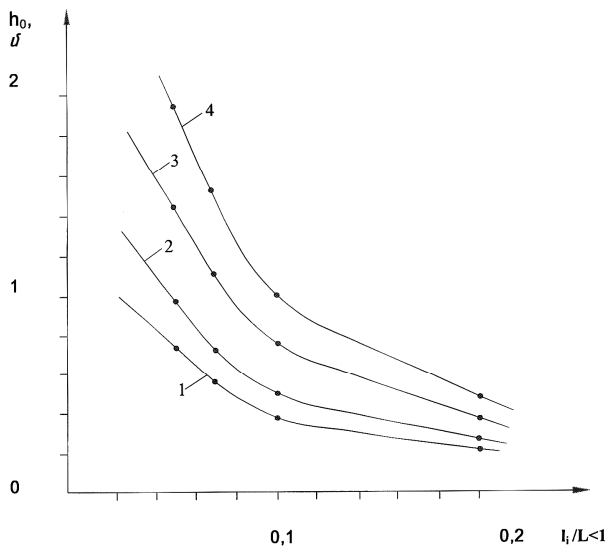
$$h_0=0,370 \cdot l, \quad (4)$$

- ջրի առատ հոսքի դեպքում՝

$$h_0=0,485 \cdot l: \quad (5)$$



Նկ. 1. Փլվածքի բարձրության (h_0) և լայնության (l) կախվածության օրինաչափությունը.
1-չոր ապարներում, 2-խոնավ ապարներում, 3-ջրի կաթոցների դեպքում, 4-ջրի առատ հոսքի դեպքում



Նկ. 2. Փլվածքի բարձրության (h_0) և զանգվածի մասնատվածության աստիճանի (l/L) կախվածության օրինաչափությունը.
1-չոր ապարներում, 2-խոնավ ապարներում, 3-ջրի կաթոցների դեպքում, 4-ջրի առատ հոսքի դեպքում

Օգտվելով (2)-(5) արտահայտություններից և համապատասխան ներքին շփման անկյան մեծություններից՝ գրաֆիկորեն կառուցվել է փորվածքի առաստաղում ձևավորվող հավասարակշռության կամարի տեսքը՝ կախված փորվածքի թռիչքից (L), որտեղ հաշվի է առնվել նաև ապարային զանգվածի մասնատվածությունը: Դիտարկվող հանքավայրերում ճեղքերով մասնատված կտորների չափերը տատանվում են $0,05...0,35$ մ, իսկ հաշվարկներում այն ընդունվել է՝ $l_i = 0,2$ մ: Ստացված արդյունքները բերված են աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2

Ապարային զանգվածի խոնավության բնութագիրը	Փվածքի բարձրությունը (h_0 ,մ)՝ կախված ապարների մասնատվածության աստիճանից (l_i/L) և ներքին շփման անկյունից (φ)				
	0,2/1	0,2/2	0,2/3	0,2/4	φ ,աստ
1.Չոր ապարներում	0,2	0,37	0,55	0,74	34
2.Խոնավ ապարներում	0,25	0,48	0,72	0,96	26
3.Ջրի կաթոցների դեպքում	0,37	0,74	1,1	1,48	20
4. Ջրի առատ հոսքի դեպքում	0,48	0,97	1,45	1,94	16

Աղյուսակ 2-ում բերված արդյունքներով կառուցվել է փորվածքի առաստաղում ձևավորվող փվածքի բարձրության (h_0) ապարային զանգվածի մասնատվածության աստիճանի (l_i/L) կախվածության օրինաչափությունը (ըստ ապարների խոնավության):

Ստացված արդյունքների և կախվածության օրինաչափությունների ուսումնասիրությունները վկայում են, որ ապարների կայունության գնահատման համար նպատակահարմար է օգտվել ներկայացված դասակարգման հետևյալ սխեմայից (աղ. 3): Որտեղ ապարների կայունության գնահատման բոլոր եղանակները միմյանց լրացնում են ըստ ազդող գործոնների և ապարների քայքայման ինտենսիվության [1]:

Լեռնային ապարների կայունության գնահատման այդպիսի մոտեցումը հնարավորություն է տալիս որոշակի բարդ լեռնաերկրաբանական և լեռնատեխնիկական պայմաններում, մինչև փորվածքների անցկացումը, լուծել հետևյալ խնդիրները.

1.Կանխորոշել հնարավոր փլուզումների չափերը և ուղղությունները, լեռնային ճնշման մեծությունը և կատարել մշակման համակարգի կամ լեռնային փորվածքների անցկացման ուղեգծի ճիշտ ընտրություն:

2.Ճշգրիտ որոշել անցկացվող փորվածքների մեկ գծամետրի արժեքը կամ 1 տոննա հանքաքարի կորզման վրա կատարվող իրական ծախսերը:

Նման խնդիրների լուծման դեպքում կճշտվեն կապիտալ ներդրումների չափերը, շինարարության և շահագործման տևողությունը, ինչպես նաև հանքի շահագործման արդյունավետությունը:

Ապարների կայունության կարգը	Ապարների կայունության աստիճանը	Ըստ ՀԱՀ խորհրդի, Y	Ըստ Նորվեգական երկրամեխանիկայի ինստիտուտի, Q	Ըստ պրոֆ. Ն. Ս. Բուլիչևի, S	Ապարների քայքայման ինտենսիվությունը, ho
I	Խիստ կայուն	100...81	100...500	> 70	փլզումները բացակայում են
II	Կայուն	80...61	10...100	5...70	Ապարների առանձին կտորների փլզումներ
III	Միջին կայուն	50...41	5...10	1...5	Մինչև 1,0 մ խորությամբ մասնակի փլզումներ
IV	Անկայուն	40...21	1...5	0,05...1.0	Ապարների փլզումները գերազանցում են 1,0 մ-ը
V	Խիստ անկայուն	≤ 20	< 1	< 0,05	Շարժման են ենթարկվում ապարների զգալի ծավալներ

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Булгачев Н. С.** Механика подземных сооружений. –М.: Недра, 1982. – 270 с.
2. **Панин И.А., Ковалев И.А.** Задачник по подземной разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1984. – 181 с.
3. **Закарян А.М., Мовсисян А. Р.** Схема типизации горных пород по устойчивости на примере Меградзорского рудника //Сб. науч. тр.- Ереван, 2001.-Т. 2.- С.488-489.
4. Զաքարյան Ա.Մ. Զանգվածի վիճակի կառավարում և ամրակապում: Ուսումնական ձեռնարկ. - Երևան, 2002.- էջ 82:
5. **Закарян А.М.** Разработка методики установления параметров крепи горных выработок, пройденных в трещиноватых и обводненных горных породах Меградзорского месторождения // Сборник научных трудов института Армниипроцветмет.- Ереван. 1996. - С. 172-177.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 30.05.2005:

А.М. ЗАКАРЯН

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СИЛЬНО ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Приведены методы оценки и факторы, влияющие на устойчивость горных пород в сложных горно-геологических условиях. Разработана корреляционная связь между размерами выработок и развивающихся вывалов в их сводовой части. Предложен новый подход оценки устойчивости горных пород, что позволяет до проходки выработок прогнозировать размеры и направление вывалов.

Ключевые слова: прочность горных пород, интенсивность разрушения пород, горное давление.

A.M. ZAKARYAN

EVALUTION OF STRONGLY JOINTED ROCKS STABILITY

Methods of evaluation and aspects affecting the rocks stability in complex mining-geological conditions are presented. The correlation dependence between the store dimension and developed inrushes at their arch part is designed. A new approach to the evaluation of the stability which will forecast the dimension and direction of inrushes before drifting of stores is proposed.

Keywords: durability of rocks, rock destruction intensity, rock pressure.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ս.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎՆԱՍԻ ՀԱՐԱՔԵՐԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՑԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Փորձ է արվում մշակել արդյունաբերության տարբեր ճյուղերի կողմից հասցված էկոլոգիական վնասի գնահատման մեթոդ, որը հնարավորություն կտա էկոլոգիական վնասն արտահայտել թվային մեծություններով: Առաջարկվում է էկոլոգիական վնասի գնահատման հարաբերական ցուցանիշների մեթոդ, որը հնարավոր է կիրառել արդյունաբերության ճյուղերի, այդ թվում նաև էներգետիկայի զարգացման հեռանկարային տարբերակների գնային գնահատման ժամանակ:

Առանցքային բառեր. էկոլոգիական վնաս, արդյունաբերության ճյուղերի էկոլոգիական վնասի գնահատման մեթոդ, էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշներ:

Ցանկացած վտանգավոր տեխնածին գործունեության արդյունք՝ շրջակա միջավայրի և բնակչության համար էկոլոգիական վնաս է: Էկոլոգիական վնաս հասկացությունը շատ ընդարձակ է և հարաբերական: Վերջինիս մասին ստույգ կարելի է ասել հետևյալը.

- էկոլոգիական վնաս առաջացնում են տեխնածին օբյեկտները,
- որքան մեծ է տեխնածին օբյեկտի ազդեցությունը շրջակա միջավայրի և բնակչության վրա, այնքան մեծ է էկոլոգիական վնասը,
- էկոլոգիական վնասը կարող է գնահատվել տարբեր բնական ցուցանիշներով. վաղաժամ մահացություն, հաշմանդամություն, թաքնված (լատենտ) մահացություն, բնակչության վերարտադրության ֆունկցիայի խախտում, բերքատվության անկում և այլն:

Կազմակերպ - տեխնիկական միջոցառումների իրականացման միջոցով էկոլոգիական վնասի նվազեցումը պահանջում է լրացուցիչ ֆինանսական միջոցներ և կարող է իրականացվել մինչև որևէ սահման, որը որոշվում է տվյալ երկրի ֆինանսական հնարավորություններով և տվյալ տեխնածին օբյեկտի շահագործման տնտեսական նպատակահարմարությամբ: Այդ պատճառով անհրաժեշտություն է առաջանում մշակել էկոլոգիական վնասի գնահատման տնտեսական չափորոշիչներ և ցուցանիշներ: Այդ չափորոշիչների և ցուցանիշների մշակմանը նվիրված են մեծ թվով աշխատանքներ [1-6], սակայն դրանք առ այսօր ավարտուն չեն: Հոդվածում առաջարկվում է էկոլոգիական վնասի գնահատման համար կիրառել հարաբերական ցուցանիշների մեթոդը, որի միջոցով հնարավոր լինի գնահատել էկոլոգիական վնասի հարաբերական չափը:

Ըստ բնակչության և շրջակա միջավայրի վրա տեխնածին ազդեցության աստիճանի՝ էկոլոգիական վնասը կարելի է բաժանել հետևյալ երեք տիպայինների.

1. Նորմատիվային վնասի տիպ, որը բնութագրվում է ՍԹԿ, ՍԹԴ և շրջակա միջավայրի որակը բնութագրող այլ նորմատիվային ցուցանիշներով: Այս տիպայինի համար էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշը միշտ փոքր է էկոլոգիական վնասի հարաբերական նորմատիվային

տիվային ցուցանիշից՝ $Y_{\text{H}} < Y_{\text{NH}}$: Այն միշտ գոյություն ունի, և նրա հավանականությունը՝ $P = 1$:

2. Ընթացիկ վնասի տիրույթ, որի համար էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշի մեծությունը գտնվում է $Y_{\text{NH}} < Y_{\text{I}} < Y_{\text{RH}}$ միջակայքում: Վնասի այս տիրույթի առաջացման հավանականությունը՝ $P < 1$, այն սովորաբար առաջ է գալիս երբեմն և շրջակա միջավայրի վրա կարող է ունենալ զգալի ազդեցություն՝ վատացնելով միջավայրի որակը բնութագրող ցուցանիշները (նորմատիվային ցուցանիշների համեմատ): Էկոլոգիական անբարենպաստ տարածքների համար այսպիսի վնասը կարող է լինել տևական, և նրա առաջացման հավանականությունը՝ $P = 1$:
3. Վնասի ռիսկայնության տիրույթ, որտեղ շրջակա միջավայրի համար կարող են առաջանալ զգալի վնասներ, երբ բարձր վտանգավորության օբյեկտներում, օրինակ՝ ԱԵԿ-ում, տեղի են ունենում արտանախագծային վթարներ: Այս տիրույթի էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշը մեծ է էկոլոգիական վնասի հարաբերական ռիսկայնության ցուցանիշից՝ $Y_{\text{I}} > Y_{\text{NH}}$, և դրանց առաջացման հավանականությունը շատ փոքր է՝ $P \ll 1$:

Էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշի (Y_{H}) գնահատման համար ընդունենք, որ այն կախված է վնասի հետևյալ երկու մեծություններից՝

- վնաս, որն անմիջապես է ազդում բնակչության վրա — անմիջական վնաս՝ $Y_{\text{ազ}}$,
- վնաս, որ բնակչության վրա ազդում է նրա կենսական միջավայրի վատթարացման հետևանքով — կողմնակի վնաս՝ $Y_{\text{կզ}}$:

$$Y_{\text{H}} = \varphi(Y_{\text{ազ}}, Y_{\text{կզ}}): \quad (1)$$

Էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշի այս ֆունկցիան պետք է բավարարի հետևյալ պայմանները.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial Y_{\text{ազ}}} &> 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial Y_{\text{կզ}}} > 0, \\ \varphi(0, Y_{\text{կզ}} > 0) &> 0, \\ \varphi(Y_{\text{ազ}} > 0, 0) &> 0, \\ \varphi(0, 0) &= 0: \end{aligned} \quad (2)$$

Այս պայմաններից բացի, φ ֆունկցիան պետք է ապահովի նաև անմիջական և կողմնակի վնասների անկախությունը միմյանցից: Հաշվի առնելով այս պայմանը՝ φ ֆունկցիան կարելի է ներկայացնել անմիջական և կողմնակի էկոլոգիական վնասների հարաբերական ցուցանիշների արտադրյալի տեսքով

$$Y_{\text{H}} = (Y_{\text{ազ}} + Y_{\text{կզ}})^{P_{\text{H}}} \cdot (Y_{\text{ազ}} \cdot Y_{\text{կզ}})^{P_{\text{կզ}}} = (Y_{\text{ազ}})^{P_{\text{H}}} \cdot (Y_{\text{կզ}})^{P_{\text{կզ}}}: \quad (3)$$

Այստեղ $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ն և $Y_{\text{կլ}}^{\text{ար}}$ -ն ընդունում են մինչև մեկ կամայական արժեքներ, իսկ $P_{\text{ար}}$ -ն և $P_{\text{կլ}}$ -ն անմիջական և կողմնակի վնասների կշռային գործակիցներն են, որոնք բնութագրում են այդ վնասների հարաբերական ներդրումը էկոլոգիական ընդհանուր վնասի մեջ ($P_{\text{ար}} < 1$, $P_{\text{կլ}} < 1$)։ Ստանց նվազեցնելու (3) հավասարման ընդհանրությունը, այն պարզեցնելու նպատակով կարելի է ընդունել $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} = 1$, $Y_{\text{կլ}}^{\text{ար}} = 1$: Այսպիսով՝ (3) կընդունի հետևյալ տեսքը

$$Y_{\text{ար}} = (Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} + 1)^{P_{\text{ար}}} \cdot (Y_{\text{կլ}} + 1)^{P_{\text{կլ}}} - 1 \quad (4)$$

Չաշվի առնելով այն համադամները, որ բնակչությանը հասցվող անմիջական հարաբերական վնասը ($Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$) արտահայտվում է հետևյալ հարաբերական բաղադրիչներով՝ աղտոտված մթնոլորտով պայմանավորված վնաս՝ $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$, աղտոտված ջրի օգտագործմամբ պայմանավորված վնաս՝ $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$, աղտոտված սննդամթերքի օգտագործմամբ պայմանավորված վնաս՝ $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ և արտաքին վտանգավոր ազդեցությունից առաջացած վնաս՝ $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$, վերը նշված եղանակով կարելի է բնակչությանը հասցված անմիջական վնասի ($Y_{\text{ար}}$) կախվածությունը նշված բաղադրիչներից արտահայտել

$$Y_{\text{ար}} = (Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} + 1)^{P_{\text{ար}}^{\text{ար}}} \cdot (Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} + 1)^{P_{\text{ար}}^{\text{ար}}} \cdot (Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} + 1)^{P_{\text{ար}}^{\text{ար}}} \cdot (Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} + 1)^{P_{\text{ար}}^{\text{ար}}} - 1 \quad (5)$$

հավասարմամբ, որտեղ $P_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ը, $P_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ը, $P_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ը և $P_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ը անմիջական հարաբերական վնասի համապատասխան բաղադրիչների կշռային գործակիցներն են։

Նույն եղանակով փորձենք զնահատել բնակչությանը պատճառած անմիջական վնասի $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$, $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$, $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ և $Y_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ բաղադրիչների արժեքների մեծությունները։

Աղտոտված մթնոլորտի հետևանքով բնակչությանը հասցված անմիջական վնասը կարելի է արտահայտել

$$Y_{\text{ար}}^{\text{ար}} = \varphi_{11}(M_{\text{ար}}^{\text{ար}}, N_{\text{ար}}^{\text{ար}}) \quad (6)$$

Ֆունկցիայով, որտեղ $M_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ը արտանետումների քանակի և որակի անչափ բնութագիրն է, իսկ $N_{\text{ար}}^{\text{ար}}$ -ը՝ տվյալ տարածքի բնակչության թվաքանակի անչափ բնութագիրը։

(6) -ը պետք է բավարարի հետևյալ պայմանները.

$$\frac{\partial \varphi_{11}}{\partial M_{\text{ավ}}^{\text{արտ}}} > 0, \quad \frac{\partial \varphi_{11}}{\partial N_{\text{արտ}}^*} > 0,$$

$$\varphi_{11}(0, N_{\text{արտ}}^* > 0) > 0, \quad (7)$$

$$\varphi_{11}(M_{\text{ավ}}^{\text{արտ}} > 0, 0) > 0,$$

$$\varphi_{11}(0, 0) = 0 :$$

Նշված պայմանները բավարարող ֆունկցիա կարող է համարվել հետևյալ արտահայտությունը

$$Y_{\text{ավ}}^{\text{արտ}} = M_{\text{ավ}}^{\text{արտ}} \cdot N_{\text{արտ}}^* \quad (8)$$

Ելնելով արտանետումների քանակի և որակի բնութագրերի բազմապատկերության սկզբունքից՝ արտանետումների քանակի և որակի անչափ բնութագիրը կարելի է արտահայտել

$$M_{\text{ավ}}^{\text{արտ}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i^{\text{արտ}}}{\text{ԱՅԿ}_{i, \text{արտ}}} \quad (9)$$

հավասարմամբ, որտեղ $C_i^{\text{արտ}}$ -ը տվյալ տարածքում i -րդ վնասակար նյութի փաստացի կոնցենտրացիան է մթնոլորտում, $\text{ԱՅԿ}_{i, \text{արտ}}$ -ը՝ մթնոլորտում i -րդ վնասակար նյութի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիան, որ՝ արտանետումներում պարունակվող վնասակար նյութերի ընդհանուր թիվը

Որպես տվյալ տարածքի բնակչության թվաքանակի անչափ բնութագիր ընդունենք հետևյալ հարաբերությունը.

$$N_{\text{ավ}} = \frac{N_{\text{մարտ}}}{N} \quad (10)$$

որտեղ $N_{\text{ավ}}$ -ը դիտարկվող աղտոտված տարածքում բնակչության խտությունն է.

$N_{\text{ավ}}$ -ն՝ բնակչության խտությունը տվյալ երկրում.

Այս արտահայտությունները տեղադրելով (8) հավասարման մեջ՝ արտանետումների քանակի և որակի անչափ բնութագրի հաշվարկման համար կստանանք հետևյալ հավասարումը

$$Y_{\text{ավ}}^{\text{արտ}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i^{\text{արտ}}}{\text{ԱՅԿ}_{i, \text{արտ}}} \right) \cdot \frac{N_{\text{արտ}}}{N_{\text{ավ}}} \quad (11)$$

Նույն եղանակով կարող ենք որոշել բնակչությանը հասցված ամնիջակահ վնասը՝ աղտոտված ջրի՝ $Y_{\text{ջր}}^{\text{արտ}}$ աղտոտված սննդամթերքի՝ $Y_{\text{սն}}^{\text{արտ}}$ Օճտագործմամբ պայմանավորված, ինչպես նաև արտաքին վտանգավոր ազդեցությունից առաջացած՝ $Y_{\text{սն}}^{\text{արտ}}$: Այսպիսով՝ ստուգողված ջրի Օճտագործմամբ պայմանավորված ամնիջակահ վնասը կարտահայտվի հետևյալ արտահայտությամբ

$$Y_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i^{\text{ալ}}}{U(\theta)U_i^{\text{ալ}}} \right) \cdot \frac{N_{\text{ալ}}}{N_0} \quad (12)$$

որտեղ $C_i^{\text{ալ}}$ -ը տվյալ տարածքում i -րդ վնասակար նյութի փաստացի կոնցենտրացիան է ջրային ավազանում, $U(\theta)U_i^{\text{ալ}}$ -ը՝ ջրային ավազանում i -րդ նյութի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիան, n -ը՝ արտանետումներում պարունակվող վնասակար նյութերի թիվը:

Բնակչությանը հասցված անմիջական հարաբերական վնասը (պայմանավորված աղտոտված սննդամթերքի օգտագործմամբ) կարտահայտվի հետևյալ արտահայտությամբ.

$$Y_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i^{\text{ալ}}}{U(\theta)U_i^{\text{ալ}}} \right) \cdot \frac{N_{\text{ալ}}}{N_0} \cdot \alpha \quad (13)$$

որտեղ $C_i^{\text{ալ}}$ -ը i -րդ վնասակար նյութի փաստացի կոնցենտրացիան է տվյալ տարածքի հողային հանդակներում, $U(\theta)U_i^{\text{ալ}}$ -ը՝ i -րդ նյութի սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիան տվյալ տարածքի հողային հանդակներում, n -ը՝ արտանետումներում պարունակվող վնասակար նյութերի թիվը, $N_{\text{ալ}} = \frac{N_{\text{ալ}}}{N_0}$ -ը՝

աղտոտված հողային հանդակներում աճեցված մթերքներ օգտագործող բնակչության թվաքանակի անչափ բնութագիրը, α -ն՝ տվյալ տարածքի բնակչության կողմից օգտագործվող սննդի մեջ տեղական մթերքների մասնաբաժինը:

Բնակչությանը հասցված անմիջական հարաբերական վնասը, որն առաջացել է արտաքին վտագավոր ազդեցությունից, կարտահայտվի հետևյալ արտահայտությամբ.

$$Y_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{J_i^{\text{ալ}}}{U(\theta)U_i^{\text{ալ}}} \right) \cdot \frac{N_{\text{ալ}}}{N_0} \quad (14)$$

որտեղ $J_i^{\text{ալ}} = \sum_{j=1}^m \frac{J_{ij}^{\text{ալ}}}{U(\theta)U_i^{\text{ալ}}}$ -ը արտաքին ազդեցության որակը և ինտենսիվությունը բնութագրող անչափ բնութագիրն է, $J_{ij}^{\text{ալ}}$ -ը՝ տվյալ տարածքում բնակչության վրա j -րդ արտաքին վտանգավոր ազդեցության փաստացի ինտենսիվությունը, $U(\theta)U_i^{\text{ալ}}$ -ը՝ i -րդ արտաքին վտանգավոր ազդեցության սահմանային թույլատրելի ինտենսիվությունը, n -ը՝ արտաքին վտանգավոր ազդեցությունների թիվը:

Այժմ փորձենք գնահատել անմիջական հարաբերական վնասի համապատասխան բաղադրիչների կշռային գործակիցները ($P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}}$, $P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}}$, $P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}}$ և $P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}}$): Հաշվարկների հարմարության համար ընդունենք, որ $P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} + P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} + P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} + P_{\text{ալ}}^{\text{ալ}} = 1$. Այս կոնկրետ դեպքի համար բնակչությանը հասցված անմիջական հարաբերական վնասը կսխմված կլինի անմիջական վնասի առանձին

բաղադրիչների ազդեցության աստիճանից: Կարելի է քննարկել երկու մոդել՝ հավասարազոր գործոնների և առանձնացված գործոնների: Հավասարազոր գործոնների մոդելի կիրառման դեպքում $P_{\text{ազ}}^{\text{դո}} = P_{\text{ազ}}^{\text{սո}} = P_{\text{ազ}}^{\text{սո}} = P_{\text{ազ}}^{\text{դո}} = 0.25$, և բնակչությանը պառճառած անմիջական հարաբերական վնասը կարելի է գնահատել հետևյալ հավասարմամբ

$$Y_{\text{ազ}} = (Y_{\text{ազ}}^{\text{դո}} + 1)^{0.25} \cdot (Y_{\text{ազ}}^{\text{սո}} + 1)^{0.25} \cdot (Y_{\text{ազ}}^{\text{սո}} + 1)^{0.25} \cdot (Y_{\text{ազ}}^{\text{դո}} + 1)^{0.25} - 1; \quad (15)$$

Առանձնացված գործոնների մոդելի կիրառման դեպքում հնարավոր է բաղադրիչների կշռային գործակիցների համար օգտագործել այլ հարաբերակցություններ՝ ելնելով բնակչության առողջության վրա վնասի ազդեցության փնտհազրական տվյալներից:

Կողմնակի վնասի գնահատման համար, օգտագործելով նույն մեթոդը կստանանք հետևյալ հավասարումը.

$$Y_{\text{վի}} = (Y_{\text{վի}}^{\text{դո}} + 1)^{0.25} \cdot (Y_{\text{վի}}^{\text{սո}} + 1)^{0.25} \cdot (Y_{\text{վի}}^{\text{սո}} + 1)^{0.25} \cdot (Y_{\text{վի}}^{\text{դո}} + 1)^{0.25} - 1, \quad (16)$$

որտեղ $Y_{\text{վի}}^{\text{դո}}$ -ը կողմնակի վնասն է՝ կապված մթնոլորտի աղտոտվածության հետ.

$$Y_{\text{վի}}^{\text{դո}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i^{\text{վի}}}{U C_i^{\text{վի}}} \cdot \frac{S_{\text{աղտ}}^{\text{վի}}}{S_{\text{աղտ}}} \cdot \beta_{\text{աղտ}}^{\text{վի}}$$

որտեղ $C_i^{\text{վի}}$ -ը տվյալ տարածքում i -րդ վնասակար նյութի փաստացի կոնցենտրացիան է մթնոլորտում, $U C_i^{\text{վի}}$ -ն՝ մթնոլորտում i -րդ նյութի սահմանային կոնցենտրացիան, որը բացասական ազդեցություն չի թողնում բիոտեսակների և նրանց արտադրողականության, ինչպես նաև ֆոտոսինթեզի վրա, $S_{\text{աղտ}}^{\text{վի}}$ -ը՝ աղտոտված մակերևույթով տարածքի մակերեսը, $S_{\text{աղտ}}$ -ը՝ էկոլոգիապես համասեռ այն տարածաշրջանի մակերեսը, որում բնոգրկված է տվյալ տարածքը, $\beta_{\text{աղտ}}^{\text{վի}}$ -ը՝ տարածաշրջանում բնական միջավայրի պահպանման հարցում տվյալ տարածքի կարևորության ինդեքսը, որը՝ արտահայտվում է արտահայտվող վնասակար նյութերի թիվը:

$Y_{\text{վի}}^{\text{սո}}$ -ն ջրային աղազանի աղտոտվածության հետ կապված կողմնակի վնասն է.

$$Y_{\text{վի}}^{\text{սո}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i^{\text{սո}}}{U C_i^{\text{սո}}} \cdot \frac{S_{\text{աղտ}}^{\text{սո}}}{S_{\text{աղտ}}} \cdot \beta_{\text{աղտ}}^{\text{սո}}$$

որտեղ $C_i^{\text{սո}}$ -ը i -րդ վնասակար նյութի փաստացի կոնցենտրացիան է տվյալ տարածքի ջրային աղազանում, $U C_i^{\text{սո}}$ -ը՝ i -րդ նյութի սահմանային

կոնցենտրացիան ջրային ավազանում, որի դեպքում թույլատրվում է ջրի օգտագործումը տնտեսական նպատակների համար, ապահովված է բիոտեսակների գոյությունը և նրանց արտադրողականությունը, $S_{\text{տար}}^{\text{ա}}$ -ը՝ ադոտոված ջրային ավազանի մակերևույթը, $\gamma_{\text{տար}}$ - ը՝ տարածքի հարաբերական ինդեքսը, ու-ը՝ արտանետումներում պարունակվող վնասակար նյութերի թիվը:

$Y_{\text{տար}}^{\text{ա}}$ - ը տարածքի ադոտովածության հետ կապված կոդմնակի վնասն է.

$$Y_{\text{տար}}^{\text{ա}} = \sum_{i=1}^i \frac{C_i^{\text{ա}}}{U C_i^{\text{ա}}} \cdot \frac{S_{\text{տար}}^{\text{ա}}}{S_{\text{տար}}} \cdot \beta_{\text{տար}},$$

որտեղ $C_i^{\text{ա}}$ -ն i-րդ նյութի կոնցենտրացիան է տվյալ տարածքի մակերևույթին, $U C_i^{\text{ա}}$ -ն i-րդ նյութի սահմանային կոնցենտրացիան է տվյալ տարածքի մակերևույթին, որը բացասական ազդեցություն չի թողնում բիոտեսակների և նրանց արտադրողականության վրա, $S_{\text{տար}}^{\text{ա}}$ -ը՝ ադոտոված տարածքի մակերեսը, ու-ը՝ արտանետումներում պարունակվող վնասակար նյութերի թիվը:

$Y_{\text{տար}}^{\text{վ}}$ - ն արտաքին վտանգավոր ազդեցության հետ կապված կոդմնակի վնասն է.

$$Y_{\text{տար}}^{\text{վ}} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i^{\text{վ}}}{U I_i^{\text{վ}}} \cdot \frac{S_{\text{տար}}^{\text{վ}}}{S_{\text{տար}}} \cdot \beta_{\text{տար}},$$

որտեղ $I_i^{\text{վ}}$ -ն տվյալ տարածքի բնական միջավայրի վրա արտաքին վտանգավոր ազդեցության i-րդ վնաստացի ինտենսիվությունն է, $U I_i^{\text{վ}}$ -ն i-րդ արտաքին վտանգավոր ազդեցության սահմանային ինտենսիվությունը, որը բացասական ազդեցություն չի թողնում տվյալ տարածքի բնական միջավայրի վրա, $S_{\text{տար}}^{\text{վ}}$ -ը՝ արտաքին վտանգավոր ազդեցության ենթարկված տարածքի մակերեսը:

Օգտագործելով անմիջական հարաբերական վնասի լամպատատասխան բաղադրիչների կշռային գործակիցների գնահատման հավասարագոր գործոնների մոդելը՝ կոդմնակի հարաբերական վնասի ռաշվարկման համար կարելի է առաջարկել հետևյալ հավասարումը.

$$Y_{\text{տար}} = (Y_{\text{տար}}^{\text{ա}} + 1)^{-0.25} \cdot (Y_{\text{տար}}^{\text{վ}} + 1)^{-0.25} \cdot (Y_{\text{տար}}^{\text{ա}} + 1)^{-0.25} \cdot (Y_{\text{տար}}^{\text{վ}} + 1)^{-0.25} - 1; \quad (17)$$

Այսպիսով՝ օգտագործելով առաջարկվող (15) և (17) հավասարումները, կարող ենք (4) հավասարման միջոցով դնահատել հարաբերական վնասի չափը՝ մնմիջական և կոդմնակի հարաբերական վնասի կշռային գործակիցների ստույգ արժեքները կախված են բնակչության կենսագործունեության վրա բնական միջավայրի ազդեցության ստատիստիկ Քնակչության կենսագործունեության վրա բնական միջավայրի գոյուլի ազդեցության դեպքում կառելի է ընդունել

հավասարագոր գործոնների մոդելը, այսինքն՝ $P_{ալ} = P_{կլ} = 0,5$, և էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշը կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ.

$$Y_{հլ} = (Y_{ալ} + 1)^{0.5}(Y_{կլ} + 1)^{0.5} - 1: \quad (18)$$

Այն դեպքում, երբ բնական միջավայրը թույլ է ազդում բնակչության կենսագործունեության վրա, կարելի է ընտրել առանձնացված գործոնների մոդելը և ընդունել $P_{ալ} = 0,9$, $P_{կլ} = 0,1$: Այս դեպքում՝

$$Y_{հլ} = (Y_{ալ} + 1)^{0.9}(Y_{կլ} + 1)^{0.1} - 1: \quad (19)$$

Առաջարկվող (18) և (19) հավասարումներով գնահատված էկոլոգիական վնասի հարաբերական ցուցանիշների արժեքները հնարավոր է կիրառել արդյունաբերության ճյուղերի, այդ թվում՝ նաև էներգետիկայի զարգացման հեռանկարային տարբերակների գնահատման գնային ցուցանիշներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP // Publication, Pergamon Press. - 1993. - № 63.
2. International Basic Standarts for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources// Safety Series. - Vienna: IAEA, 1994. - № 115-1.
3. **Демин В.Ф., Кутиков В.А., Голиков В.Я.** и др. Экономические показатели анализа риска// Атомная энергия. -1999. - Т. 87, № 6.- С. 486-494.
4. **Демин В.Ф., Кутиков В.А., Голиков В.Я.** и др. Анализ риска в принятии мер радиационной и социальной защиты населения// Атомная энергия. -1999. - Т. 87, № 5.- С. 384-395.
5. **Легасов В.А., Демин В.Ф., Шевелов Я.В.** и др. Экономика безопасности ядерной энергетики: Препринт ИАЭ-4072/3, 1984.
6. **Быков А.А., Демин В.Ф., Козелцов М.Л.** и др. О принципах и показателях обобщенного экономического анализа природоохранной деятельности // В сб: Экономические оценки в системе природной среды СССР. -Л.: Гидрометеиздат, 1988.

ՀՊՃՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 30.04.2006:

В.З. МАРУХЯН, С.А. ГЕВОРКЯН

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА**

Сделана попытка разработать метод оценки экологического ущерба, нанесенного разными отраслями промышленности. Предложен метод относительных показателей для оценки экологического ущерба, который можно использовать при оценке стоимостных показателей разных вариантов перспективного развития промышленных отраслей, в том числе энергетики.

Ключевые слова: экологический ущерб, метод оценки экологического ущерба отраслей промышленности, относительные показатели экологического ущерба.

V.Z. MARUKHYAN, S. A. GEVORGYAN

**DEVELOPMENT OF METHODICS FOR ESTIMATION OF RELATIVE CHARACTERISTICS OF
ECOLOGY DAMAGE**

An attempt is made to develop a method for the assessment of ecology damage caused by various branches of industry. The method of relative indicators for the assessment of ecology damage is proposed. The method of relative indicators can be used for the assessment of cost indicators for different options of perspective development of industry branches including the energy sector.

Keywords: ecological damage, method of express ecological damage for branches of industry, relative indicators of ecological damage.

В.С. ХАЧАТРЯН, С.Э. ГРИГОРЯН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО АКТИВНЫМ МОЩНОСТЯМ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ

Предлагается метод определения частных производных от потерь мощностей по активным мощностям независимых станционных узлов, которые одновременно могут быть как типа P-U, так и типа P-Q.

Ключевые слова: оптимизация, матрица, узел, модель, станция, потеря, мощность, модуль, аргумент, режим.

При оптимизации режима электроэнергетической системы (ЭЭС) важным фактором является учет изменения потерь мощностей в сетях, осуществляемый с помощью соответствующих выражений относительных приростов потерь [1-5].

В настоящее время имеется множество методов определения относительных приростов потерь мощностей, которые рассматриваются как определенный этап расчета установившегося режима ЭЭС, однако при P-U или при P-Q типах станционных узлов.

В данной статье рассматривается вопрос определения относительных приростов потерь как определенный этап расчета установившегося режима ЭЭС, при котором станционные узлы могут быть одновременно как типа P-U, так и типа P-Q.

Для построения соответствующей математической модели относительных приростов потерь или частных производных от потерь мощностей по активным мощностям станционных узлов принимается следующая система индексов:

$m(n) = B, 1, 2, \dots, G_1$, где G_1 - число независимых станционных узлов типа P-U. Станционный узел с индексом "B" выбирается в качестве базисного (балансирующего) и является зависимым узлом; $k(\ell) = G_1 + 1, G_1 + 2, \dots, G_1 + G_2 = G$, где G_2 - число независимых станционных узлов типа P-Q, а G - общее число независимых станционных узлов; $t(\tau) = G + 1, G + 2, \dots, G + H = M$, где H - число нагрузочных узлов типа P-Q, а M - число независимых узлов рассматриваемой ЭЭС; $i(j) = 1, 2, \dots, G_1; G_1 + 1, G_1 + 2, \dots, G_1 + G_2; G_1 + G_2 + 1, G_1 + G_2 + 2, \dots, G_1 + G_2 + H$, в состав которых входят все M независимые узлы.

Математическая модель ЭЭС для определения относительных приростов потерь мощностей представляется в виде

$$\Pi_a = \Pi_a(P, Q, U, \Psi_u), \quad (1)$$

$$\Pi_p = \Pi_p(P, Q, U, \Psi_u); \quad (2)$$

$$\Phi_{pi}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \quad (3)$$

$$\Phi_{qi}(P, Q, U, \Psi_u) = 0, \quad (4)$$

где Π_a и Π_p - функции потерь активной и реактивной мощностей, зависящие от узловых режимных параметров; выражения (3), (4) – системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима.

На основании вышеприведенной математической модели (1)-(4), с учетом выбранной системы индексов, можно написать следующие выражения для определения частных производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям станционных узлов:

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_a} = \left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_a} \right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_a} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_a} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_a} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{uj}} \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_a}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_a} = \left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_a} \right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_a} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_a} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_a} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{uj}} \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_a}. \quad (6)$$

Частные производные $(\partial \Pi_a / \partial P_a), (\partial \Pi_p / \partial P_a); \partial \Pi_a / \partial Q_n, \partial \Pi_p / \partial Q_n; \partial \Pi_a / \partial U_\ell, \partial \Pi_p / \partial U_\ell; \partial \Pi_a / \partial U_\tau, \partial \Pi_p / \partial U_\tau; \partial \Pi_a / \partial \Psi_{uj}, \partial \Pi_p / \partial \Psi_{uj}$ определяются на основании аналитических выражений функции потерь активной и реактивной мощностей.

В выражениях (5), (6): $\partial Q_n / \partial P_a, \partial U_\ell / \partial P_a, \partial U_\tau / \partial P_a, \partial \Psi_{uj} / \partial P_a$ - соответственно частные производные от реактивных мощностей независимых станционных узлов типа P-U; от модулей комплексных напряжений независимых станционных узлов типа P-Q; от модулей комплексных напряжений нагрузочных узлов типа P-Q; от аргументов комплексных напряжений независимых узлов по активным мощностям станционных узлов.

Таким образом, число вышеотмеченных частных производных составляет $2M$, для определения которых относительно систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (3)-(4), с учетом выбранной системы индексов, можем написать

$$\left(\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_a} \right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_a} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_a} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_a} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{uj}} \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_a} = 0, \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_a} \right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_a} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_a} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_a} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uj}} \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_a} = 0, \quad (8)$$

$$\left(\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_\alpha}\right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{uj}} \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha} = 0, \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_\alpha}\right) + \sum_{n=1}^{\Gamma_1} \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_n} \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} + \sum_{\ell=\Gamma_1+1}^{\Gamma} \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_\ell} \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} + \sum_{\tau=\Gamma+1}^M \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_\tau} \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} + \sum_{j=1}^M \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{uj}} \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha} = 0. \quad (10)$$

Системы уравнений (7)-(10) в матричной форме имеют вид

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{uj}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uj}} \\ \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{uj}} \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{uj}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_\alpha} \\ -\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_\alpha} \\ -\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_\alpha} \\ -\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Искомые частные производные определяются в виде

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial Q_n}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\ell}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial U_\tau}{\partial P_\alpha} \\ \frac{\partial \Psi_{uj}}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{uj}} \\ \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uj}} \\ \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{uj}} \\ \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_n} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_\ell} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_\tau} & \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{uj}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_\alpha} \\ -\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_\alpha} \\ -\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_\alpha} \\ -\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_\alpha} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

В явновыраженной форме функции активной и реактивной мощностей имеют вид

$$\Pi_a = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [a_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + b_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)], \quad (13)$$

$$\Pi_p = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [c_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + d_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)], \quad (14)$$

где

$$a_{ij} = \frac{R_{ij}}{U_i U_j} \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}), \quad b_{ij} = \frac{R_{ij}}{U_i U_j} \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}), \quad (15)$$

$$c_{ij} = \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}), \quad d_{ij} = \frac{X_{ij}}{U_i U_j} \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}). \quad (16)$$

Частные производные $(\partial \Pi_a / \partial P_\alpha)$, $\partial \Pi_a / \partial Q_n$, $\partial \Pi_a / \partial U_\ell$, $\partial \Pi_a / \partial U_\tau$, а также $\partial \Pi_a / \partial \Psi_{uj}$, входящие в выражение (5), определяются в виде

$$\left(\frac{\partial \Pi_a}{\partial P_\alpha} \right) = 2 \sum_{j=1}^M (a_{\alpha j} P_j - b_{\alpha j} Q_j), \quad (17)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial Q_n} = 2 \sum_{j=1}^M (a_{nj} Q_j + b_{nj} P_j), \quad (18)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\ell} = -\frac{2}{U_\ell} \sum_{j=1}^M [a_{\ell j} (P_\ell P_j + Q_\ell Q_j) + b_{\ell j} (Q_\ell P_j - P_\ell Q_j)], \quad (19)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial U_\tau} = -\frac{2}{U_\tau} \sum_{j=1}^M [a_{\tau j} (P_\tau P_j + Q_\tau Q_j) + b_{\tau j} (Q_\tau P_j - P_\tau Q_j)], \quad (20)$$

$$\frac{\partial \Pi_a}{\partial \Psi_{uj}} = -2 \sum_{j=1}^M [b_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + a_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)]. \quad (21)$$

Частные производные $(\partial \Pi_p / \partial P_\alpha)$, $\partial \Pi_p / \partial Q_n$, $\partial \Pi_p / \partial U_\ell$, $\partial \Pi_p / \partial U_\tau$ и $\partial \Pi_p / \partial \Psi_{uj}$, входящие в выражение (6), определяются в виде

$$\left(\frac{\partial \Pi_p}{\partial P_\alpha} \right) = 2 \sum_{j=1}^M (c_{\alpha j} P_j - d_{\alpha j} Q_j), \quad (22)$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial Q_n} = 2 \sum_{j=1}^M (c_{nj} Q_j + d_{nj} P_j), \quad (23)$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\ell} = -\frac{2}{U_\ell} \sum_{j=1}^M [c_{\ell j} (P_\ell P_j + Q_\ell Q_j) + d_{\ell j} (Q_\ell P_j - P_\ell Q_j)], \quad (24)$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial U_\tau} = -\frac{2}{U_\tau} \sum_{j=1}^M [c_{\tau j} (P_\tau P_j + Q_\tau Q_j) + d_{\tau j} (Q_\tau P_j - P_\tau Q_j)], \quad (25)$$

$$\frac{\partial \Pi_p}{\partial \Psi_{uj}} = -2 \sum_{j=1}^M [d_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + c_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)]. \quad (26)$$

Частные производные $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$ и $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$, входящие в выражения (5) и (6), определяются на основании систем нелинейных алгебраических уравнений (7)-(10) или матричного уравнения (12).

Представим системы нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима (3) и (4) в виде

$$\Phi_{pm} = P_m - \left[\frac{U_E}{U_m} (P_m \cos \Psi_{um} + Q_m \sin \Psi_{um}) + \sum_{j=1}^M (R_{mj} A_{mj} + X_{mj} B_{mj}) \right] = 0, \quad (27)$$

$$\Phi_{pk} = P_k - \left[\frac{U_E}{U_k} (P_k \cos \Psi_{uk} + Q_k \sin \Psi_{uk}) + \sum_{j=1}^M (R_{kj} A_{kj} + X_{kj} B_{kj}) \right] = 0, \quad (28)$$

$$\Phi_{pt} = P_t - \left[\frac{U_E}{U_t} (P_t \cos \Psi_{ut} + Q_t \sin \Psi_{ut}) + \sum_{j=1}^M (R_{tj} A_{tj} + X_{tj} B_{tj}) \right] = 0, \quad (29)$$

$$\Phi_{qi} = Q_i - \left[-\frac{U_E}{U_i} (P_i \sin \Psi_{ui} - Q_i \cos \Psi_{ui}) + \sum_{j=1}^M (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}) \right] = 0, \quad (30)$$

где

$$A_{ij} = \frac{1}{U_i U_j} [(P_i P_j + Q_i Q_j) \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) + (Q_i P_j - P_i Q_j) \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj})], \quad (31)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{U_i U_j} [(P_i P_j + Q_i Q_j) \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) - (Q_i P_j - P_i Q_j) \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj})], \quad (32)$$

причем

$$i, j = [m(n), k(\ell), t(\tau)].$$

Можно заметить, что число нелинейных алгебраических уравнений (27)-(32) составляет $2M$, т.е. столько, сколько имеется неизвестных частных производных типа $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$ и $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$.

На основании систем нелинейных алгебраических уравнений установившегося режима ЭЭС (27)-(32) определим аналитические выражения частных производных, входящих в матричное выражение (12).

Для определения необходимых частных производных целесообразно вышеприведенные выражения представить в виде

$$\Phi_{pm} = P_m - \left[\frac{U_\square}{U_m} (P_m \cos \Psi_{um} + Q_m \sin \Psi_{um}) + \frac{R_{mm}}{U_m^2} (P_m^2 + Q_m^2) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^M (R_{mj} A_{mj} + X_{mj} B_{mj}) \right] = 0, \quad (33)$$

$$\Phi_{pk} = P_k - \left[\frac{U_\square}{U_k} (P_k \cos \Psi_{uk} + Q_k \sin \Psi_{uk}) + \frac{R_{kk}}{U_k^2} (P_k^2 + Q_k^2) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^M (R_{kj} A_{kj} + X_{kj} B_{kj}) \right] = 0, \quad (34)$$

$$\Phi_{pt} = P_t - \left[\frac{U_E}{U_t} (P_t \cos \Psi_{ut} + Q_t \sin \Psi_{ut}) + \frac{R_{tt}}{U_t^2} (P_t^2 + Q_t^2) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq t}}^M (R_{tj} A_{tj} + X_{tj} B_{tj}) \right] = 0, \quad (35)$$

$$\Phi_{qi} = Q_i - \left[-\frac{U_E}{U_i} (P_i \sin \Psi_{ui} - Q_i \cos \Psi_{ui}) + \frac{X_{ii}}{U_i^2} (P_i^2 + Q_i^2) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}) \right] = 0. \quad (36)$$

На основании (33)-(36) можно установить аналитические выражения частных производных, входящих в выражение (12):

- при одинаковых индексах:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_m} = - \left[\frac{U_E}{U_m} \sin \Psi_{um} + \frac{2Q_m}{U_m^2} R_{mm} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^M [Q_j (a_{mj} + d_{mj}) + P_j (b_{mj} - c_{mj})] \right], \quad (37)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_i} = 1 - \left[\frac{U_E}{U_i} \cos \Psi_{ui} + \frac{2Q_i}{U_i^2} X_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M [Q_j (c_{ij} - b_{ij}) + P_j (d_{ij} + a_{ij})] \right], \quad (38)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial U_k} = \frac{U_E}{U_k} (P_k \cos \Psi_{uk} + Q_k \sin \Psi_{uk}) + \frac{2(P_k^2 + Q_k^2)}{U_k^3} R_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^M \left[\frac{1}{U_k} (R_{kj} A_{kj} + X_{kj} B_{kj}) \right], \quad (39)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial U_t} = \frac{U_E}{U_t^2} (P_t \cos \Psi_{ut} + Q_t \sin \Psi_{ut}) + \frac{2(P_t^2 + Q_t^2)}{U_t^3} R_{tt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq t}}^M \left[\frac{1}{U_t} (R_{tj} A_{tj} + X_{tj} B_{tj}) \right], \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_i} = & -\frac{U_E}{U_i^2} (P_i \sin \Psi_{ui} - Q_i \cos \Psi_{ui}) + \frac{2(P_i^2 + Q_i^2)}{U_i^3} X_{ii} + \\ & + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M \left[\frac{1}{U_i} (X_{ij} A_{ij} - R_{ij} B_{ij}) \right], \end{aligned} \quad (41)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial \Psi_{um}} = \frac{U_E}{U_m} (P_m \sin \Psi_{um} - Q_m \cos \Psi_{um}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^M (R_{mj} B_{mj} - X_{mj} A_{mj}), \quad (42)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial \Psi_{uk}} = \frac{U_E}{U_k} (P_k \sin \Psi_{uk} - Q_k \cos \Psi_{uk}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^M (R_{kj} B_{kj} - X_{kj} A_{kj}), \quad (43)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial \Psi_{ut}} = \frac{U_E}{U_t} (P_t \sin \Psi_{ut} - Q_t \cos \Psi_{ut}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq t}}^M (R_{tj} B_{tj} - X_{tj} A_{tj}), \quad (44)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{ui}} = \frac{U_E}{U_i} (P_i \cos \Psi_{um} + Q_m \sin \Psi_{um}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M (R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}). \quad (45)$$

Затем определим следующие частные производные:

$$\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_m} = 1 - \left\{ \frac{U_E}{U_m} \cos \Psi_{um} + \frac{2P_m}{U_m^2} R_{mm} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^M [P_m (a_{mj} + d_{mj}) - Q_m (b_{mj} - c_{mj})] \right\}, \quad (46)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_k} = 1 - \left\{ \frac{U_E}{U_k} \cos \Psi_{uk} + \frac{2P_k}{U_k^2} R_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^M [P_k (a_{kj} + d_{kj}) - Q_k (b_{kj} - c_{kj})] \right\}, \quad (47)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_t} = 1 - \left\{ \frac{U_E}{U_t} \cos \Psi_{ut} + \frac{2P_t}{U_t^2} R_{tt} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq t}}^M [P_t (a_{tj} + d_{tj}) - Q_t (b_{tj} - c_{tj})] \right\}, \quad (48)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_i} = - \left\{ -\frac{U_E}{U_i} \sin \Psi_{ui} + \frac{2P_i}{U_i^2} X_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M [P_i (c_{ij} - b_{ij}) - Q_i (d_{ij} + a_{ij})] \right\}; \quad (49)$$

- при разных индексах:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial Q_n} = & - \left\{ \frac{R_{mn}}{U_m U_n} [Q_m \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - P_m \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] + \right. \\ & \left. + \frac{X_{mn}}{U_m U_n} [Q_m \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + P_m \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] \right\}, \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial Q_n} = & -\left\{ \frac{R_{kn}}{U_m U_n} [Q_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) - P_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] + \right. \\ & \left. + \frac{X_{kn}}{U_k U_n} [Q_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{un}) + P_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{un})] \right\},\end{aligned}\quad (51)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial Q_n} = & -\left\{ \frac{R_{tn}}{U_t U_n} [Q_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{un}) - P_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{un})] + \right. \\ & \left. + \frac{X_{tn}}{U_t U_n} [Q_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{un}) + P_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{un})] \right\},\end{aligned}\quad (52)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial Q_n} = & -\left\{ \frac{X_{in}}{U_i U_n} [Q_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{un}) - P_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{un})] - \right. \\ & \left. - \frac{R_{in}}{U_i U_n} [Q_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{un}) + P_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{un})] \right\},\end{aligned}\quad (53)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pm}}{\partial P_n} = & -\left\{ \frac{R_{mn}}{U_m U_n} [P_m \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un}) + Q_m \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un})] + \right. \\ & \left. + \frac{X_{mn}}{U_m U_n} [P_m \sin(\Psi_{um} - \Psi_{un}) - Q_m \cos(\Psi_{um} - \Psi_{un})] \right\},\end{aligned}\quad (54)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pk}}{\partial P_\ell} = & -\left\{ \frac{R_{k\ell}}{U_k U_\ell} [P_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) + Q_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell})] + \right. \\ & \left. + \frac{X_{k\ell}}{U_k U_\ell} [P_k \sin(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell}) - Q_k \cos(\Psi_{uk} - \Psi_{u\ell})] \right\},\end{aligned}\quad (55)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{pt}}{\partial P_\tau} = & -\left\{ \frac{R_{t\tau}}{U_t U_\tau} [P_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau}) + Q_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau})] + \right. \\ & \left. + \frac{X_{t\tau}}{U_t U_\tau} [P_t \sin(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau}) - Q_t \cos(\Psi_{ut} - \Psi_{u\tau})] \right\},\end{aligned}\quad (56)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial P_j} = & -\left\{ \frac{X_{ij}}{U_i U_j} [P_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) + Q_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj})] - \right. \\ & \left. - \frac{R_{ij}}{U_i U_j} [P_i \sin(\Psi_{ui} - \Psi_{uj}) - Q_i \cos(\Psi_{ui} - \Psi_{uj})] \right\},\end{aligned}\quad (57)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial U_j} = \frac{1}{U_n} (R_{ij} A_{ij} + X_{ij} B_{ij}), \quad (58)$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial U_j} = \frac{1}{U_j} (R_{ij} B_{ij} - X_{ij} A_{ij}), \quad (59)$$

$$\frac{\partial \Phi_{pi}}{\partial \Psi_{uj}} = (R_{ij} B_{ij} - X_{ij} A_{ij}), \quad (60)$$

где

$$i = (m, k, t), \quad j = (n, \ell, \tau),$$

$$\frac{\partial \Phi_{qi}}{\partial \Psi_{uj}} = -(X_{ij} B_{ij} + R_{ij} A_{ij}). \quad (61)$$

В результате установлены аналитические выражения частных производных, входящих в (11) или (12).

Имея численные значения аналитических выражений частных производных, входящих в матричное выражение (12), можно определить численные значения искомых частных производных $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$, $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$.

Следует отметить, что численные значения частных производных первого порядка, входящих в квадратную неособенную матрицу выражения (12), определяются на основании численных значений активных параметров установившегося режима рассматриваемой ЭЭС на данной итерации или данном этапе.

Имея численные значения частных производных $\partial Q_n / \partial P_\alpha$, $\partial U_\ell / \partial P_\alpha$, $\partial U_\tau / \partial P_\alpha$, а также $\partial \Psi_{uj} / \partial P_\alpha$, можно установить численные значения частных производных от потерь активной и реактивной мощностей по активным мощностям независимых станционных узлов или относительных приростов потерь мощностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян В. С.** К вопросу об определении производных от потерь активной и реактивной мощности по активным мощностям станционных узлов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1970.- N 2.-С. 101-108.
2. **Хачатрян В. С.** Метод определения относительных приростов потерь в сетях больших электроэнергетических систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.-1974.- N 5.-С. 138-142.
3. **Хачатрян В. С.** Метод определения относительных приростов потерь в сетях больших электроэнергетических систем при задании P-Q режимных параметров станционных узлов // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.-1974.-N 2.-С. 57-65.
4. **Хачатрян В. С.** Метод и алгоритм оптимизации режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и Транспорт.-1976.- N 5.- С. 24-34.

5. **Хачатрян В.С., Мнацаканян М.А.** Определение допустимых относительных приростов потерь активной мощности электроэнергетической системы методом декомпозиции // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2005.- Т. 58, N 2.-С. 260-268.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.02.2006.

Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Է. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՑԱՆՑԻ ԱԿՏԻՎ ԵՎ ՌԵԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՄԱՍՆԱԿԻ ԱԾԱՆՑՑԱԼՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄՆ ԸՍՏ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ
ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ**

Առաջարկվում է ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների կորուստների մասնակի ածանցյալների որոշման նոր մեթոդ՝ ըստ էլեկտրական կայանների ակտիվ հզորությունների, որոնք կարող են միաժամանակ լինել P-U և P-Q տեսքերի:

Առանցքային բառեր. լավարկում, մատրից, հանգույց, մոդել, կայան, կորուստ, հզորության մոդուլ, արգումենտ, ռեժիմ:

V.S. KHACHATRYAN, S.E. GRIGORYAN

**METHOD OF DEFINING PARTIAL DERIVATIVES FROM LOSSES OF ACTIVE AND REACTIVE
POWERS IN ELECTROPOWER SYSTEM OF ACTIVE POWERS OF STATION UNITS**

A method of defining partial derivatives from losses of active and reactive powers in electropower system of active powers for independent station units which can simultaneously be both P-U types is proposed.

Keywords: optimization, matrix, unit, model, station, loss, power, module, argument, mode.

Г.Д. АКОПДЖАНЫН, В.С. САФАРЯН

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПНЫХ СХЕМ

Исследованы зависимости передаточных функций и обобщенных параметров, характеризующих цепные схемы, от числа каскадно включенных в схеме четырехполюсников. Выявлены некоторые новые свойства указанных, а также характеристических сопротивлений цепных схем.

Ключевые слова: цепная схема, передаточная функция, четырехполюсник, характеристическое сопротивление.

Известно, что параметрами, характеризующими пассивные четырехполюсники (рис. 1), служат сопротивления Z_a , Z_{ab} , Z_b , Z_{ba} , где Z_a , Z_{ab} (Z_b , Z_{ba}) - входные сопротивления со стороны зажимов 1-1' (2-2') при холостом ходе и коротком замыкании на зажимах 2-2' (1-1').

Известно также, что из названных параметров только три независимы, поскольку между ними существует связь [1,2]:

$$Z_a Z_{ba} = Z_b Z_{ab} = d.$$

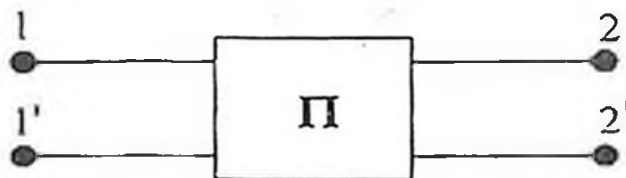


Рис. 1

Цепную схему (рис. 2), состоящую из каскадно подключенных одинаковых пассивных четырехполюсников, в целом можно рассматривать как эквивалентный четырехполюсник и характеризовать его тремя независимыми параметрами, имея в виду, что

$$Z_{na} Z_{nba} = Z_{nb} Z_{nab}.$$

В данном выражении величины те же, что и выше, а индекс n указывает на количество четырехполюсников в цепной схеме.

В настоящей статье проводится анализ цепных схем, состоящих, в общем случае, из несимметричных, но одинаковых пассивных четырехполюсников, с точки зрения выявления новых свойств характеризующих их параметров. Ставятся задачи получения зависимостей этих параметров от числа n четырехполюсников, входящих в состав цепной схемы, и параметров только одного четырехполюсника (Z_a, Z_b, Z_{ab}, Z_{ba}), а также нахождения

общей формулы для определения передаточных функций по напряжению от выхода любого i - го звена к входу цепной схемы, работающей в режиме холостого хода.

Для решения поставленных задач воспользуемся рекуррентными соотношениями [3]:

$$\begin{aligned} Z_{na} &= \frac{Z_{(n-1)a} Z_a + Z_{ab} Z_b}{Z_{(n-1)a} + Z_b}, & Z_{nab} &= \frac{Z_{(n-1)ab} Z_a + Z_{ab} Z_b}{Z_{(n-1)ab} + Z_b}, \\ Z_{nb} &= \frac{Z_{(n-1)b} Z_b + Z_{ba} Z_a}{Z_{(n-1)b} + Z_a}, & Z_{nba} &= \frac{Z_{(n-1)ba} Z_b + Z_{ba} Z_a}{Z_{(n-1)ba} + Z_a}. \end{aligned} \quad (1)$$

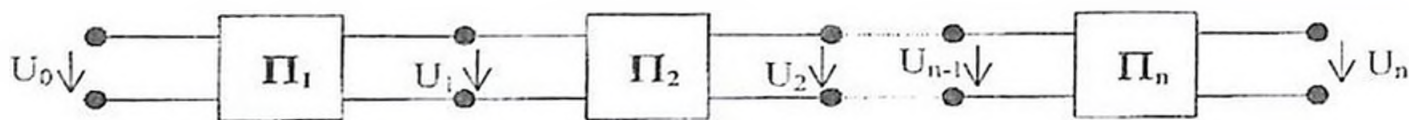


Рис. 2

Предварительно докажем некоторые инвариантные соотношения, имеющие место между параметрами, характеризующими цепную схему.

1. Докажем, что

$$Z_{na} - Z_{nb} = Z_a - Z_b, \quad (2)$$

т.е. эта разность не зависит от числа n четырехполюсников, входящих в состав цепной схемы.

Воспользуемся соотношениями (1) и для доказательства применим метод математической индукции. Покажем, что выражение (2) имеет место при $n = 2$:

$$Z_{2a} - Z_{2b} = \frac{Z_a^2 + d}{Z_a + Z_b} - \frac{Z_b^2 + d}{Z_b + Z_a} = \frac{Z_a^2 - Z_b^2}{Z_a + Z_b} = Z_a - Z_b.$$

Полагая, что (2) имеет место при $n-1$, для n получим

$$\begin{aligned} Z_{na} - Z_{nb} &= \frac{Z_{(n-1)a} Z_a + d}{Z_{(n-1)a} + Z_b} - \frac{Z_{(n-1)b} Z_b + d}{Z_{(n-1)b} + Z_a} = \frac{Z_{(n-1)a} Z_a + d}{Z_{(n-1)a} + Z_b} - \frac{Z_{(n-1)b} Z_b + d}{Z_{(n-1)b} + Z_a} = \\ &= \frac{Z_{(n-1)a} Z_a - Z_{(n-1)b} Z_b}{Z_{(n-1)a} + Z_b} = \frac{(Z_{(n-1)a} - Z_{(n-1)b} + Z_{(n-1)b}) Z_a - Z_{(n-1)b} Z_b}{Z_{(n-1)a} + Z_b} = \\ &= \frac{(Z_a - Z_b) Z_a + Z_{(n-1)b} (Z_a - Z_b)}{Z_{(n-1)a} + Z_b} = Z_a - Z_b. \end{aligned}$$

Что и следовало доказать.

2. Докажем, что

$$Z_{nab} Z_{nb} = Z_{ab} Z_b$$

или, что то же самое,

$$Z_{nba} Z_{na} = Z_{ba} Z_a,$$

(3)

т.е. указанные произведения сопротивлений цепной схемы не зависят от числа звеньев, имеющих в ней.

Вновь воспользуемся соотношениями (1) и применим метод математической индукции. Покажем, что выражение (3) имеет место при $n = 2$:

$$\begin{aligned} Z_{2ab} Z_{2b} &= \frac{Z_{ab} Z_b + Z_{ab} Z_a}{Z_{ab} + Z_b} \cdot \frac{Z_{ba} Z_a + Z_b^2}{Z_a + Z_b} = \frac{Z_{ab}}{Z_b + Z_{ab}} (Z_{ba} Z_a + Z_b^2) = \\ &= \frac{Z_{ab}}{Z_b + Z_{ab}} Z_b (Z_{ab} + Z_b) = Z_{ab} Z_b = d. \end{aligned}$$

Полагая, что условие (3) выполняется при $n-1$, покажем, что оно будет иметь место также при n :

$$\begin{aligned} Z_{nab} Z_{nb} &= \frac{d + Z_{(n-1)ab} Z_a}{Z_b + Z_{(n-1)ab}} \cdot \frac{d + Z_{(n-1)b} Z_b}{Z_a + Z_{(n-1)b}} = \\ &= \frac{d^2 + dZ_{(n-1)b} Z_b + dZ_{(n-1)ab} Z_a + dZ_a Z_b}{Z_a Z_b + Z_b Z_{(n-1)b} + Z_a Z_{(n-1)ab} + d} = d = Z_{ab} Z_b, \end{aligned}$$

что и следовало доказать.

3. Докажем что

$$Z_{nc_1} Z_{nc_2} = Z_{c_1} Z_{c_2} = d, \quad (4)$$

т.е. произведение характеристических сопротивлений цепной схемы не зависит от числа n ее звеньев.

Известно [2], что

$$Z_{nc_1} = \sqrt{Z_{na} Z_{nab}} \text{ и } Z_{nc_2} = \sqrt{Z_{nb} Z_{nba}}.$$

С учетом последнего выражения и (3) получим соотношение (4).

Перейдем к определению сопротивлений и передаточных функций цепной схемы. Для этого воспользуемся соотношением

$$K_u = \left(\frac{Z_b - Z_{ba}}{Z_a} \right)^{\frac{1}{2}},$$

определяющим коэффициент передачи по напряжению четырехполюсника в режиме холостого хода [3].

Объединив первые i ($1, \dots, i$) и отдельно остальные $n - i$ ($i + 1, \dots, n$) четырехполюсники эквивалентными четырехполюсниками, приведем схему цепной схемы к каскадному соединению двух четырехполюсников (рис. 3). Определим коэффициент передачи по напряжению для схемы на рис. 3, рассматривая ее как один четырехполюсник с входными зажимами oo' и выходными - ii' [4]:

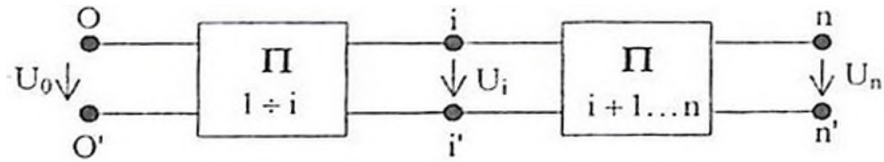


Рис. 3

$$K_{iu}^2 = \frac{U_i^2}{U_0^2} = \frac{Z_{(n-i)a}}{Z_{na}} \left(\frac{Z_{ib}}{Z_{ib} + Z_{(n-i)a}} - \frac{Z_{iba}}{Z_{iba} + Z_{(n-i)a}} \right), \quad i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

Рассмотрим случай, когда $n \rightarrow \infty$:

$$K_{iu}^2 = \frac{Z_{ib}}{Z_{ib} + Z_{\infty a}} - \frac{Z_{iba}}{Z_{iba} + Z_{\infty a}} = \frac{Z_{ib}}{Z_{ib} + Z_{\infty a}} - \frac{\frac{d}{Z_{ia}}}{\frac{d}{Z_{ia}} + Z_{\infty a}}.$$

Учитывая, что при $n \rightarrow \infty$ все четырехполюсники, составляющие цепную схему, находятся в одинаковых условиях, коэффициенты передач по напряжению каждого из них будут иметь одно и то же значение K_u . Следовательно,

$$K_{iu} = K_u^i.$$

Обозначив K_u^2 через C , будем иметь

$$C^i = \frac{Z_{ib}}{Z_{ib} + Z_{\infty a}} - \frac{d}{d + Z_{ia} Z_{\infty a}}. \quad (6)$$

Решая совместно (3) и (6) относительно Z_{ia} и Z_{ib} , получим

$$Z_{ia} = \frac{Z_{\infty a}^2 + dC^i}{Z_{\infty a}(1 - C^i)}, \quad Z_{ib} = \frac{Z_{\infty b}^2 + dC^i}{Z_{\infty b}(1 - C^i)}, \quad (7)$$

$$Z_{iab} = \frac{d}{Z_{ib}} = \frac{Z_{\infty b} d(1 - C^i)}{Z_{\infty b}^2 + dC^i}, \quad Z_{iba} = \frac{d}{Z_{ia}} = \frac{Z_{\infty a} d(1 - C^i)}{Z_{\infty a}^2 + dC^i}.$$

В этих выражениях

$$Z_{\infty a} = \frac{1}{2}(Z_a - Z_b) + \sqrt{\frac{1}{4}(Z_a - Z_b)^2 + d} = Z_{\infty ab},$$

$$Z_{\infty b} = \frac{1}{2}(Z_b - Z_a) + \sqrt{\frac{1}{4}(Z_b - Z_a)^2 + d} = Z_{\infty ba}.$$

Отметим еще одно инвариантное соотношение для цепных схем с различным числом звеньев - это разность проводимостей (при к.з.) цепной схемы:

$$Y_{nab} - Y_{nba} = Y_{ab} - Y_{ba}, \quad (8)$$

что просто доказывается из соответствующих равенств (7).

На рис. 4 приведены графики зависимостей сопротивлений цепной схемы (при постоянном токе) от числа звеньев, а на рис. 5 - те же зависимости для характеристических сопротивлений цепной схемы.

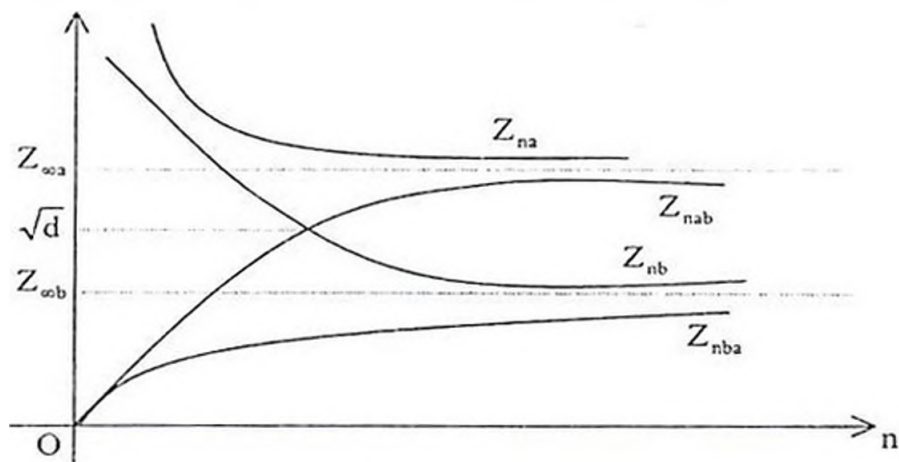


Рис. 4

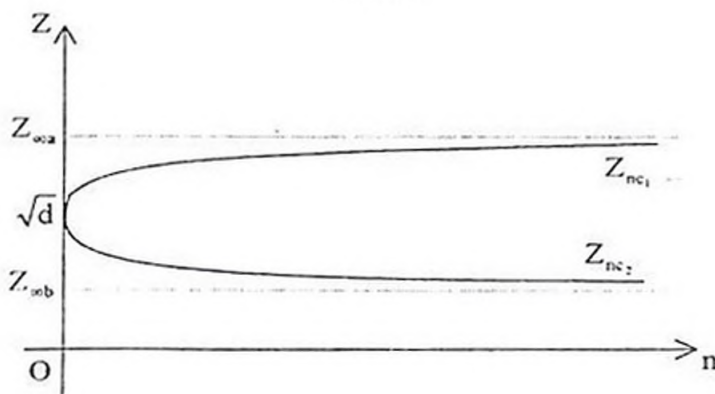


Рис. 5

Подставляя значения соотношений (7) в (5), после алгебраических преобразований получаем выражение функции передачи по напряжению цепной схемы, работающей в режиме холостого хода:

$$K_{iu} = \frac{Z_{\infty a} + Z_{\infty b} C^{n-i}}{Z_{\infty a} + Z_{\infty b} C^n} C^{\frac{i}{2}}. \quad (9)$$

Что касается характеристических сопротивлений цепной схемы, то зависимости их от числа n ее звеньев будут иметь вид

$$\begin{aligned} Z_{nc1}^2 = Z_{na} Z_{nab} &= \frac{Z_{\infty b}^2 (Z_{\infty a}^2 + dC^n)}{Z_{\infty b}^2 + dC^n}, \\ Z_{nc2}^2 = Z_{nb} Z_{nba} &= \frac{Z_{\infty a}^2 (Z_{\infty b}^2 + dC^n)}{Z_{\infty a}^2 + dC^n}. \end{aligned} \quad (10)$$

Нетрудно заметить, что

$$Z_{nc1} Z_{nc2} = d.$$

Пользуясь равенствами (6) и (7) для симметричной цепной схемы ($Z_a = Z_b, Z_{ab} = Z_{ba}$), нетрудно получить

$$C = \frac{Z_a - Z_{ca}}{Z_a + Z_{ca}}, \quad Z_{ia} = Z_{ib} = \frac{1 + C^i}{1 - C^i} Z_{ca}, \quad Z_{iab} = Z_{iba} = \frac{1 - C^i}{1 + C^i} Z_{ca},$$

а из (9):

$$K_{iu} = \frac{1 + C^{n-i}}{1 + C^n} C^{\frac{i}{2}}.$$

Таким образом, получены соотношения, определяющие новые свойства величин, характеризующих цепные схемы, состоящие, в общем случае, из несимметричных пассивных четырехполюсников, а также соотношения, определяющие зависимости обобщенных параметров цепной схемы от числа звеньев (7), и функция передачи по напряжению с любых i -ых пар зажимов к входным зажимам цепной схемы (9). Учет результатов, полученных в работе, приведет к упрощению расчета цепных схем, а следовательно, к расчету и исследованию длинных линий электропередач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. - М. - СПб, 2004. - 4 - е изд, том 2. - 573 с.
2. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч. I. - М.: Госэнергоиздат, 1962. - 280 с.
3. Беллерт С., Возняcki Г. Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел. - М.: Мир, 1972. - 332 с.
4. Акопджанян Г.Д., Сафарян В.С. К исследованию однородных цепных схем // Изв. НАН и ГИУА. Сер. ТН. - 2003. - Т.56, N° 2. - С 301-305.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 28.07.2005.

Գ.Դ. ՀԱԿՈՔՋԱՆՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ ՇՂԹԱՅԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՄՈՒՏԵԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Շղթայական սխեմաների փոխանցման ֆունկցիաների ընդհանրացված պարամետրերի ուսումնասիրությունը, դրանց կախումը սխեման կազմող քառաբևեռների թվից որոշելիս հայտնաբերվեցին այդ պարամետրերի և սխեմայի բնութագրիչ դիմադրությունների նոր հատկություններ:

Առանցքային բառեր. շղթայական սխեմա, փոխանցման ֆունկցիա, քառաբևեռ, բնութագրիչ դիմադրություն:

G.D. HAKOPJANYAN, V.S. SAFARYAN
SOME FEATURES OF CHAIN CIRCUIT INPUT PARAMETERS

Dependences of transfer functions and generalized parameters characterizing the chain circuit on a number of chain four-terminal network included into the circuit are studied. Some new properties of indicated and characteristic impedance of the chain circuit are revealed.

Keywords: chain circuit, transfer function, quadropole, characteristic resistance.

Տ.Ս. ԳՆՈՒՆԻ, Ս.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՑԱՆՑԱՅԻՆ ՀՈՂՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆԻ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՀՈՂՄԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՆԵՐՈՒԺԻ ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Առաջարկվում է մեթոդ, որով գնահատվում է մի շարք գործոնների նկատմամբ ցանցային հողմային էլեկտրակայանի հողմատներգետիկ ներուժի արժեքի զգայունությունը: Հաշվարկները կատարվել են կոնկրետ տեղանքում իրականացված նախնական չափումների արդյունքում ստացված տվյալների հիման վրա:

Առանցքային բառեր. ցանցային հողմային էլեկտրակայան, հողմատներգետիկ ներուժ, զգայունություն, հողմաագրեգատ, հողմային ագրեգատի դրվածքային հզորություն, ռեգրեսիոն վերլուծություն, ազդանշանային ֆունկցիա:

Միջազգային փորձի վերլուծությունը [1] ցույց է տալիս, որ նախաներդրումային տեխնիկատնտեսական հիմնավորման փուլում վերականգնվող, այդ թվում հողմատներգետիկ, պաշարների ներուժի գնահատականի շեղումը իրականում կարող է կազմել մինչև 20%: Այս փուլում ենթադրվում է, որ մի շարք օգտագործվող մեծությունների՝ գործոնների արժեքները գնահատվել են այս կամ այն աստիճանի մոտավորությամբ: Հետևաբար՝ հետազոտողի առջև խնդիր է դրվում՝ բացահայտել էներգապաշարի ներուժի գնահատված արժեքների զգայունությունն այդ գործոնի նկատմամբ: Այսպիսի բացահայտումը թույլ կտա հետագա պաշարահետախուզական աշխատանքներում սահմանափակվել այն գործոնների արժեքների ճշգրտմամբ, որոնց նկատմամբ էներգապաշարի ներուժի արժեքը բնութագրվում է որպես առավել զգայուն:

Հայաստանի հողմատներգետիկ աստիճան [2] բերված տեղեկատվության ուսումնասիրության արդյունքում դիտարկենք Դարբաս գյուղի մոտակայքում գտնվող հարթակի հողմատներգետիկ ներուժի գնահատման օրինակը: Այս հարթակը բնութագրվում է հետևյալ ցուցանիշներով՝

- ծովի մակարդակից բարձրությունը՝ 2000 մ,
- միջին մթնոլորտային ճնշում՝ $P_{\text{մթ}} = 78,6 \text{ կՊա}$,
- միջին տարեկան ջերմաստիճանը՝ $T = 15^\circ \text{C}$,
- $H_0 = 10 \text{ մ}$ բարձրության վրա տեղադրված անեմոմետրի չափումներով գնահատված հողմի միջին տարեկան արագությունը՝ $V_0 = 8,6 \text{ մ/վ}$:

Հողմատներգետիկ պաշարի ներուժի գնահատման համար մշակվել է հետևյալ մաթեմատիկական մոդելը:

Գետնի մակերևույթից H բարձրության վրա քամու միջին արագությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [3].

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha, \quad (1)$$

որտեղ H -ը՝ գետնի մակերևույթից հողմաագրեգատի առանցքի տեղակայման բարձրությունն է՝ u ; H_0 -ն՝ գետնի մակերևույթից անեմոմետրի տեղակայման բարձրությունը, u ; V_0 -ն՝ անեմոմետրի չափումներով գնահատված հողմի միջին տարեկան արագությունը, u/u_0 ; α -ն հողմի արագության ճշտման գործակիցն է, որը նախնական հետազոտության փուլում ընդունվում է $0,10 \leq \alpha \leq 0,25$ տիրույթում:

Քանի որ Հայաստանում ցանցային հողմային էլեկտրակայանների համար առավել կիրառելի է 200...1500 կՎտ դրվածքային հզորությամբ հողմաագրեգատների կիրառումը [2], ապա ընտրվել են LW50/750 տիպի $P_0 = 750$ կՎտ դրվածքային հզորությամբ հողմաագրեգատներ՝ առանցքի գետնի մակերևույթից $H = 50$ մ տեղակայման բարձրությամբ:

Տեղանքի նախնական ուսումնասիրությունը ցույց է տվել [2], որ այստեղ նպատակահարմար է տեղադրել $n = 20$ հատ LW 50/750 տիպի ագրեգատներ: Այսպիսով, հողմաէլեկտրակայանի դրվածքային հզորությունը՝

$$P = nP_0, \quad (2)$$

որտեղ P -ն հողմային էլեկտրակայանի դրվածքային հզորությունն է, կՎտ; P_0 -ն՝ միավոր հողմաագրեգատի դրվածքային հզորությունը, կՎտ; n -ը՝ տեղակայվող հողմաագրեգատների քանակը, հատ:

Այսպիսով, օգտագործելով (1) և (2) բանաձևերը և ընտրված ագրեգատների բնութագրային տվյալները կստանանք հողմային էլեկտրակայանի դրվածքային հզորությունը, որը կկազմի $P = 15$ ՄՎտ, և հողմաագրեգատների առանցքների տեղակայման բարձրության վրա հողմի միջին տարեկան արագությունը կկազմի $V = 11,87$ մ/վ՝ $\alpha = 0,2$ արժեքի համար:

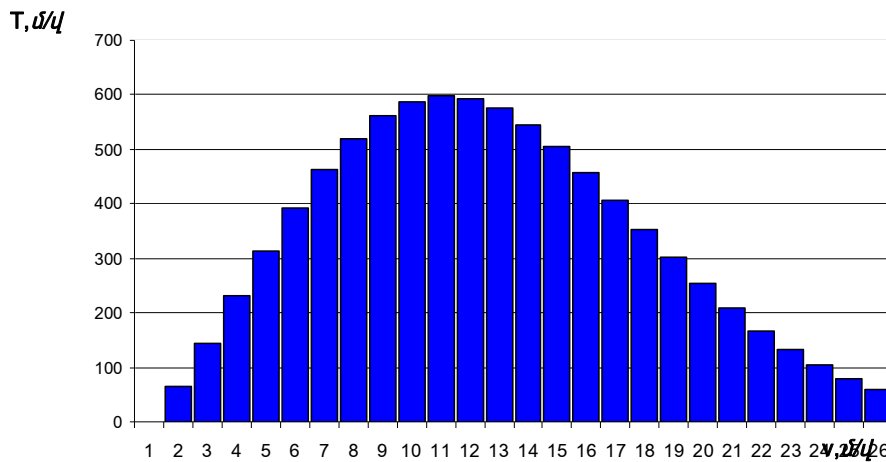
Գրականությունից [2, 3] հայտնի է, որ տարվա ընթացքում հողմի արագությունների ըստ տևողության բաշխումը ենթարկում է Վեյբուլի բաշխման օրինաչափությանը և կարող է ներկայացվել

$$t(v_i) = 8760p(V, k) \quad (3)$$

բանաձևով, որտեղ $t(v_i)$ -ն հողմի տվյալ v_i արագության ժամերի քանակն է տարվա ընթացքում, ժամ, իսկ $p(V, k)$ -ն Վեյբուլի բաշխման օրինաչափությունն է՝ կախված հողմի միջին տարեկան V արագությունից և արագությունների բաշխման կորի ձևի k գործակիցից:

Գրականության մեջ [3] առաջարկվում է արագությունների բաշխման կորի ձևի գործակիցը ընդունել $1 \leq k \leq 3$ տիրույթից: Տվյալ հետազոտությունում

ընդունված $k = 2,2$ արժեքով հաշվարկված 1 մ/վ դիսկրետ քայլով հողմի արագությունների՝ ըստ տևողության բաշխման կորը բերված է նկ.1-ում:



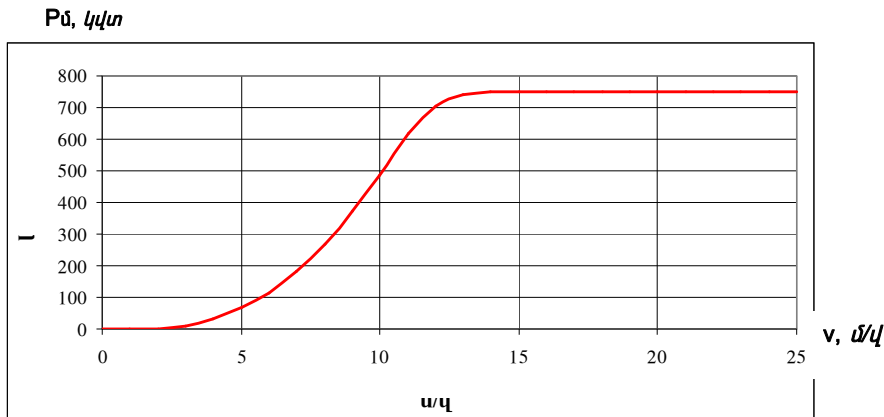
Նկ. 1. Հողմի արագությունների՝ ըստ տևողության բաշխման կորը

Հողմի արագությունների՝ ըստ տևողության բաշխման կորի և ընտրված հողմաագրեգատի $P_0(v_i)$ անձնագրային բնութագրի տվյալներով որոշվում է հողմաէներգետիկ ներուժի նախնական գնահատականը՝

$$W_0 = n \sum_{i=1}^N P_0(v_i) t(v_i), \quad (4)$$

որտեղ W_0 -ն հողմաէներգետիկ ներուժի նախնական գնահատականն է, կՎտժ; n -ը՝ հողմաագրեգատների քանակը, հատ; v_i -ն՝ հողմի արագության ընթացիկ արժեքը; $P_0(v_i)$ -ն՝ հողմաագրեգատի անձնագրային բնութագրից որոշված v_i արագությանը համապատասխանող ընթացիկ հզորությունը, կՎտ;

Հաշվի առնելով հողմի արագությունների՝ ըստ տևողության բաշխման կորի նկ.1 և 2 LW50/750 տիպի հողմաագրեգատի անձնագրային բնութագրի տվյալները և օգտագործելով (4) բանաձևը՝ կստանանք $W_0 = 85,75$ մՀն. կՎտժ:



Նկ. 2. LW50/750 տիպի հողմաագրեգատի անձնագրային $P_0(v_i)$ բնութագիրը

Հողմաէներգետիկ ներուժի նախնական գնահատականը ենթարկվում է ճշգրտման՝ հաշվի առնելով հետևյալ գործոնները.

- Մթնոլորտային ճնշման գործակից՝ $K_{\square\square} = \frac{P_{\square\square}}{101,3} = 0,78$:
- Ջերմաստիճանի գործակից՝ $K_T = \frac{288,1}{288,1 + T^{\circ}C} = 0,95$:
- Հողմաագրեգատների տեղակայման խտությունից կախված՝ կորստի (ստվերման էֆեկտ) գործակից, որն ընկած է $0\% \leq K_1 \leq 5\%$ տիրույթում և ներկա հետազոտությունում ընդունվել է՝ $K_1 = 1,5\%$:
- Աղտոտվածության գործակից, որն ընկած է $0\% \leq K_2 \leq 3\%$ տիրույթում և ընդունվել է՝ $K_2 = 1,0\%$:
- Սառցածածկույթի գործակից, որն ընկած է $0\% \leq K_3 \leq 8\%$ տիրույթում և ընդունվել է՝ $K_3 = 2,0\%$:
- Մեփական կարիքները, ներկայանային ցանցում կորուստները, նախազգուշական և ընթացիկ նորոգումներն ու այլ գործոններ հաշվի առնող պահուստային գործակից, որն ընկած է $5\% \leq K_4 \leq 12\%$ տիրույթում և ընդունվել է՝ $K_4 = 5,0\%$:
- Հողմի միջին տարեկան արագություն, որը ընկած է $8,2 \leq V_0 \leq 9$ տիրույթում և այս հետազոտությունում ընդունվել է $8,6$ մ/վ:
- Միջին տարեկան ջերմաստիճան, $T^{\circ}C$, որը ընկած է $14 \leq T \leq 16$ տիրույթում և այս հետազոտությունում ընդունվել է $15^{\circ}C$:

Այսպիսով, հողմային էլեկտրակայանի ներուժի ճշգրտված մեծությունը կորոշվի

$$W = K_{\text{գր}} K_T K_C W_0 \quad (5)$$

բանաձևով, որտեղ $K_C = (1 - K_1)(1 - K_2)(1 - K_3)(1 - K_4)$ -ն հողմաէներգետիկ ներուժի անկման գործակիցն է:

Նկարագրված մաթեմատիկական մոդելով կատարված հաշվարկների արդյունքներում հողմաէներգետիկ ներուժը գնահատվել է՝ $W = 57,44$ մլն. կՎտժ:

Մոդելում օգտագործված մի շարք մեծությունների և գործակիցների արժեքները կարող են փոփոխվել որոշակի տիրույթներում, ինչը կարող է էական ազդեցություն ունենալ հողմային էլեկտրակայանի ներուժի օգտագործման վերջնական արժեքի վրա և զգայունության վերլուծության առարկան է:

Առաջարկվում է զգայունության գնահատումը իրականացնել ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդների հիման վրա: Ռեգրեսիոն վերլուծությունը լայնորեն կիրառվում է տեխնիկական համակարգեր [4, 5] հետազոտելիս: Այն թույլ է տալիս փորձերի արդյունքները ներկայացնել ֆունկցիոնալ կախվածության տեսքով [4], օրինակ՝

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2, \quad (6)$$

որտեղ y -ը հետազոտվող պարամետրն է (ազդանշանային ֆունկցիա); x_i -ը, x_j -ն՝ որոշիչ պարամետրերը (վարիացիոն գործոններ); b_0 -ն, b_i -ն, b_{ij} -ն, b_{ii} -ն՝ ռեգրեսիոն գործակիցներ:

Փորձերի տեսության մեջ [4] կիրառվում է գործոնների կոդավորում, որի արդյունքում իրականացվում է վարիացիոն գործոնների կոդիֆիկացիայի սկզբի տեղափոխում փորձի կենտրոն և մասշտաբավորում:

$$x_i = \frac{x_i \pm x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (7)$$

որտեղ x_i -ն վարիացիոն գործոնն է; x_{i0} -ն՝ գործոնի հիմնական մակարդակը; Δx_i -ն՝ վարիացիոն միջակայքը:

Ներկայացնենք վերը նկարագրված վերլուծական մեթոդների կիրառմամբ ստացված հողմային էլեկտրակայանի ներուժի կախվածությունը մի շարք գործոններից: Ընդունված նշանակումներով հաշվարկային փորձերի պայմանները ներկայացված են աղյուսակ 1-ում:

Հաշվարկային փորձերի պայմանները

Գործոնների կոդավորված արժեքները	Ուղղման գործակից հոդվի արագության համար. (	Արագությունների բաշխման կորի գործակից. K	Ագրեգատների տեղակայման խտությունից կախված կորուստների գործակից. K ₁	Աղտոտման գործակից. K ₂	Մաքցածածկույթի գործակից. K ₃	Պահուստային գործակից. K ₄	Հողը սրջր տարեկան արագություն, V ₀ մ/վ	Միջին տարեկան ջերմաստիճան, T°C
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
1	0,25	3	0	1	0	5	9	14
0	0,175	2	2,5	2	4	8,5	8,6	15
-1	0,1	1	5	3	8	12	8,2	16

Քանի որ գործ ունենք ութ տարբեր գործոնների հետ, ապա լրիվ գործոնային վերլուծությունը կպահանջի $2^8 = 256$ թվային գիտափորձերի իրականացում [4]: Առաջարկվում է կիրառել կոտորակային գիտափորձի եղանակը, որը զգալիորեն կկրճատի թվային է գիտափորձերի քանակը՝ առանց զգալի ազդեցություն ունենալու նրանց արդյունավետության վրա: Կոտորակային գիտափորձի եղանակում ընդունվել է ազդանշանային ֆունկցիայի գծային ներկայացումը, իսկ համատեղ ազդեցությունները փոխարինվել են գործոններով: Բերված դիտողությունների պարագայում գիտափորձի պլանավորման մատրիցը կընդունի աղյուսակ 2-ում բերված տեսքը:

Ռեգրեսիոն հավասարումը կստանա հետևյալ տեսքը.

$$y = 53,101 + 0,052x_1 + 0,02x_2 + 1,362x_3 + 0,549x_4 + 2,214x_5 + 2,031x_6 + 0,001x_7 + 0,198x_8, \quad (8)$$

որտեղ y -ը հոդմային էլեկտրակայանի ներուժի անվանական արժեքն է:

Ռեգրեսիայի գործակիցների համար վստահության միջակայքը որոշվում է՝

$$\Delta b_i = \pm t^c \frac{ab_0}{\sqrt{N}} \quad (9)$$

արտահայտությամբ [4, 5], որտեղ t^c -ն Ստյուդենտի չափանիշն է (որոշվում է տեղեկատու աղյուսակից); a -ն թույլատրելի սխալի մակարդակն է; b_0 -ն՝ ռեգրեսիոն հավասարման ազատ անդամի արժեքը; N -ը՝ անկախության մակարդակների քանակը:

Կոտորակային գիտափորձի պլանավորման մատրից

N	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅ =X ₁ *X ₂	X ₆ =X ₁ *X ₃	X ₇ =X ₁ *X ₄	X ₈ =X ₁ *X ₂ *X ₄
	1	2	3	4	5	6	7	8	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
3	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1
4	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
5	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
9	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1
10	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1
11	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
12	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
13	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
14	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
15	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
16	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1

Ընդունելով թույլատրելի սխալի մակարդակը $\alpha = 5\%$ ՝ ռեգրեսիայի գործակիցների վստահության միջակայքը կկազմի՝ $\Delta b_i = \pm 1,415$: Զանի որ ռեգրեսիայի այն գործակիցները, որոնց բացարձակ արժեքները փոքր են վստահության միջակայքից, վիճակագրորեն աննշան են, ուստի կարելի է դրանք դուրս թողնել հետագա ուսումնասիրությունից: Նշանակելի գործոնները x_5 և x_6 փոփոխականներն են: Ասվածից հետևում է, որ (8) արտահայտությունը կստանա հետևյալ տեսքը.

$$y = 53,101 + 2,214x_5 + 2,031x_6 : \quad (10)$$

Ազդանշանային ֆունկցիայի վերջնական տեսքը ստանալու համար ստուգվում է ֆունկցիայի համապատասխանությունը փորձարարական տվյալներին: Այդ ստուգումը իրականացվել է Ֆիշերի չափորոշչի հաշվարկային և տեղեկագրային նշանակությունների համեմատման միջոցով:

Մեր ընդունած պայմաններում փորձերի անցկացման համար Ֆիշերի չափորոշչի տեղեկագրային նշանակությունն է՝ $F_{տեղ} = 3,24$: Ֆիշերի չափորոշչի հաշվարկային նշանակությունը որոշվում է:

$$F_{հաշվ} = (S_{ad} / S_y)^2 \quad (11)$$

բանաձևով, որտեղ S_{ad} -ը փորձնական արդյունքներով ստացված ազդանշանային ֆունկցիայի համապատասխանության դիսպերսիան է; S_y -ը՝ փորձի դիսպերսիան, որը

հաշվի է առնում փորձի իրականացման ժամանակ տեղի ունեցած սխալանքի մակարդակը:

Ֆիշերի չափորոշչի նշանակությունը (10) ազդանշանային ֆունկցիայի համար հավասար է $F_{\text{հաշվ}} = -4,05$: Քանի որ Ֆիշերի չափորոշչի հաշվարկային նշանակության բացարձակ արժեքն ավելի մեծ է, քան տեղեկագրայինը, ուստի ազդանշանային ֆունկցիայի համապատասխանության վարկածը մերժվում է: Սա կանխորոշում է նախկինում դիտարկումից դուրս մնացած գործոնների վերաներգրավումը: Վերաներգրավումը կատարվում է ռեգրեսիայի գործակիցների աճման կարգով և ամեն անգամ ստուգվում է Ֆիշերի չափորոշիչներով: Այդ վերաներգրավումը տեղի է ունենում այնքան ժամանակ, քանի դեռ ապահովված չէ ազդանշանային ֆունկցիայի՝ փորձական տվյալներին համապատասխանության պայմանը:

Վերը նկարագրված գործընթացը թույլ է տալիս ազդանշանային ֆունկցիան ներկայացնել հետևյալ ձևով.

$$y = 53,101 + 1,362x_3 + 2,214x_5 + 2,031x_6: \quad (12)$$

Այս դեպքում Ֆիշերի չափորոշչի հաշվարկային նշանակությունը՝ $F_{\text{հաշվ}} = 2,7$, ինչը փոքր է տեղեկագրայինից:

Հետևություններ

1. Հողմային էլեկտրակայանի ներուժի գնահատման համար մշակվել է մաթեմատիկական մոդել, ըստ որի Դարբաս գյուղի մոտակայքում գտնվող հարթակի տեղեկատվական տվյալներով որոշվել է 15 ՄՎտ դրվածքային հզորությամբ հողմային էլեկտրակայանի ներուժը. տարեկան մինչև 57,44 մՂն. կՎտժ էլեկտրաէներգիայի օգտակար առաքում:
2. Բացահայտվել են մի շարք գործոններ, որոնց փոփոխությունը կարող է զգալի ազդեցություն ունենալ հետազոտվող հողմային էլեկտրակայանի ներուժի վրա: Որոշվել են այդ գործոնների փոփոխման հնարավոր տիրույթները: Գործոնների ազդեցության մակարդակի հետազոտման համար առաջարկվել է կիրառել ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդը:
3. Ազդանշանային ֆունկցիայի գործակիցները ենթարկվել են վիճակագրական վերլուծության՝ վստահության միջակայքի և Ֆիշերի չափորոշչի կիրառմամբ: Վերլուծության արդյունքում ազդանշանային ֆունկցիան ներկայացվել է (12) բանաձևի տեսքով:
4. Ազդանշանային ֆունկցիայի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ դիտարկվող հողմային էլեկտրակայանի ներուժն առավել զգայուն է նշանակելի գործոնների՝ ագրեգատների տեղակայման խտությունից կախված կորուստների, սառցածածկույթի և պահուստային գործակիցների նկատմամբ: Այս գործոնների համատեղ բացասական ազդեցությունը կարող է նվազեցնել գնահատված ներուժի մեծությունը 10,5%-ով: Դիտարկվող տիրույթներում մնացած գործակիցների փոփոխության ազդեցությունն աննշան է և կարելի է անտեսել:
5. Հետագա պաշարահետախուզական աշխատանքները նպատակահարմար է իրականացնել նշանակելի գործոնների ճշգրտման ուղղությամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գնուни Т.С.** Особенности технико-экономического обоснования проектов в области возобновляемой энергетики // Возобновляемая энергетика в Армении: Материалы конференции. – Ереван, 2005. –С. 117-123.
2. Wind Energy Resource Atlas of Armenia/ **D.Elliot, M.Schwarz, G.Scott** and est. National Renewable Energy Laboratory of US, 2003.
3. RET Screen-Renewable Energy Project Analysis// CANMET Energy Technology Centre of Ministry of Natural Resources. - Canada, 2003.
4. **Веников В.А.** Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. –М.: Высшая школа, 1976. –479 с.
5. **Գնուни Т.С.** Исследование влияния режимов Армянской энергосистемы на величину технических потерь энергии в передающих электросетях // Энергетика: Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ. - 2005. – №2. –С. 35-42.

ՀղձՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 25.04.2006:

Т.С. ГНУНИ, С.С. ХАЧАТРЯН

МЕТОД ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАСЧЕТНОГО ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕТЕВОЙ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Предлагается метод, с помощью которого оценивается чувствительность величины ветроэнергетического потенциала сетевой ветроэлектростанции к некоторым факторам. Расчеты производились на основании данных, полученных в результате предварительных замеров в конкретной местности.

Ключевые слова: сетевые ветряные электростанции, ветроэнергетический потенциал, чувствительность, ветроагрегат, установленная мощность ветряных электростанций, регрессионный анализ, сигнальная функция.

T.S. GNUNI, S.S. KHACHATRYAN

METHOD OF DESIGN SENSITIVITY ESTIMATION IN NETWORK WIND ENERGY POTENTIAL OF WIND POWER PLANT

The method with the help of which the sensitivity of network wind energy potential of wind power plant to some factors can be estimated. For example the calculations are based on the results of measurements primarily done in a specified place.

Keywords: wind power plant, wind energy potential, sensitivity, wind turbine, installed capacity of wind power station, regressional analysis, alarm function.

С. А. ШАХБАЗЯН

К ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА НАЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ВИДОВ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Предложен метод расчета несимметричных к.з., основанный на использовании принципа наложения с представлением собственно аварийной схемы в виде продольной несимметрии с разрывом одной или двух фаз. Приведены расчетные выражения с целью определения токов и напряжений для многократных несимметричных к.з. в различных точках сети.

Ключевые слова: электродвижущая сила (ЭДС), короткое замыкание (к.з.), метод наложения, прямая последовательность.

При расчетах несимметричных режимов в электрических сетях использование метода наложения часто облегчает решение задачи [1].

Одним из возможных путей практического использования метода наложения является предлагаемый ниже способ, основанный на наложении симметричного доаварийного режима на несимметричный аварийный режим. При этом задача сводится к представлению собственно аварийной схемы пассивной цепью, в которой в точке к.з. приложен заданный симметричный трехфазный источник ЭДС с разрывом одной или двух фаз, в зависимости от вида несимметричного к.з. [2].

Задача легко решается с помощью системы контурных уравнений отдельных последовательностей и уравнений, выражающих граничные условия для данного вида продольной несимметрии. Это позволяет в определенной степени упростить расчеты сложных видов несимметричных к.з. - одновременных к.з. в двух различных точках системы.

Рассмотрим предлагаемый способ решения на конкретных видах сложных несимметричных к.з.

ДВОЙНЫЕ К.З. В СЕТИ С МАЛЫМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Замыкание на землю фазы А в точках М и N. Исходная схема собственно аварийного режима приведена на рис 1. Здесь Z_c , $Z_{наг}$, Z_{MN} – соответственно сопротивления системы, нагрузки и участка сети между точками М и N, полученные после преобразования исходной схемы сети; $\dot{U}_{A_M}$, $\dot{U}_{B_M}$, $\dot{U}_{C_M}$ и $\dot{U}_{A_N}$, $\dot{U}_{B_N}$, $\dot{U}_{C_N}$ - трехфазные системы ЭДС, соответствующие напряжениям доаварийного режима в точках М и N.

Токи и напряжения доаварийного режима считаются известными. Токи собственно аварийного режима определяются по схеме продольной

несимметрии с разрывом в фазах В и С, как показано на рис.1. Для этой схемы запишем граничные условия для точек М и N:

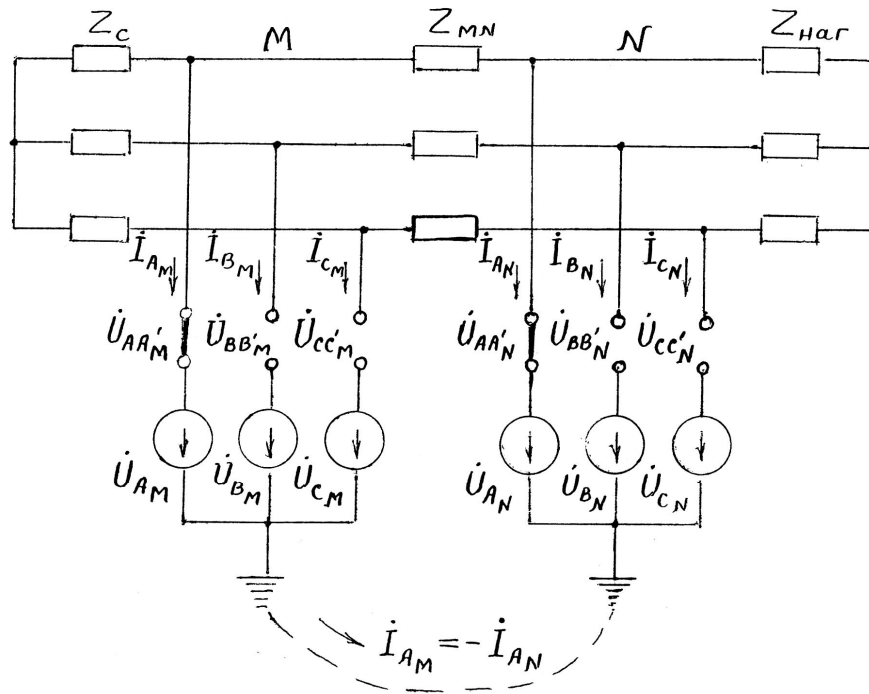


Рис.1. Собственно аварийная схема при замыкании на землю фазы А в двух точках

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AA'_M} &= 0; \quad \dot{I}_{B_M} = 0; \quad \dot{I}_{C_M} = 0; \\ \dot{U}_{AA'_N} &= 0; \quad \dot{I}_{B_N} = 0; \quad \dot{I}_{C_N} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

и дополнительное условие:

$$\dot{I}_{A_M} = -\dot{I}_{A_N}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) получаем для составляющих токов и напряжений фазы А в точках М и N:

$$\dot{I}_{M1} = \dot{I}_{M2} = \dot{I}_{M0} = \frac{1}{3} \dot{I}_{A_M}; \quad \dot{I}_{N1} = \dot{I}_{N2} = \dot{I}_{N0} = \frac{1}{3} \dot{I}_{A_N}; \quad \dot{I}_{M1} = -\dot{I}_{N1}; \quad (3)$$

$$\dot{U}_{M1} = -(\dot{U}_{M2} + \dot{U}_{M0}); \quad \dot{U}_{N1} = -(\dot{U}_{N2} + \dot{U}_{N0}). \quad (4)$$

Расчетные схемы замещения приведены на рис 2.

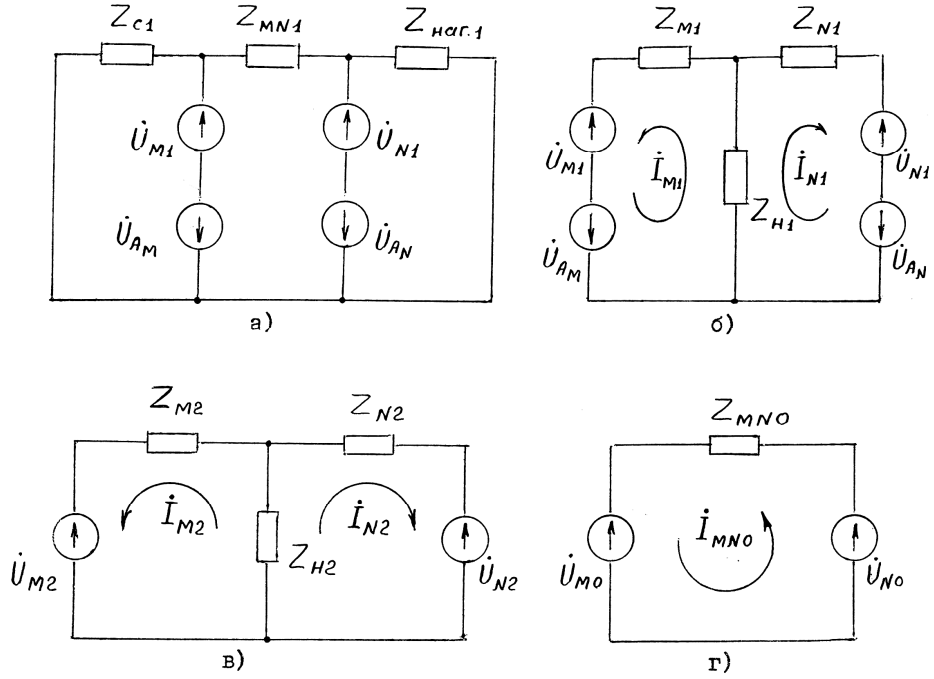


Рис. 2. Расчетные схемы замещения прямой (а,б), обратной (в) и нулевой (г) последовательностей к рис. 1

Согласно этим схемам, уравнения напряжений для контуров запишем в виде

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_{A_M} &= \dot{U}_{M1} + (Z_{M1} + Z_{H1})\dot{I}_{M1} + Z_{H1}\dot{I}_{N1}; \\
 0 &= \dot{U}_{M2} + (Z_{M2} + Z_{H2})\dot{I}_{M2} + Z_{H2}\dot{I}_{N2}; \\
 0 &= \dot{U}_{M0} + Z_{MN0}\dot{I}_{M0} - \dot{U}_{N0}; \\
 \dot{U}_{A_N} &= \dot{U}_{N1} + (Z_{N1} + Z_{H1})\dot{I}_{N1} + Z_{H1}\dot{I}_{M1}; \\
 0 &= \dot{U}_{N2} + (Z_{N2} + Z_{H2})\dot{I}_{N2} + Z_{H2}\dot{I}_{M2}; \\
 0 &= \dot{U}_{N0} + Z_{MN0}\dot{I}_{N0} - \dot{U}_{M0}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Из (5) с учетом (3) и (4) получим

$$\dot{I}_{M1} = \frac{\dot{U}_{A_M} - \dot{U}_{A_N}}{Z_{M1} + Z_{N1} + Z_D}, \tag{6}$$

где $Z_D = Z_{M2} + Z_{N2} + Z_{MN0}$.

Из (3)-(5) определяем все симметричные составляющие токов и напряжений.

Составляющие токов аварийного режима на отдельных участках сети можно определить при помощи коэффициентов распределения [3], принимая в качестве заданных токи отдельных последовательностей в точках М и N. Эти коэффициенты могут быть определены при помощи матриц инцидентности и сопротивлений, составленных на основании топологии схем отдельных последовательностей [3]. При этом могут быть учтены и сопротивления нагрузки.

Фазные токи на участках сети определяются с учетом токов доаварийного режима.

Замыкание на землю фазы В в точке М и фазы С в точке N. На основании граничных условий получаем

$$\begin{aligned} \dot{I}_{M2} &= a \dot{I}_{M1}; \quad \dot{I}_{M0} = a^2 \dot{I}_{M1}; \quad \dot{I}_{BM1} = \dot{I}_{BM2} = \dot{I}_{M0} a^2 \dot{I}_{M1}, \\ \dot{I}_{N2} &= a^2 \dot{I}_{N1}; \quad \dot{I}_{N0} = a^2 \dot{I}_{N1}; \quad \dot{I}_{CM1} = \dot{I}_{CM2} = \dot{I}_{N0} = a \dot{I}_{N1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из дополнительного граничного условия $\dot{I}_{B_M} = -\dot{I}_{C_N}$ получаем

$$\dot{I}_{N1} = -a \dot{I}_{M1}; \quad \dot{I}_{N2} = -\dot{I}_{M1}; \quad \dot{I}_{N0} = -\dot{I}_{M0} = a^2 \dot{I}_{M1}. \quad (8)$$

Заменив в исходной системе (5) все токи на $\dot{I}_{M1}$, получим решение

$$\begin{aligned} \dot{I}_{M1} &= \frac{\dot{U}_{A_M} - a^2 \dot{U}_{A_N}}{Z_{M1} + Z_{N1} + 3Z_{H1} + Z'_D}, \\ \dot{I}_{N1} &= -a \dot{I}_{M1} = \frac{\dot{U}_{A_N} - a \dot{U}_{A_M}}{Z_{M1} + Z_{N1} + 3Z_{H1} + Z'_D}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $Z'_D = Z_D + 3Z_{H2}$.

Граничные условия и расчетные выражения для $\dot{I}_{M1}$ при всех возможных комбинациях замыкания фаз на землю в точках М и N в сети с малым током замыкания на землю приведены в табл .1.

Замыкания на землю фазы А в точке М, фаз В и С в точке N. Исходная схема замещения отличается от схемы рис.1 тем, что в точке N продольная несимметрия выражена разрывом только фазы А. Граничные условия при этом будут

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AA'_M} &= 0; \quad \dot{I}_{B_M} = 0; \quad \dot{I}_{C_M} = 0; \\ \dot{U}_{BB'_N} &= 0; \quad \dot{U}_{CC'_N} = 0; \quad \dot{I}_{A_N} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

и дополнительное граничное условие:

$$\dot{I}_{A_M} + \dot{I}_{B_N} + \dot{I}_{C_N} = 0. \quad (11)$$

Таблица 1

Замкнутая фаза в точках		Дополнит. граничные условия	Соотношения между симметричными составляющими	Выражения для определения I_{M1}
M	N			
A	A	$\dot{I}_{A_M} = -\dot{I}_{A_N}$	$\dot{I}_{N1} = \dot{I}_{N2} = \dot{I}_{N0} = -\dot{I}_{M1}$	$\frac{\dot{U}_{A_M} - \dot{U}_{A_N}}{Z_{M1} + Z_{N1} + Z_D}$
B	B	$\dot{I}_{B_M} = -\dot{I}_{B_N}$	$\dot{I}_{N1} = -\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = -a\dot{I}_{M1};$ $\dot{I}_{N0} = -a^2\dot{I}_{M1}$	
C	C	$\dot{I}_{C_M} = -\dot{I}_{C_N}$	$\dot{I}_{N1} = -\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = a^2\dot{I}_{M1};$ $\dot{I}_{N0} = -a\dot{I}_{M1}$	
A	B	$\dot{I}_{A_M} = -\dot{I}_{B_N}$	$\dot{I}_{N1} = -a\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = -\dot{I}_{M1};$ $\dot{I}_{N0} = -a^2\dot{I}_{M1}$	$\frac{\dot{U}_{A_M} - a^2\dot{U}_{A_N}}{Z_{M1} + Z_{N1} + 3Z_{H1} + Z'_D}$
B	C	$\dot{I}_{B_M} = -\dot{I}_{C_N}$	$\dot{I}_{N1} = -a\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = -\dot{I}_{M1};$ $\dot{I}_{N0} = -a^2\dot{I}_{M1}$	
C	A	$\dot{I}_{C_M} = -\dot{I}_{A_N}$	$\dot{I}_{N1} = \dot{I}_{N2} = \dot{I}_{N0} = -a\dot{I}_{M1}$	
A	C	$\dot{I}_{A_M} = -\dot{I}_{C_N}$	$\dot{I}_{N1} = -a^2\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = -a\dot{I}_{M1}$ $\dot{I}_{N0} = -\dot{I}_{M1}$	$\frac{\dot{U}_{A_M} - a\dot{U}_{A_N}}{Z_{M1} + Z_{N1} + 3Z_{H1} + Z'_D}$
C	B	$\dot{I}_{C_M} = -\dot{I}_{B_N}$	$\dot{I}_{N1} = -a^2\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = -\dot{I}_{M1};$ $\dot{I}_{N0} = -a\dot{I}_{M1}$	
B	A	$\dot{I}_{B_M} = -\dot{I}_{A_N}$	$\dot{I}_{N1} = \dot{I}_{N2} = \dot{I}_{N0} = -a^2\dot{I}_{M1}$	
C	B	$\dot{I}_{C_M} = -\dot{I}_{B_N}$	$\dot{I}_{N1} = -a^2\dot{I}_{M1}; \dot{I}_{N2} = -\dot{I}_{M1};$ $\dot{I}_{N0} = -a\dot{I}_{M1}$	
B	A	$\dot{I}_{B_M} = -\dot{I}_{A_N}$	$\dot{I}_{N1} = \dot{I}_{N2} = \dot{I}_{N0} = -a^2\dot{I}_{M1}$	

Из (10) и (11) получаем

$$\begin{aligned} \dot{I}_{M1} = \dot{I}_{M2} = \dot{I}_{M0} &= \frac{1}{3}\dot{I}_{A_M}; \\ \dot{I}_{N0} &= -\frac{1}{3}\dot{I}_{A_M} = -\dot{I}_{M1}; \quad \dot{I}_{N2} = -(\dot{I}_{N1} + \dot{I}_{N0}); \\ \dot{U}_{M1} &= -(\dot{U}_{M2} + \dot{U}_{M0}); \quad \dot{U}_{N1} = \dot{U}_{N2} = \dot{U}_{N0}. \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом соотношений (12) решение уравнений (5) дает

$$\begin{aligned} \dot{I}_{N0} &= \frac{(D+B)\dot{U}_{A_M} + (aB - a^2D)\dot{U}_{A_N}}{AD - BC}; \\ \dot{I}_{N1} &= \frac{(A-C)\dot{U}_{A_M} + (a^2C - aA)\dot{U}_{A_N}}{AD - BC}, \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} A &= (a^2 - 1)Z_{H1} + 2(a - 1)Z_{H2} + aZ_{N2} - (Z_{M1} + Z_{M2}) - Z_{MN0}; \\ B &= (1 - a^2)Z_{H1} + (a - 1)Z_{H2} + aZ_{N2} - a^2Z_{N1}; \\ C &= (a - 1)Z_{H1} + 2(a^2 - 1)Z_{H2} + a^2Z_{N2} - (Z_{M1} + Z_{M2}) - Z_{MN0}; \\ D &= (1 - a)Z_{H1} + (a^2 - 1)Z_{H2} + a^2Z_{N2} - aZ_{N1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Затем определяются $\dot{I}_{N2} = -(\dot{I}_{N1} + \dot{I}_{N0})$ и $\dot{I}_{M1} = \dot{I}_{M2} = \dot{I}_{M0} = -\dot{I}_{N0}$.

ДВОЙНЫЕ К.З. В СЕТИ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Замыкание на землю фазы А в точках М и N. Условия (1) и соотношения (3) сохраняются. Если сеть представить по рис 1, но с заземленными нейтралями со стороны Z_c и $Z_{наг}$, то в системе (5) для рассматриваемого случая, согласно схеме замещения рис.3, третье и шестое уравнения принимают вид

$$\begin{aligned} 0 &= \dot{U}_{M0} + (Z_{M0} + Z_{H0})\dot{I}_{M0} + Z_{H0}\dot{I}_{N0}; \\ 0 &= \dot{U}_{N0} + (Z_{N0} + Z_{H0})\dot{I}_{N0} + Z_{H0}\dot{I}_{M0}. \end{aligned} \quad (15)$$

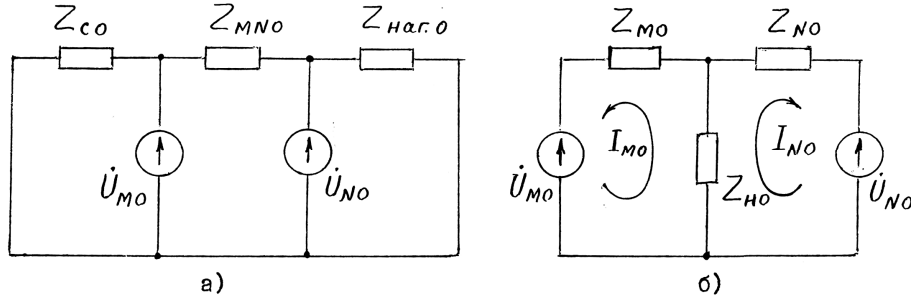


Рис. 3. Схема замещения нулевой последовательности собственно аварийного режима для сети с большим током замыкания на землю

С учетом (4) и (15) из системы (5) получаем

$$\begin{aligned}\dot{I}_{M1} &= \frac{\dot{U}_{A_M}(Z_{NA} + Z_{HA}) - \dot{U}_{A_N}Z_{HA}}{(Z_{MA} + Z_{HA})(Z_{NA} + Z_{HA}) - Z_{HA}^2}; \\ \dot{I}_{N1} &= \frac{\dot{U}_{A_N}(Z_{MA} + Z_{HA}) - \dot{U}_{A_M}Z_{HA}}{(Z_{MA} + Z_{HA})(Z_{NA} + Z_{HA}) - Z_{HA}^2},\end{aligned}\quad (16)$$

где $Z_{MA} = Z_{M1} + Z_{M2} + Z_{M0}$; $Z_{NA} = Z_{N1} + Z_{N2} + Z_{N0}$; $Z_{HA} = Z_{H1} + Z_{H2} + Z_{H0}$.

Замыкание на землю фазы В в точке М и фазы С в точке N. Граничные условия соответствуют (7). Решение (5) с учетом (15) дает

$$\begin{aligned}\dot{I}_{M1} &= \frac{\dot{U}_{A_M}(Z_{NA} + Z_{HA}) - a^2\dot{U}_{A_N}Z_{HC}}{(Z_{MA} + Z_{HA})(Z_{NA} + Z_{HA}) - Z_{HB}Z_{HC}}; \\ \dot{I}_{N1} &= \frac{\dot{U}_{A_N}(Z_{MA} + Z_{HA}) - a\dot{U}_{A_M}Z_{HB}}{(Z_{MA} + Z_{HA})(Z_{NA} + Z_{HA}) - Z_{HB}Z_{HC}},\end{aligned}\quad (17)$$

где $Z_{HB} = a^2Z_{H1} + aZ_{H2} + Z_{H0}$; $Z_{HC} = aZ_{H1} + a^2Z_{H2} + Z_{H0}$.

Выражения $\dot{I}_{M1}$ и $\dot{I}_{N1}$ для всех возможных сочетаний замыкания фаз на землю в точках М и N в сети с большим током замыкания на землю приведены в табл. 2.

Замыкания на землю фазы А в точке М, фаз В и С в точке N. Путем аналогичного подхода получаем систему уравнений вида

$$\begin{aligned}\dot{U}_{A_M} &= A\dot{I}_{N1} + B\dot{I}_{N0} + C\dot{I}_{M0}; \\ a^2\dot{U}_{A_N} &= D\dot{I}_{N1} + E\dot{I}_{N0} + F\dot{I}_{M0}; \\ a\dot{U}_{A_N} &= G\dot{I}_{N1} + H\dot{I}_{N0} + K\dot{I}_{M0},\end{aligned}\quad (18)$$

решение которой дает значение токов $\dot{I}_{M0} = \dot{I}_{M1} = \dot{I}_{M2}$, $\dot{I}_{N1}$ и $\dot{I}_{N0}$, а следовательно, и $\dot{I}_{N2} = -(\dot{I}_{N1} + \dot{I}_{N0})$.

Анализ полученных результатов показывает, что описанный способ достаточно прост и нагляден, особенно в случаях расчета сложных видов к.з. – одновременных несимметричных к.з. в двух различных точках системы. Для последних в [4] исследованы две формы расчета, основанные на применении метода наложения:

- наложение на режим к.з. в одной точке последующего дополнительного режима, обусловленного к.з. во второй точке системы;

- наложение на предшествующий нагрузочный (доаварийный) режим дополнительного собственно аварийного режима с одновременным к.з. в двух различных точках.

Таблица 2

Замкнутая фаза в точках		Выражения токов прямой последовательности	
M	N	$\dot{I}_{M1}$	$\dot{I}_{N1}$
A	A	$\frac{\dot{U}_{A_M}(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - \dot{U}_{A_N}Z_{H_A}}{(Z_{M_A} + Z_{H_A})(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - Z_{H_A}^2}$	$\frac{\dot{U}_{A_N}(Z_{M_A} + Z_{H_A}) - \dot{U}_{A_M}Z_{H_A}}{(Z_{M_A} + Z_{H_A})(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - Z_{H_A}^2}$
B	B		
C	C		
A	B	$\frac{\dot{U}_{A_M}(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - a^2\dot{U}_{A_N}Z_{H_C}}{(Z_{M_A} + Z_{H_A})(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - Z_{H_B}Z_{H_C}}$	$\frac{\dot{U}_{A_N}(Z_{M_A} + Z_{H_A}) - a\dot{U}_{A_M}Z_{H_B}}{(Z_{M_A} + Z_{H_A})(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - Z_{H_B}Z_{H_C}}$
B	C		
C	A		
A	C	$\frac{\dot{U}_{A_M}(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - a\dot{U}_{A_N}Z_{H_B}}{(Z_{M_A} + Z_{H_A})(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - Z_{H_B}Z_{H_C}}$	$\frac{\dot{U}_{A_N}(Z_{M_A} + Z_{H_A}) - a^2\dot{U}_{A_M}Z_{H_C}}{(Z_{M_A} + Z_{H_A})(Z_{N_A} + Z_{H_A}) - Z_{H_B}Z_{H_C}}$
C	B		
B	A		

Предложенный способ основан на второй форме принципа наложения и использует схемы замещения формы Z.

Одним из преимуществ рассмотренного способа является возможность его применения как в расчетах режимов к.з. электроэнергетических систем и электрических сетей, так и в инженерных расчетах внутренних к.з. электрических машин и трансформаторов. Последнее имеет большое практическое значение, так как существующие методы расчета витковых к.з. довольно сложны и громоздки, а для некоторых сложных видов к.з. они вообще отсутствуют [5].

Предлагаемый способ расчета, наряду с преимуществами, обусловленными методом наложения, обеспечивает наглядность и простоту решения задачи, возможность представления выражений симметричных составляющих токов в табличной форме и расширяет область применения метода наложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чернин А.Б.** Вычисление электрических величин и поведение релейной защиты при неполнофазных режимах в электрических системах / ГЭИ. - 1963. - 416 с.
2. **Сааков В. И. Шахбазян С.А.** К применению метода наложения в расчетах несимметричных коротких замыканий // Межвуз сб. науч. тр. Энергетика. Вып. 3 / ЕрПИ. - Ереван, 1979. - С. 34-40.
3. **Мельников Н.А.** Электрические сети и системы. - М.: Энергия, 1975. - 311 с.
4. **Чернин А. Б., Лосев С. Б.** Вычисление электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 526 с.
5. **Ипатов П.М., Добровский В.В., Цирлин Ю.Л.** Витковые замыкания в петлевых обмотках асинхронных машин // Вестник электропромышленности. - 1962. - N 7. - С. 36-43.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.04.2005.

Ս.Ա. ՇԱՀԲԱԶՅԱՆ

ՈՉ ՍԻՄԵՏՐԻԿ ԿԱՐՃ ՄԻԱՅՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՐՂ ՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Առաջարկվում է ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների հաշվարկի մեթոդ, որը հիմնված է վերադրման սկզբունքի կիրառման վրա, ներկայացվում է սեփական վթարային սխեման ոչ սիմետրիկ ձևով՝ մեկ կամ երկու ֆազերի խզումով: Բերվում են հոսանքի և լարման արտահայտությունները ցանցի տարբեր կետերում բազմակի ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների համար:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաշարժիչ ուժ (ԷՇՈՒ), կարճ միացում (կ.մ), վերադրման մեթոդ, ուղու հաջորդականություն:

S.A. SHAGHBAZYAN

APPLICATION OF SUPERPOSITION METHOD FOR CALCULATING COMPLETE TYPES OF ASYMMETRICAL SHORT CIRCUITS

A method for calculating asymmetrical short circuits based on using the principle of superposition presenting eigenvalue emergency scheme as one or two phases is proposed. Calculation expressions for defining currents and voltages for multiple asymmetrical short circuits in different currents in the network are given.

Keywords: emf, short circuit, superposition method, straight sequence.

Г. А. КАРДАШЯН, А. Г. КАРДАШЯН

АНАЛИЗ НАМАГНИЧИВАЮЩИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАМАГНИЧИВАНИИ ДВУХ ТОРОИДАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Рассмотрены цепи при одновременном намагничивании двух тороидальных образцов. Получены нелинейные интегро-дифференциальные уравнения цепей и выражения магнитных индукций $B_1 = B_1(t)$ и $B_2 = B_2(t)$ во взаимодействующих электрических цепях при одновременном намагничивании двух тороидальных образцов.

Ключевые слова: намагничивающие цепи, тороидальные образцы, индукция, нелинейные интегро-дифференциальные уравнения, аппроксимация.

Как известно, теория взаимодействия электрических цепей при намагничивании двух или нескольких тороидальных образцов из ферромагнитного материала ввиду сложности исследования весьма слабо освещена в соответствующей литературе [1-4]. Попробуем изложить некоторые положения этой теории, используя математический аппарат аналитической имитации [5].

Допустим, что при намагничивании тороидальных образцов взаимодействуют между собой две электрические цепи (рис. 1).

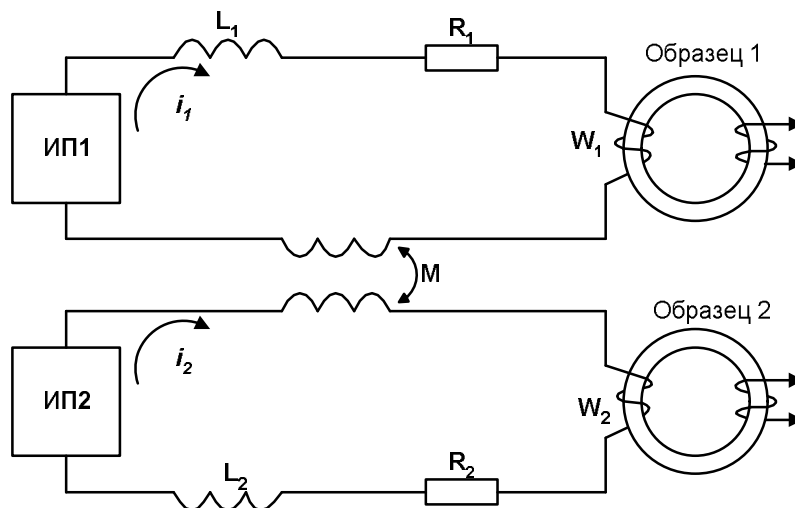


Рис. 1

При индуктивной связи цепей запишем дифференциальные уравнения для процесса взаимодействия:

$$\begin{aligned} L_1 \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 + M \frac{di_2}{dt} + W_1 S_1 \frac{dB_1}{dt} &= u_1, \\ L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + M \frac{di_1}{dt} + W_2 S_2 \frac{dB_2}{dt} &= u_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где L_1, R_1 - индуктивность и активное сопротивление первой цепи, включающие в себя параметры токовых цепей измерительных приборов и намагничивающей обмотки без образца; L_2, R_2 - индуктивность и активное сопротивление второй цепи, включающие в себя параметры токовых цепей измерительных приборов и намагничивающей обмотки без сердечника; W_1, W_2, S_1, S_2 - число витков и сечения образцов, соответственно, первой и второй цепей; M - коэффициент взаимной индукции; $i_1, i_2, B_1, B_2, u_1, u_2$ - намагничивающие токи, магнитные индукции и напряжения источников питания, соответственно, для первой и второй цепей.

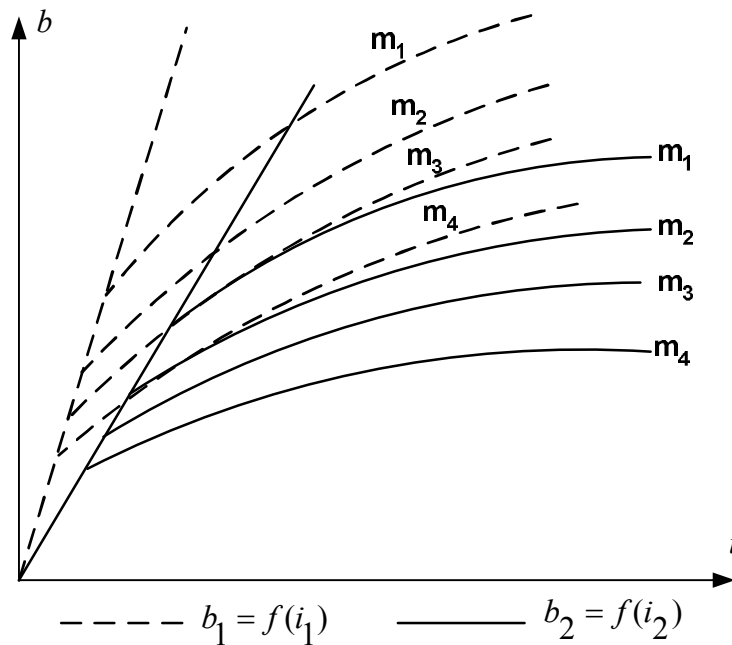


Рис. 2

В свою очередь, дифференциальные уравнения (1) приведем к двум переменным, положив для некоторых участков кривых намагничивания (рис.2) линейные зависимости:

$$i_1 = \alpha_1 \frac{db_1}{dt} + \beta_1 b_1, \quad i_2 = \alpha_2 \frac{db_2}{dt} + \beta_2 b_2, \quad (2)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ - постоянные и положительные коэффициенты аппроксимации.

С учетом (2) и замены $B_1 = b_1$, $B_2 = b_2$ для (1) имеем

$$\begin{aligned} L_1 \alpha_1 \frac{d^2 b_1}{dt^2} + M \alpha_2 \frac{d^2 b_2}{dt^2} + (L_1 \beta_1 + R_1 \alpha_1 + W_1 S_1) \frac{db_1}{dt} + \\ + M \beta_2 \frac{db_2}{dt} + R_1 \beta_1 b_1 = u_1, \\ L_2 \alpha_2 \frac{d^2 b_2}{dt^2} + M \alpha_1 \frac{d^2 b_1}{dt^2} + (L_2 \beta_2 + R_2 \alpha_2 + W_2 S_2) \frac{db_2}{dt} + \\ + M \beta_1 \frac{db_1}{dt} + R_2 \beta_2 b_2 = u_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Дифференциальные уравнения (3), будучи линейными, не отражают, однако, всех особенностей динамического процесса, имеющего место при намагничивании тороидальных образцов, то есть нелинейного рассеяния магнитной энергии.

Введем преобразования:

$$B_1 = \exp(-h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau \cdot b_1), \quad B_2 = \exp(-h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau \cdot b_2), \quad (4)$$

где $B_1 = B_1(t)$, $B_2 = B_2(t)$ - величины магнитной индукции в электрических цепях, отвечающие смыслу уравнений (1); $\exp(-h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau \cdot b_1)$, $\exp(-h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau \cdot b_2)$ - безразмерные множители при положительных константах преобразования h_1 , h_2 и любых натуральных числах; m_1 и m_2 - суть безразмерные множители, учитывающие нелинейное рассеяние магнитной энергии (весьма малое в окрестностях $B_1 = 0$, $B_2 = 0$ и достаточно большое при всех конечных значениях B_1 и B_2).

Согласно структуре формул (4), нелинейное рассеяние магнитной энергии распространяется и на напряжение источников питания. С целью компенсации этого влияния выражения для u_1 и u_2 запишем в виде

$$\begin{aligned} u_1 &= U_{1m} \cdot e^{g_1 t} \sin \omega_1 t, \\ u_2 &= U_{2m} \cdot e^{g_2 t} \sin \omega_2 t, \end{aligned} \quad (5)$$

где U_{1m} , U_{2m} - амплитудные значения напряжений источников питания; ω_1 , ω_2 - частоты источников питания; $e^{g_1 t}$, $e^{g_2 t}$ - безразмерные множители при постоянных и положительных значениях g_1 и g_2 , аппроксимирующие желаемую компенсацию.

Нетрудно убедиться в том, что подстановка выражений (4) и (5) в (3) сводит последние к нелинейным интегро-дифференциальным уравнениям вида

$$\begin{aligned} & \left\{ L_1 \alpha_1 \left[\frac{d^2 B_1}{dt^2} + 2(m_1 + 1) h_1 B_1^{2m_1} \frac{dB_1}{dt} + h_1^2 B_1^{4m_1} + 1 \right] + (L_1 \beta_1 + R_1 \alpha_1 + W_1 S_1) \times \right. \\ & \times \left(\frac{dB_1}{dt} + h_1 B_1^{2m_1 + 1} \right) + R_1 \beta_1 B_1 \left. \right\} \exp \left(-h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau \right) + \left\{ M \alpha_2 \left[\frac{d^2 B_2}{dt^2} + 2(m_2 + 1) h_2 \times \right. \right. \\ & \times B_2^{2m_2} \frac{dB_2}{dt} + h_2^2 B_2^{4m_2} + 1 \left. \right] + M \beta_2 \left(\frac{dB_2}{dt} + h_2 B_2^{2m_2 + 1} \right) \left. \right\} \exp \left(-h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau \right) = \\ & = U_{1m} \exp \left(-\int_0^t [h_1 B_1^{2m_1}(\tau) + h_2 B_2^{2m_2}(\tau) - g_1] d\tau \right) \cdot \sin \omega_1 t, \\ & \left\{ M \alpha_1 \left[\frac{d^2 B_1}{dt^2} + 2(m_1 + 1) h_1 B_1^{2m_1} \frac{dB_1}{dt} + h_1^2 B_1^{4m_1} + 1 \right] + M \beta_1 \left(\frac{dB_1}{dt} + h_1 B_1^{2m_1 + 1} \right) \right\} \times \\ & \times \exp \left(-h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau \right) + \left\{ L_2 \alpha_2 \left[\frac{d^2 B_2}{dt^2} + 2(m_2 + 1) h_2 B_2^{2m_2} \frac{dB_2}{dt} + h_2^2 B_2^{4m_2} + 1 \right] + \right. \\ & + (L_2 \beta_2 + R_2 \alpha_2 + W_2 S_2) \left(\frac{dB_2}{dt} + h_2 B_2^{2m_2 + 1} \right) + R_2 \beta_2 B_2 \left. \right\} \times \\ & \times \exp \left(-h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau \right) = U_{2m} \exp \left(-\int_0^t [h_1 B_1^{2m_1}(\tau) + h_2 B_2^{2m_2}(\tau) - g_2] d\tau \right) \cdot \sin \omega_2 t. \end{aligned} \quad (6)$$

Левые части уравнений (6) характеризуют нелинейную диссипативную систему с общим характером динамических связей, правые же части содержат в своем составе синусоидальные напряжения источников питания $U_{1m} \sin \omega_1 t$, $U_{2m} \sin \omega_2 t$ и безразмерные множители

$$\exp\left(-\int_0^t [h_1 B_1^{2m_1}(\tau) + h_2 B_2^{2m_2}(\tau) - g_1] d\tau\right),$$

$$\exp\left(-\int_0^t [h_1 B_1^{2m_1}(\tau) + h_2 B_2^{2m_2}(\tau) - g_2] d\tau\right),$$

которые учитывают на этот раз обратное влияние нелинейной диссипативной системы на напряжение источников питания в процессе взаимодействия электрических цепей [6].

Поскольку нелинейные интегро-дифференциальные уравнения (6) выводятся непосредственно из выражений (3) и (4), то полное исследование (6) может быть заменено исследованием исходных выражений.

Найдем сначала общее решение для линейных дифференциальных уравнений (3), полагая для величин u_1 и u_2 принятые ранее представления (5):

$$\begin{aligned} b_1 = & C_{11}e^{-p_1 t} + C_{12}e^{-p_2 t} + C_{13}e^{-p_3 t} + C_{14}e^{-p_4 t} + D_{11}e^{g_1 t} \times \\ & \times \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{12}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12}), \\ b_2 = & C_{21}e^{-p_1 t} + C_{22}e^{-p_2 t} + C_{23}e^{-p_3 t} + C_{24}e^{-p_4 t} + D_{21}e^{g_1 t} \times \\ & \times \cos(\omega_1 t - \gamma_{21}) + D_{22}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{22}), \end{aligned} \quad (7)$$

где $C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}$ - постоянные интегрирования; $C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}$ - постоянные, зависящие от предыдущих постоянных; P_1, P_2, P_3, P_4 - положительные константы, зависящие только от параметров диссипативной системы; $D_{11}, D_{12}, D_{21}, D_{22}, \gamma_{11}, \gamma_{12}, \gamma_{21}, \gamma_{22}$ - положительные константы, зависящие от параметров как диссипативной системы, так и взаимодействующих с этой системой источников питания.

Согласно (4), общее решение (7) примет вид

$$\begin{aligned} B_1 \exp h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau = & C_{11}e^{-p_1 t} + C_{12}e^{-p_2 t} + C_{13}e^{-p_3 t} + C_{14}e^{-p_4 t} + \\ & + D_{11}e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{12}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12}), \\ B_2 \exp h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau = & C_{21}e^{-p_1 t} + C_{22}e^{-p_2 t} + C_{23}e^{-p_3 t} + C_{24}e^{-p_4 t} + \\ & + D_{21}e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{21}) + D_{22}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{22}). \end{aligned} \quad (8)$$

Последнее выражение имеет форму интегральных уравнений, разрешимых относительно величин $B_1 = B_1(t)$ и $B_2 = B_2(t)$.

Действительно, если левые и правые части (8) сначала возвести в степени $2m_1$, $2m_2$, а затем умножить на значения $2m_1 h_1$, $2m_2 h_2$, то получим

$$2m_1 h_1 B_1^{2m_1} \exp 2m_1 h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau = 2m_1 h_1 \left[C_{11} e^{-p_1 t} + C_{12} e^{-p_2 t} + C_{13} e^{-p_3 t} + \right. \\ \left. + C_{14} e^{-p_4 t} + D_{11} e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{12} e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12}) \right]^{2m_1}, \quad (9)$$

$$2m_2 h_2 B_2^{2m_2} \exp 2m_2 h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau = 2m_2 h_2 \left[C_{21} e^{-p_1 t} + C_{22} e^{-p_2 t} + C_{23} e^{-p_3 t} + \right. \\ \left. + C_{24} e^{-p_4 t} + D_{21} e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{21}) + D_{22} e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{22}) \right]^{2m_2}.$$

Левые части (9) - это точные производные по времени:

$$2m_1 h_1 B_1^{2m_1} \exp 2m_1 h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau = \frac{d}{dt} \exp 2m_1 h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau, \\ 2m_2 h_2 B_2^{2m_2} \exp 2m_2 h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau = \frac{d}{dt} \exp 2m_2 h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau. \quad (10)$$

Следовательно, интегрирование уравнений (9) даст

$$\exp 2m_1 h_1 \int_0^t B_1^{2m_1}(\tau) d\tau = 2m_1 h_1 \int_0^t \left[C_{11} e^{-p_1 t} + C_{12} e^{-p_2 t} + C_{13} e^{-p_3 t} + C_{14} \times \right. \\ \left. \times e^{-p_4 t} + D_{11} e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{12} e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12}) \right]^{-2m_1} dt + C_{10}, \\ \exp 2m_2 h_2 \int_0^t B_2^{2m_2}(\tau) d\tau = \\ = 2m_2 h_2 \int_0^t \left[C_{21} e^{-p_1 t} + C_{22} e^{-p_2 t} + C_{23} e^{-p_3 t} + C_{24} \times \right. \\ \left. \times e^{-p_4 t} + D_{21} e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{21}) + D_{22} e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{22}) \right]^{-2m_2} dt + C_{20}, \quad (11)$$

где C_{10} , C_{20} - постоянные интегрирования.

Если далее сравнить между собою выражения (9) и (11), то окончательно получим

$$B_1 = (C_{11}e^{-p_1 t} + C_{12}e^{-p_2 t} + C_{13}e^{-p_3 t} + C_{14}e^{-p_4 t} + D_{11}e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{12}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12})) \times A_1^{-1}, \quad (12)$$

где

$$A_1 = (2m_1 h_1 \int_0^t [C_{11}e^{-p_1 t} + C_{12}e^{-p_2 t} + C_{13}e^{-p_3 t} + C_{14}e^{-p_4 t} + D_{11}e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{12}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12})]^{-2m_1} dt + C_{10})^{\frac{1}{2m_1}} \\ B_2 = (C_{21}e^{-p_1 t} + C_{22}e^{-p_2 t} + C_{23}e^{-p_3 t} + C_{24}e^{-p_4 t} + D_{21}e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{21}) + D_{22}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{22})) \times A_2^{-1}, \quad (13)$$

где

$$A_2 = (2m_2 h_2 \int_0^t (C_{21}e^{-p_1 t} + C_{22}e^{-p_2 t} + C_{23}e^{-p_3 t} + C_{24}e^{-p_4 t} + D_{21}e^{g_1 t} \cos(\omega_1 t - \gamma_{11}) + D_{22}e^{g_2 t} \cos(\omega_2 t - \gamma_{12}))^{-2m_2} dt + C_{20})^{\frac{1}{2m_2}}.$$

Выражения (12) и (13) исчерпывающим образом определяют поведение магнитных индукций $B_1 = B_1(t)$ и $B_2 = B_2(t)$ во взаимодействующих электрических цепях при одновременном намагничивании двух тороидальных образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Филиппов Е.** Нелинейная электротехника. -М.:Энергия, 1976.- 496 с.
2. **Бессонов Л.А.** Переходные процессы в нелинейных электрических цепях со сталью.-М.: Госэнергоиздат, 1951.- 163 с.
3. **Филиппов Е.С.** и др. Теория нелинейных электрических цепей.- Л.,1990. -230 с.
4. **Филиппов В.В.** Магнитомягкие ферриты для радиоэлектронной аппаратуры: Справочник.-М.: Энергия, 1983.-386 с.
5. **Горяченко В.Д.** Элементы теории колебаний: Учебное пособие.- М.: Высшая школа, 2001.- 463 с.
6. **Сафронов В.И.** Теоретическое и экспериментальное исследование некоторых внешних воздействий на автоколебательные системы: Дис...канд. тех. наук / МВТУ им.Н.Э. Баумана.-М.,1970.-260 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 10.05.2006.

Գ.Ա. ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ, Ա.Գ. ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ

**ՓՈԽՆԴՈՒԿՏԻՎ ԿԱՂՈՎ ԵՐԿՈՒ ՏՈՐՈՒԴԱԼ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ ՄԻԱԺԱՄԱՆԱԿՅԱ
ՄԱԳՆԻՍԱՑՈՒՄՈՎ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Դիտարկված են փոխինդուկտիվ կապով երկու տորոիդալ նմուշների միաժամանակյա մագնիսացումով շղթաներ, ստացվել են այդ շղթաների համար ոչ գծային ինտեգրա-դիֆերենցիալ հավասարումներ, որոնց վերլուծությամբ բացահայտվել են մագնիսական ինդուկցիաների վարքը՝ կախված ժամանակից՝ փոխինդուկտիվ կապով կապված երկու տորոիդալ նմուշներում նրանց միաժամանակյա մագնիսացման դեպքում:

Առանցքային բառեր. մագնիսացումով շղթա, տորոիդալ նմուշներ, ինդուկցիա, ոչ գծային ինտեգրա-դիֆերենցիալ հավասարումներ, մոտարկում:

G. A. KARDASHYAN, A. G. KARDASHYAN

**ANALYSIS OF MAGNETIZING CIRCUITS AT SIMULTANEOUS MAGNETIZATION OF TWO
TOROIDAL SPECIMENS**

Circuits are examined at simultaneous magnetization of two toroidal specimens, nonlinear integral-differential equations of circuits are considered. As a result of the analysis the expression of magnetic inductions $B_1 = B_1(t)$ and $B_2 = B_2(t)$ are obtained in the interacting electrical circuits at simultaneous magnetization of two toroidal specimens.

Keywords: magnetizing circuits, toroidal specimens, induction, nonlinear integral-differential equations, approximation.

Н.Н. ПЕТРОСЯН, Г.С. КАРОЯН

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы разработки источника питания для установок ионного азотирования, содержащих трехфазный трансформатор, выпрямитель и тиристорно-конденсаторный преобразователь. Методом кусочного припасовывания получены расчетные соотношения для схемы источника питания. С помощью системы OrCAD 9.2 смоделирована принципиальная схема источника и получены ее временные диаграммы. Произведен анализ и дана оценка статических характеристик источника питания.

Ключевые слова: ионное азотирование, тлеющий разряд, дуговой разряд, катодное распыление, тиристорно-конденсаторный преобразователь, дозирующий конденсатор.

В последние годы в сфере промышленности интерес к процессам низкотемпературного насыщения железных сплавов азотом или совместно азотом и углеродом сильно возрос.

Важным признаком азотирования является пренебрежимо малая деформация и коробление деталей при низкотемпературной обработке, в ходе которой сталь не претерпевает фазовых переходов, как это имеет место при других видах поверхностного упрочнения (нитроцементации, цементации, индукционной и лазерной закалке и др.) [1].

Широкому распространению метода азотирования препятствовали такие факторы, как трудоемкость технологических процессов, невозможность "глубокого" поверхностного упрочнения, хрупкость поверхностных зон азотированного слоя, резкое ухудшение шероховатости азотированной поверхности, искажение геометрических размеров деталей [2,3].

Процесс ионного азотирования условно разделяют на три этапа: очистка, катодное распыление и насыщение поверхности азотом. Ток в камере достигает номинального значения на этапе насыщения. Максимальное выходное напряжение достигается в режиме катодного распыления. Этот режим по своим характеристикам близок к холостому ходу. На этапе очистки ток нагрузки может существенно превышать номинальное значение.

Широкое внедрение современной электротехнологии в промышленности, т.е. применение новых, высокоэффективных технологических процессов, немыслимо без создания специализированных источников питания (ИП). Специфика нагрузки электротехнологических установок, необходимость глубокого регулирования тока, обеспечения работоспособности при переходе тлеющего разряда в дуговой (тлеющий разряд соответствует насыщению поверхности азотом, а дуговой - катодному распылению) и стабильности горения дуги, а также ряд других особенностей предъявляют повышенные

требования к энергетическим и динамическим характеристикам ИП. ИП ионного азотирования должен быть высокочастотным, обеспечивать нормальную работу установки от режима короткого замыкания до режима холостого хода.

Целью данной статьи является создание новых, высокоэффективных ИП, обеспечивающих устойчивую работу установки ионного азотирования в разных режимах технологического процесса: от режима короткого замыкания до режима холостого хода.

Перечисленным требованиям наилучшим образом отвечают ИП с дозированной передачей энергии. Отличительной особенностью таких ИП является наличие дозирующего конденсатора, включаемого последовательно в цепь нагрузки на этапе передачи энергии, что обеспечивает ограничение передаваемой в нагрузку энергии в периодах модуляции, надежную работу в широком диапазоне изменения тока нагрузки (вплоть до режима КЗ), высокую коммутационную устойчивость в динамических режимах, простоту пуска и отключения, более высокую частоту модуляции по сравнению с импульсными преобразователями с принудительной коммутацией [4].

На рис.1 показана структурная схема рассматриваемого ИП, содержащего трехфазный трансформатор (Тр), выпрямитель (В), фильтр (Ф), тиристорно-конденсаторный преобразователь (ТКП) и нагрузку (Н).

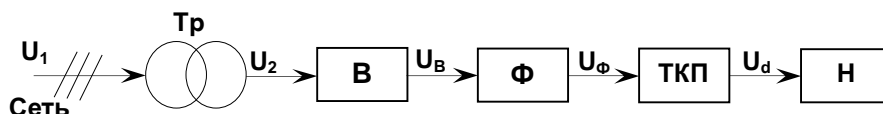


Рис. 1

Соответствующая рис.1 принципиальная схема ИП (рис.2) содержит трехфазный мостовой выпрямитель на диодах VD1...VD6, ТКП на тиристорах VS1,VS2,VS6,VS7 с конденсатором C2 в диагонали, возвратный диод VD10, узел повышения напряжения на тиристорах VS4 и VS5 с конденсатором C3 и цепь рекуперации на диодах VD7, VD8 и тиристоре VS8.

В режиме тлеющего разряда в камере ионного азотирования работают тиристоры дозирующего моста VS1,VS2,VS6,VS7, причем одновременно проводят накрест лежащие вентили (VS1-VS7, VS2-VS6), чем достигается последовательное соединение дозирующего конденсатора C2 с цепью нагрузки на межкоммутационных интервалах. В этом режиме тиристор VS4 находится в открытом состоянии, обеспечивающем подключение камеры ионного азотирования через токоограничивающий реактор L2 к отрицательному выводу ИП.

Для обеспечения в режиме катодного распыления на нагрузке высокого напряжения необходимо открыть тиристор VS5. При этом напряжение на выходе ТКП увеличивается на величину напряжения конденсатора C3, т.е. U_{C3} (конденсатор C3 предварительно заряжен до уровня U по цепи U - VS3 - C3 - VS5 - U).

Схема рис. 2 смоделирована посредством системы OrCAD 9.2. На схеме модели рис.3а низкоомными резисторами R1...R5 учтены влияния сопротивлений соединительных линий и активные потери на вентилеях.

Посредством генераторов U1...U8 управляющие импульсы подаются на тиристоры, обеспечивающие соответствующий алгоритм работы. Далее использованы следующие обозначения: L_n , R_n - параметры нагрузки; $U(C2)$ - напряжение на конденсаторе C2; U_n - напряжение нагрузки. Типы используемых вентиля и конкретные параметры элементов показаны на схеме рис.3а.

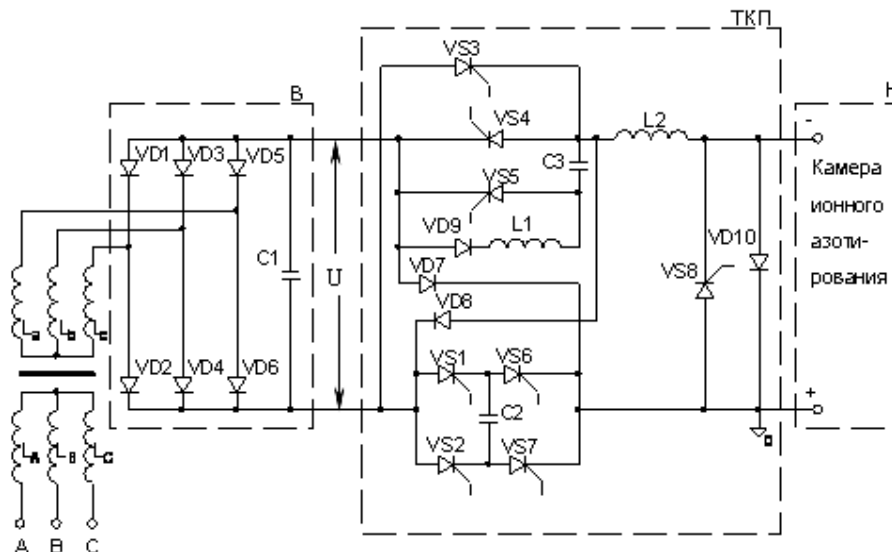


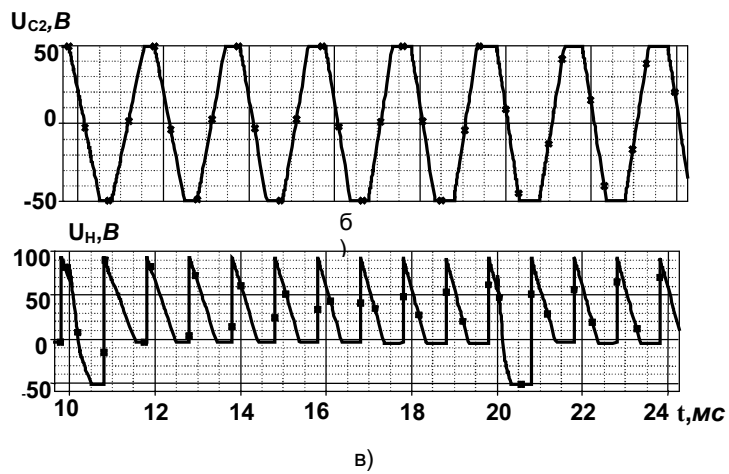
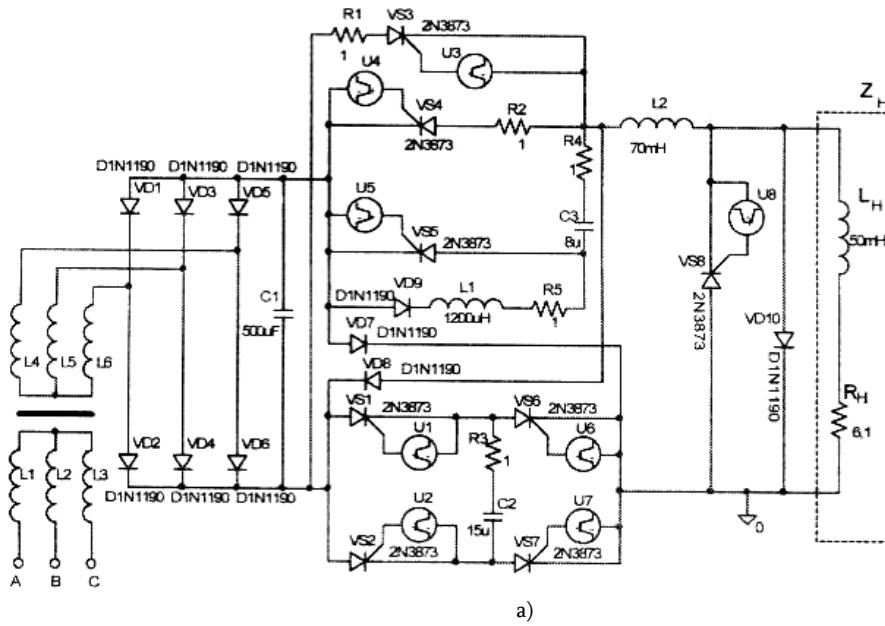
Рис. 2

Результаты моделирования представлены на рис.3б-г. Как видно из рисунка, режиму катодного распыления времени соответствует интервал 20...21 мс. На этом промежутке напряжение нагрузки U_n по абсолютному значению повышается на величину $U_{C3}=U$ (по сравнению с номинальным значением), а ток нагрузки I_n снижается (рис.3г).

Сильноточный тлеющий разряд по своей природе является нестабильным, легко переходящим в дуговой под действием ряда возмущающих факторов (колебания давления, загрязнение, неоднородность поверхности обрабатываемых деталей и т.д.). Для обеспечения устойчивой работы в этом режиме в схеме предусмотрен дополнительный тиристор VS8, позволяющий регулировать время горения дугового разряда в камере. В то же время происходит рекуперация энергии, т.е. энергия передается в сеть по цепи L2-VD8 - C1 - VD7 - VS8 – L2, а ток нагрузки замыкается через возвратный диод VD10. После "сброса" энергии и последующей бестоковой паузы, необходимой для восстановления управляющих свойств тиристора VS8, вновь включаются тиристоры VS1,VS2,VS6,VS7 и формируется очередной импульс напряжения на нагрузку.

Для получения статических и регулировочных характеристик анализ ТКП проведен при следующих допущениях: активными потерями на элементах

схемы и пульсациями напряжения на выходе выпрямителя на межкоммутационных интервалах пренебрегаем ($U=\text{const}$); добротность контура тока нагрузки на интервалах перезаряда конденсатора и проводимость шунтирующего диода постоянны; нагрузка активно-индуктивная.



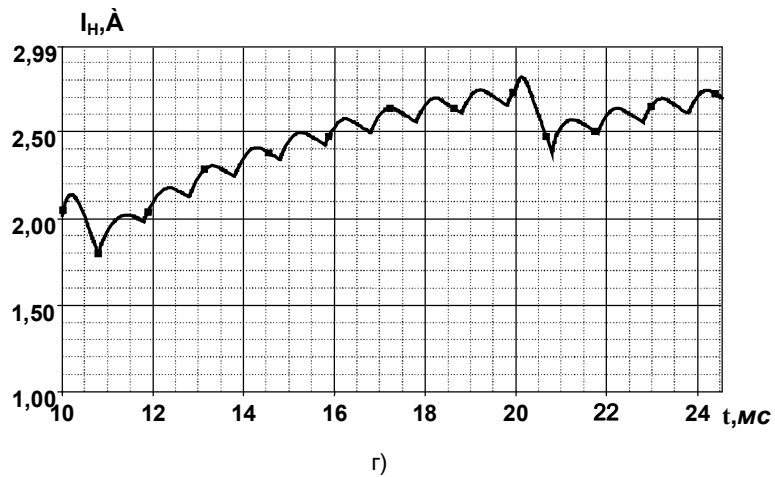


Рис.3

При принятых допущениях в межкоммутационных интервалах справедлива эквивалентная схема рис. 4.

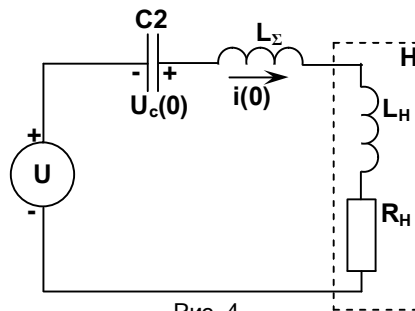


Рис. 4

Дифференциальное уравнение, описывающее электромагнитные процессы в схеме при начальных условиях $U_c(0)=U$, имеет вид

$$L_{\Sigma} \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C2} \int_0^t i(t) dt + i(t) \cdot R_{\square} = U, \quad (1)$$

где L_{Σ} - эквивалентная индуктивность схемы.

Решая уравнение (1), получаем закономерности изменения тока и напряжения дозирующего конденсатора и тириستоров импульсного регулятора (VS1, VS2, VS6, VS7):

$$i_c(t) = \frac{1}{R_H \sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \sqrt{[2(U + U_c(0)) - R_H \cdot i_c^2(0)]^2 + i_c^2(0) \cdot R_H^2 (4Q^2 - 1)} \times \\ \times e^{-\theta/\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \sin[\theta + \arctg \frac{i_c(0) \cdot R_H \sqrt{4Q^2 - 1}}{2[U + U_c(0)] - i_c(0) \cdot R_H}], \quad (2)$$

$$U_c(t) = \frac{Q}{\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \sqrt{[2(U + U_c(0)) - i_c(0) \cdot R_H]^2 + R_H^2 i_c^2(0) [4Q^2 - 1]} \times \\ \times e^{-\theta/\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \sin[\theta + \arctg \sqrt{4Q^2 - 1} + \arctg \frac{R_H \cdot i_c(0) \sqrt{4Q^2 - 1}}{2[U + U_c(0)] - R_H \cdot i(0)}], \quad (3)$$

где $Q = \sqrt{L_{\Sigma}/C_2} / R_H$ - добротность контура перезаряда конденсатора; $\theta = \omega t$.

Начальные значения тока и напряжения конденсатора определяются в виде

$$i_c(0) = [U + U_c(0)] \cdot \frac{e^{\theta_k/\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \sin \phi}{Q \cdot R_H \cdot \sin(\theta_k + \arctg \sqrt{4Q^2 - 1} + \phi)}, \quad (4)$$

$$U_c(0) = U \frac{1 - 2A}{1 + 2A}, \quad (5)$$

где

$$A = \frac{e^{\theta_k/\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot Q \cdot \tg \phi \cdot \sin(\theta_k + \arctg \sqrt{4Q^2 - 1} + \phi)}{(\sqrt{4Q^2 - 1} + \tg \phi) \cdot \sin \phi}, \quad (6)$$

$$\phi = \arctg \frac{e^{-\theta_k/\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \sin \theta_k}{1 - e^{-\theta_k/\sqrt{4Q^2 - 1}} \cdot \cos \theta_k}, \quad (7)$$

θ_k - время, соответствующее моменту окончания импульса выходного напряжения.

Оценка статических характеристик преобразователя проводилась с помощью выражений (1)-(7) и по эквивалентной схеме рис.4. По полученным выражениям для напряжения и тока нагрузки оценены статические характеристики преобразователя (регулирующие и внешние характеристики). Последние в безразмерных величинах показаны соответственно на рис.5а и б, где $U_n = U_n/U$, $f = f/f_6$, $\Gamma_n = I_n/I_{ном}$, а $f_6 = 1/T_6 = 1/(2R_H C_2)$ - базовое значение частоты модуляции (U_n , I_n - соответственно напряжение и ток нагрузки).

Как видно из рис.5, преобразователь имеет сравнительно жесткие внешние характеристики, что важно при высокочастотных нагрузках, когда необходимо обеспечить стабильность выходного напряжения при изменениях тока нагрузки.

Для преобразователя с возвратным диодом наименьшее значение времени, предоставляемое для восстановления управляющих свойств тиристоров

t_b , достигается при $Q=0,5$ [2]. Для того чтобы ток нагрузки не превышал I_M (амплитуда тока при коротком замыкании нагрузки), в любом режиме индуктивность L_2 должна быть выбрана с учетом условий $U_C(0)=U$ и $i_n(0)=I_{ном}$ ($i_n(0)$ -начальный ток нагрузки). В случае, если I_M мало отличается от номинального тока, необходимо выбрать емкость C_2 из следующего равенства:

$$C_2 = I_{ном} t_b / U_C(0). \quad (8)$$

Таким образом, выражения для выбора параметров элементов преобразователя в окончательной форме имеют вид

$$L_2 \geq \frac{2t_b \cdot U}{\ln 2 \cdot \sqrt{I_M^2 - I_{ном}^2(0)}}, \quad (9)$$

$$C_2 \geq \frac{t_b \sqrt{I_M^2 - I_{ном}^2(0)}}{\ln[1 + \frac{U_C(0)}{U}](U_C(0) + U)}. \quad (10)$$

Выбрав L_2 и C_2 , легко найти необходимые величины и параметры элементов схемы, обеспечивающие соответствующие режимы работы преобразователя. Прямое и обратное напряжения на тиристорах не превышают напряжения питания. Тиристоры максимально загружены по току в режиме передачи максимальной мощности в нагрузку. При этом среднее значение тока тириستоров VS_1, VS_2, VS_6, VS_7 оценивается в виде

$$I_{VS_1, VS_2, VS_6, VS_7} = f_{max} U C_2, \quad (11)$$

где f_{max} - максимальная частота модуляции, равная

$$f_{max} = 1 / 2t_{CX} = 1 / 2k_3 t_b,$$

t_b - паспортное значение времени выключения тиристора; k_3 - коэффициент запаса по времени выключения.

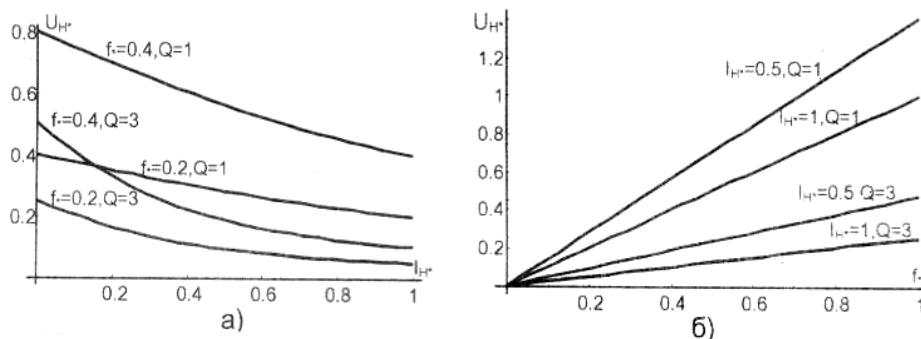


Рис. 5

Для повышения мощности обычно ИП строят по модульному принципу. При этом включают несколько параллельно соединенных ТКП, питающихся от общего выпрямителя, и не требуется дополнительных устройств приравнивания токов модулей, так как для этой цели служит дозирующий конденсатор.

В предложенном ИП за счет использования узла на элементах VS5, VD9, L1 и C3 удается значительно снизить пределы изменения рабочей частоты ТКП, обеспечивая при этом более высокое значение нижней граничной частоты. В итоге удается значительно улучшить массогабаритные показатели в целом, так как реактивные элементы преобразователя рассчитываются для наименьшей рабочей частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чаттерджи-Фишер Р., Эйзелл Ф.- В.** и др. Азотирование и карбонитрирование / Пер. с нем; Под ред. А.В. Супова.-М.: Металлургия, 1990. - 280 с.
2. **Булатов О.Г., Царенко А.Н.** Тиристорно - конденсаторные преобразователи.- М.: Энергоатомиздат, 1982. - 216 с.
3. **Булатов О.Г., Царенко А.И., Поляков В.Д.** Тиристорно-конденсаторные источники питания для электротехнологии.-М.: Энергоатомиздат, 1989. - 200 с.
4. Պետրոսյան Ն.Ն., Կարոյան Գ.Ս. Իոնային ազոտացման էլեկտրատեխնոլոգիական կայանքներ // ՀՊՀՀ ուսանողական հոբելյանական գիտաժողովի նյութերի ժողովածու.- Երևան, 2003. - էջ 213-216:

ГИУА. Материал поступил в редакцию 09.03.2005.

Ն.Ն. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Գ.Ս. ԿԱՐՈՅԱՆ ԻՈՆԱՅԻՆ ԱԶՈՏԱԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՆԱԽԱՏԵՄՎԱԾ ՄԱՍԻՆ ԱՂԲՅՈՒՐԻ ՍՏԱՏԻԿ ԲՆԱԿԹԱԳԾԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Քննարկվում են իոնային ազոտացման տեղակայանքի սնման աղբյուրների հետ կապված հարցեր, որոնք պարունակում են եռաֆազ տրանսֆորմատոր, ուղղիչ և տիրիստորա-կոնդենստորային կերպափոխիչ: Կտր և կտր փոխանցման մեթոդի օգնությամբ ստացվել են հաշվարկային արտահայտություններ սնման աղբյուրի համար: OrCAD 9.2 ծրագրի օգնությամբ մոդելավորվել է սնման աղբյուրի սկզբունքային սխեման և ստացվել են առավել հետաքրքրություն ներկայացնող կետերի ժամանակային դիագրամները: Կատարվել է նաև կերպափոխիչի ստատիկ բնութագրերի վերլուծություն:

Առանցքային բաներ. իոնային ազոտացում, մարմնող պարպում, աղեղային պարպում, կատոդային փոշիացում, տիրիստորա-կոնդենստորային կերպափոխիչ, դոզավորող կոնդենսատոր:

N.N. PETROSYAN, G.S. KAROYAN ANALYSIS AND RATING OF STATIC CHARACTERISTICS OF SUPPLY SOURCE FOR INSTALLATION OF ION NITROGEN

The problems of developing the supply source for installation of ion nitrogen containing a three-phase transformer, rectifier, and thyristor - capacitor converter are considered. By an electromagnetic method the piecewise alignment for the design expressions of the supply source are obtained. With the help of OrCAD 9.2 system the basic circuit is simulated and its temporary diagrams are obtained. The analysis and estimate of the static characteristics are conducted.

Keywords: ion nitrogen, amper discharge, arc discharge, cathode spraying, thyristor-capacitor converter, dose condenser.

Р.А. ХАЧАТРЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ДВУЖИЛЬНЫХ ВОДОСТОЙКИХ МИКРОЭМАЛЬПРОВОДОВ

Развитие систем малогабаритной линии связи непосредственно связано с созданием двужильных эмальпроводов микронных размеров. В связи с этим возникла необходимость предварительно определить толщины лаковых покрытий в зависимости от приложенного к проводам электрического напряжения и свойств применяемых лаков. С этой целью разработана теория электрического расчета по определению толщины эмалевого изоляции в зависимости от величины приложенного к проводам электрического напряжения и свойств применяемых лаков.

Ключевые слова: двужильный провод, изоляция, лак, емкость, напряженность электрического поля.

К двужильным водостойким эмальпроводам предъявляются требования не как к обмоточным проводам, а как к малогабаритной линии, связывающей отдельные объекты управления [1, 2].

Целью настоящей работы является разработка электрического расчета двужильного водостойкого микроэмальпровода для определения толщины эмалевого изоляции провода в зависимости от приложенного электрического напряжения и свойств применяемых лаков.

На рис. 1 и 2 показано поперечное сечение двужильного микроэмальпровода.

В области изоляций D_1 и D_2 с диэлектрической проницаемостью ε_1 , ε_2 границы переходов от проводника к эмалевого изоляции обозначим через Γ_1 , а от первого эмалевого слоя ко второму – Γ_2 . Потенциалы в области D_1 , D_2 обозначим $U_1(x, y)$, $U_2(x, y)$. Необходимо найти гармонические функции, удовлетворяющие граничным условиям:

на границе Γ_1 :

$$U_1(x, y) = U_0; \quad (1)$$

на границе Γ_2 :

$$U_1(x, y) = U_2(x, y); \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial U_1(x, y)}{\partial n} \right)_{\Gamma_1} = \varepsilon_2 \left(\frac{\partial U_2(x, y)}{\partial n} \right)_{\Gamma_2}. \quad (3)$$

Решение данной задачи ищем в виде

$$U_1(z) = \left[\varphi \left(\frac{z-a}{R} \right) \right] - \varphi \left(\frac{z_0^2 - R}{z-a} \right) + C_0 \ln \frac{(z-a)}{2} + U_0, \quad (4)$$

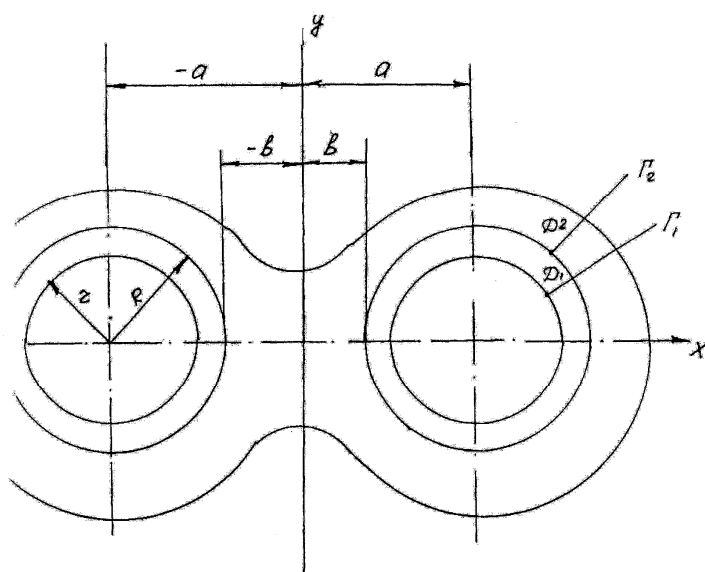


Рис. 1

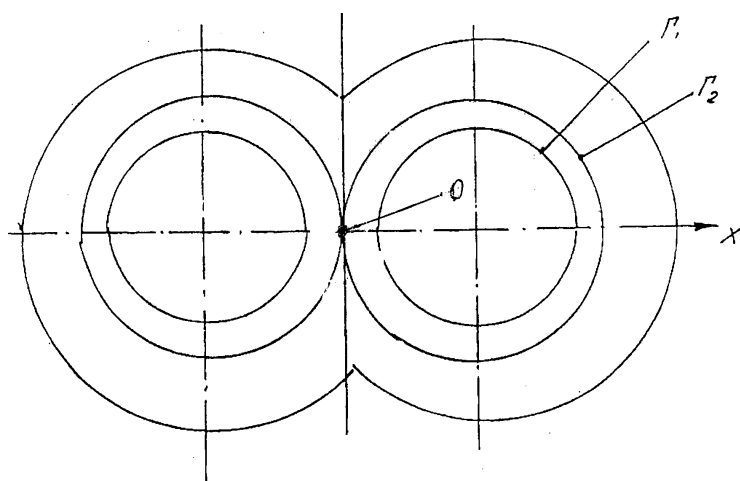


Рис. 2

$$U_2(z) = R_e \left[\psi \left(\frac{R}{z-a} \right) - \psi \left(\frac{R}{z+a} \right) + C_1 \ln \left(\frac{z+a}{z-a} \right) \right], \quad (5)$$

где $z=x+iy$; C_0, C_1 – действительные постоянные; $z_0=z/R$; $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ – аналитические в единичном круге функции, удовлетворяющие условиям:

- а) $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ в окрестности точки $z=0$ действительны;
б) $\varphi(0) = \psi(0) = 0$. (6)

Используя условие (2), можем записать

$$R_e \left[\varphi(t) - \varphi \left(\frac{z_0^2}{t} \right) \right] - C_0 \ln t z_0 + U_0 = R_e \left[\varphi \left(\frac{1}{t} \right) \right] - \varphi \left(-\frac{1}{z+a} \right) + C_1 \ln(t-a)(t) = 1, \quad (7)$$

где $t = \frac{z-a}{R}$; $\alpha = \frac{2a}{R}$.

В результате имеем

$$R_e \varphi(\bar{z}) = R_e \varphi(z) - R_e \psi(\bar{z}) = R_e \psi(\bar{z}), \quad (8)$$

где $\bar{z}$ – сопряженная с z величина: $\bar{z} = 1/z$;

$$(t) = 1; R_e \varphi \left(\frac{z_0^2}{t} \right) = R_e \varphi(z_0^2 t), \quad (9)$$

$$R_e \psi \left(\frac{1}{t} \right) = R \psi(\bar{t}) = R_e \psi(t). \quad (10)$$

Следовательно, равенство (7) можно представить в виде

$$R_e [\varphi(t) - \varphi(z_0 t)] - \psi(t) + \psi \left(-\frac{1}{t+a} \right) - C_1 \ln(t+a) - C_0 \ln z_0 + U_0 = 0. \quad (11)$$

Так как на границе $(z)=1$ их реальные части равны и в точке $z=0$ принимают действительные значения, то эти функции равны, т.е.

$$\varphi(t) - \varphi(z_0^2 t) - \psi(t) + \psi \left(-\frac{1}{t+a} \right) - C_1 \ln \left[(t+a) \frac{1}{t} \right] - C_0 \ln z_0 + U_0 = 0. \quad (12)$$

Подставляя $U_1(z)$ и $U_2(z)$ из (4) и (5) в (3) и дифференцируя их, получим

$$\begin{aligned}
& R_e \varepsilon \left[t \varphi'(t) + \frac{z_0^2}{t} \varphi' \left(\frac{z_0^2}{t} \right) \right] + C_0 = \\
& = R_e \left[-\frac{1}{t} \psi' \left(\frac{1}{t} \right) - \frac{t}{(t+\alpha)^2} \psi' \left(-\frac{t}{t+\alpha} \right) \right] + C_1 \left(\frac{1}{t+\alpha} \right).
\end{aligned} \tag{13}$$

С учетом (8) и (9) преобразуем (13) к виду

$$R_e \varepsilon \left\{ [t \varphi'(t) + z_0^2 t \varphi'(z_0^2 t) + C_0] + \frac{t}{(t+\alpha)_e^2} \psi' \left(-\frac{t}{t+\alpha} \right) - C_1 \left(\frac{1}{t+\alpha} \right) \right\} = 0, \tag{14}$$

где $\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$.

При $t=0$ получим

$$-\varepsilon C_0 = C_1. \tag{15}$$

С учетом (15) после сокращения по t представим (14) в виде

$$\varepsilon [t \varphi'(t) + z_0^2 t \varphi'(z_0^2 t)] + \frac{t}{(t+\alpha)_e^2} \psi' \left(-\frac{t}{t+\alpha} \right) - C_1 \left(\frac{1}{t+\alpha} \right) = 0. \tag{16}$$

Принимая

$$\varphi'(t) = C_1 \varphi_1(t), \quad \psi'(t) = C_1 \psi_1(t), \tag{17}$$

получим

$$\begin{aligned}
\varphi_1(t) - \psi(t) &= z_0^2 t \varphi_1(z_0^2 t) - \frac{t}{(t+\alpha)^2} \psi_1 \left(-\frac{t}{t+\alpha} \right) + \left(\frac{1}{t+\alpha} \right), \\
\varepsilon \varphi_1(t) - \psi_1(t) &= -\varepsilon z_0^2 \varphi_1(z_0^2 t) - \frac{t}{(t+\alpha)^2} \psi_1 \left(-\frac{t}{t+\alpha} \right) + \left(\frac{1}{t+\alpha} \right),
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\varphi_1(t) = C_1 \int_0^t \varphi_1(t) dt; \quad \psi(t) = \int_0^t \psi_1(t) dt = C_1 \omega(t). \tag{19}$$

При $t=0$ уравнение (12) представляется в виде

$$\begin{aligned}
\psi \left(-\frac{1}{\alpha} \right) &= C_1 \ln \alpha + C_0 \ln r_0 - U_0, \\
\psi \left(-\frac{1}{\alpha} \right) - C_1 \ln \alpha - C_0 \ln r_0 + U_0 &= 0
\end{aligned} \tag{20}$$

или

$$C_1 \omega \left(-\frac{1}{\alpha} \right) - C_1 \ln \alpha - C_0 \ln r_0 + U_0 = 0. \tag{21}$$

Решая (15) и (21) относительно C_0 и C_1 , получим

$$C_0 = \frac{U_0}{\varepsilon \omega \left(-\frac{1}{\alpha} \right) - \varepsilon \ln \alpha + \ln \varepsilon_0}, \quad (22)$$

$$C_1 = \frac{-\varepsilon U_0}{\varepsilon \omega \left(-\frac{1}{\alpha} \right) - \varepsilon \ln \alpha + \ln r_0}. \quad (23)$$

После некоторых преобразований представим (18) в виде

$$\varphi_1(t) = \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} r_0^2 \varphi_1(r_0^2 t) - \frac{2}{(1+\varepsilon)(\alpha+t)^2} \psi_1\left(-\frac{1}{\alpha+t}\right) + \frac{2}{(1+\varepsilon)(\alpha+t)}, \quad (24)$$

$$\psi_1(t) = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon} r_0^2 \varphi_1(r_0^2 t) - \frac{1-\varepsilon}{(1+\varepsilon)(\alpha+t)^2} \psi_1\left(-\frac{1}{\alpha+t}\right) + \frac{1-\varepsilon}{(1+\varepsilon)(\alpha+t)}. \quad (25)$$

При $b=0$; $\alpha = 2$ (рис.1) уравнения (24) и (25) принимают вид

$$\varphi_1(t) = \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} r_0^2 \varphi_1(r_0^2 t) - \frac{2}{(1+\varepsilon)(\alpha+t)^2} \psi_1\left(-\frac{1}{2+t}\right) + \frac{2}{(1+\varepsilon)(2+t)}, \quad (26)$$

$$\psi_1(t) = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon} r_0^2 \psi_1(r_0^2 t) - \frac{1-\varepsilon}{(1+\varepsilon)(2+t)^2} \psi_1\left(-\frac{1}{2+t}\right) + \frac{1-\varepsilon}{(1+\varepsilon)(2+t)}. \quad (27)$$

В качестве нулевого приближения решения системы (26), (27) принимаем

$$[\varphi_1(t)]_0 = \frac{2}{(1+\varepsilon)(\alpha+t)^2}; \quad [\psi_1(t)]_0 = \frac{1-\varepsilon}{(1+\varepsilon)(2+t)}. \quad (28)$$

Находим первое приближение:

$$[\varphi_1(t)]_1 = \frac{2(1-\varepsilon)}{(1+\varepsilon)^2} \left[\frac{r_0^2}{2+r_0^2 t} - \frac{1}{(2+t)(3+2t)} + \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \cdot \frac{1}{(2+t)} \right]. \quad (29)$$

В результате получим

$$[\varphi_1(t)]_1 = \frac{2(1-\varepsilon)}{(1+\varepsilon)^2} \left[\frac{r_0^2}{2+r_0^2 t} - \frac{1}{(2+t)(3-2t)} \right] + \frac{2}{(1+\varepsilon)(2+t)},$$

$$[\varphi_1(t)]_1 = \frac{4\varepsilon}{(1+\varepsilon)^2} \cdot \frac{r_0^2}{2+r_0^2 t} - \frac{(1-\varepsilon)^2}{(1+\varepsilon)^2} \cdot \frac{1}{(2+t)(3-2t)} + \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \cdot \frac{1}{(2+t)}. \quad (30)$$

Из (17) и (19) определяем

$$[\varphi_1(t)]_1 = \frac{2(1-\varepsilon)}{(1+\varepsilon)^2} \left[\ln \left(1 + \frac{r_0^2}{2} t \right) + \ln \left(\frac{6+3t}{6+4t} \right) \right] + \frac{2}{(1+\varepsilon)} \ln \left(1 + \frac{t}{2} \right), \quad (31)$$

$$\begin{aligned} [\varphi_1(t)]_1 &= C_1(\omega(t))_1 = \\ &= \left\{ \frac{4\varepsilon}{(1+\varepsilon)^2} \ln \left(1 + \frac{r_0^2}{2} t \right) + \left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \right)^2 \ln \left(\frac{6+3t}{6+4t} \right) + \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \ln \left(1 + \frac{t}{2} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (32)$$

Подставляя (31) в (32), находим первое приближение для $U_1(z)$ и $U_2(z)$:

$$\begin{aligned} U_1(z) &= C_1 \left\{ \frac{2(1-\varepsilon)}{(1+\varepsilon^2)} \left[\ln \left| 2 + r_0^2 \frac{r-R}{R} \right| - \ln \left| \frac{R+2r}{R+r} \right| - \ln \left| 2 + \frac{r_0^2 R}{r-R} \right| + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \ln \left| \frac{(2r_0^2-3)R+3z}{(r_0^2-2)R+2z} \right| \right] - \frac{1}{\varepsilon} \ln \left| \frac{z-R}{R} \right| + \right. \\ &\quad \left. + \frac{2}{(1+\varepsilon)} \ln \left[\frac{z+R}{R} - \ln \left| 2 + \frac{r_0^2 R}{z-R} \right| \right] \right\} + U_0, \end{aligned} \quad (33)$$

где

$$C_1 = \frac{-\varepsilon U_0}{\varepsilon \omega \left(-\frac{1}{2} \right) - \varepsilon \ln 2 + \ln r_0}, \quad (34)$$

$$\omega \left[\left(-\frac{1}{2} \right) \right]_1 = -\frac{4\varepsilon}{(1+\varepsilon)^2} \ln \left(1 - \frac{r_0^2}{4} \right) + \left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \right)^2 \ln \left(\frac{9}{8} \right) + \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \ln \left(\frac{3}{4} \right). \quad (35)$$

Учитывая, что в самых тяжелых условиях эмалевая изоляция находится в точке "0", где $z=0$, и дифференцируя $U_1(x,y)$ электрического поля в точке "0", определяем "R" [3,4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_1(x,y)}{\partial n} &= C_1 \left[\frac{z_1-R}{R} \left(\frac{2(1-\varepsilon)r_0^2}{(1+\varepsilon)^2} \cdot \frac{1}{2R+r_0^2(z-R)} \right) + \frac{2(1-\varepsilon)r_0^4}{(1+\varepsilon)^2} \times \right. \\ &\times \frac{1}{2(z_1-R)+Rr_0^4} + \frac{2(\varepsilon-1)r_0^2}{(1+\varepsilon)^2} \cdot \frac{z_1-R}{[2(z_1-R)+Rr_0^2][3(z_1-R)+2Rr_0^2]} + \\ &\quad \left. + \frac{2r_0^2}{(1+\varepsilon)} \cdot \frac{1}{2(z_1-Rr_0^2)} - \frac{1}{\varepsilon R} \right]. \end{aligned} \quad (36)$$

Подставляя $z=0$ в (36), получим

$$\frac{\partial U_1(x, y)}{\partial n_1} = C_1 \frac{1}{R} \left[-\frac{2(1-\varepsilon)r_0^2}{(1+\varepsilon)^2} \cdot \frac{1}{2+r_0^2} - \frac{2r_0^2}{(1+\varepsilon)(2-r_0^2)} + \frac{2(\varepsilon-1)}{(1+\varepsilon)^2} + \frac{2}{(1+\varepsilon)} - \frac{2(1-\varepsilon)r_0^4}{(1+\varepsilon)(2-r_0^4)} - \frac{2(\varepsilon-1)r_0^2}{(1+\varepsilon)^2(2-r_0^2)} - \frac{1}{\varepsilon} \right], \quad (37)$$

где $\varepsilon_1 = 3$; $\varepsilon_2 = 4$; $\varepsilon = 0,75$.

Учитывая, что $r = 0,025$ мм, а толщина лаковой пленки намного меньше диаметра эмалевой проволоки, уравнение (37) упрощается, и его можно записать в виде

$$E_1 = \frac{C_1}{R} \left[-\frac{2(1-\varepsilon)r_0^2}{(1+\varepsilon)^2} \cdot \frac{1}{2+r_0^2} - \frac{2r_0^2}{(1+\varepsilon)(2-r_0^2)} - \frac{2(\varepsilon-1)}{(1+\varepsilon)^2} - \frac{1}{\varepsilon} \right]. \quad (38)$$

Подставляя $z = 0$; $\varepsilon_1 = 3$; $\varepsilon_2 = 4$; $\varepsilon = 0,75$; $U_0 = 1000$ В в (38), получим $R = 0,035$ мм (R-r), то есть толщину эмалевой изоляции.

Таким образом, получена требуемая толщина эмалевой изоляции в зависимости от напряжения и свойств применяемых лаков [5, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пешков И.Б.** Обмоточные провода. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
2. **Хачатрян Р.А., Мещанов Г.И.** Расчет режимов нагрева тончайшего провода в печах эмальагрегатов. – М., 1988.
3. **Берсон В.С., Хачатрян Р.А., Тумин И.М.** Инструмент и устройство для изготовления эмалированных проводов / Патент N3262519/07(04020).-1981.
4. **Хачатрян Р.А.** Определение оптимального числа проводов при эмалировании тончайших проводов в НТК. – Ташкент, 1980.
5. **Берсон В.Ц., Тумин И.М., Хачатрян Р.А.** Исследование возможности создания лаконосящих устройств с жесткими разъемами и калибрами высокоскоростных горизонтальных эмальагрегатов / Отчет НИР, рег. N8000443 ВНИИцентр., инв. NB925931. – М., 1983.
6. **Хачатрян Р.А.** и др. Исследование возможности получения цветных матовых покрытий на тончайших двухжильных эмальпроводах / Отчет Р.Г.0183,00,35881, инв. N 02830082410. – М., 1984.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 19.04.2004.

Ռ.Հ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԵՐԿՋԻՂ ԵՐԿՇԵՐՏ ՋՐԱԿԱՅՈՒՆ ՄԻԿՐՈԷՄԱԼԱԼԱՐԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Փոքր չափերի կապի գծերի համակարգի զարգացումը ուղղակիորեն կապված է երկջիղ, երկշերտ միկրոէմալալարերի ստեղծման հետ, որի համար անհրաժեշտ է նախօրոք որոշել լաքի ծածկույթի հաստությունը՝ կախված ջղերի միջև տրված էլեկտրական լարման մեծությունից և օգտագործվող լաքերի հատկություններից: Այս իսկ նպատակով մշակված է երկջիղ, երկշերտ, ջրակայուն միկրոէմալալարերի էլեկտրական հաշվարկների տեսությունը, որի հիման վրա որոշված է էմալապատ լարերի մեկուսացման հաստությունը՝ կախված էլեկտրական լարման մեծությունից և լարերի հատկություններից:

Առանցքային բառեր. երկջիղ լարեր, մեկուսիչ, լարում, լաք, ունակություն, էլեկտրական դաշտի լարվածություն:

R.H. KHACHATRYAN

DEVELOPMENT OF METHODS FOR ELECTRICAL CALCULATION OF TWO-STRAND RESISTANT MICROENAMEL WIRES

The development of small communication line system is directly connected with producing two-strand enamel wires of microdimensions. And a necessity arose for preliminary defining the thickness of lacquer coverings depending on wires of electric voltage and the properties of lacquer applied. The theory of electrical calculation is developed for defining the magnitude of electric voltage wires and properties of lacquer applied.

Keywords: Two-strand, isolation, lacquer, capacity, voltage of electric field.

Վ.Կ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ԳԼԱՆԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ԻՆՊՈԼԿՏԻՈՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՑԻ
ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Բերված է գլանային կառուցվածքի իմպուլսային մագնիսական ինդուկտիվ կոճերից կազմված բազմաստիճան ինդուկցիոն արագացուցչի հաշվարկի թվային մեթոդը՝ կատարված Maple 9.01 ծրագրային համակարգում:

Առանցքային բառեր. կենտրոնացված պարամետրերով էլեկտրամեխանիկական շղթա, ինդուկցիոն բազմաստիճան արագացուցիչ, փոխինդուկտիվության գործակից, դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ, Maple 9.01.

Ֆիզիկա-տեխնիկական հետազոտություններում և արտադրական պրոցեսում լայն տարածում են գտել ուժեղ իմպուլսային մագնիսական դաշտերը, որոնց շնորհիվ հնարավոր է ստանալ մեխանիկական մեծ ուժային ազդեցություններ և, որպես հետևանք, մետաղյա պինդ մարմինների արագացման երևույթը: Այդ համակարգերում էներգիայի աղբյուրը փոքր ներքին ինդուկտիվության ունակային կուտակիչներն են: Ընդ որում՝ նետվող մարմնի թռիչքի մեծ արագություններ ստանալու համար նպատակահարմար է կիրառել էլեկտրամագնիսական բազմաստիճան ինդուկցիոն արագացման սկզբունքը [1]:

Այս ասպարեզի աշխատանքներում բերված են բազմաստիճան գլանային կառուցվածքի ինդուկցիոն արագացուցիչների փորձնական հետազոտությունների վերջնական արդյունքները [1-3], որտեղ բացակայում են տվյալներ կատարված հաշվարկի սխեմայի վերաբերյալ կամ էլ մեկ աստիճանային արագացուցչի համակարգում բերված է թվային հաշվարկի ուղիղ խնդիրը [4]: Որոշ կարևոր դեպքերում անհրաժեշտ է լուծել բազմաստիճան ինդուկցիոն արագացուցչի հաշվարկի հակադարձ խնդիրը, որը և բերված է ներկայացվող աշխատանքում:

Ընդ որում՝ [4]-րդ աշխատանքում բերված փոխինդուկտիվության գործակցի հաշվարկի մոտարկման մեթոդը, մեր կողմից վերարտադրվելիս, ճշգրիտ արդյունքներ չի ստացվել, այդ պատճառով բերված է այդ գործակցի հաշվարկի ճշգրիտ արտահայտությունը:

Համակարգի նկարագիրը. Նկ. 1-ում պատկերված է գլանային կառուցվածքի բազմաստիճան իմպուլսային էլեկտրամագնիսական ինդուկցիոն արագացուցչի հաշվարկային սխեման: Դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը, որը բնութագրում է էլեկտրամեխանիկական անցողիկ երևույթը, երբ ունակային կուտակիչը լիցքաթափվում է գլանային կառուցվածքի ինդուկտորի վրա, որում գտնվում է նետվող մարմինը (շարժական ինդուկտիվ կոճը), ունի հետևյալ տեսքը.

$$\begin{cases} R_1 i_1(t) + (L_0 + L_1) \frac{\partial i_1(t)}{\partial t} + \frac{\partial(i_2(t)M(x))}{\partial t} = u(t), \\ R_2 i_2(t) + L_2 \frac{\partial i_2(t)}{\partial t} + \frac{\partial(i_1(t)M(x))}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial u(t)}{\partial t} = -\frac{i_1(t)}{C}, \quad \frac{\partial v(t)}{\partial t} = \frac{i_1(t)i_2(t)}{m} \frac{\partial M(x)}{\partial x}, \\ \frac{\partial x}{\partial t} = v(t), \quad x = x(t), \quad M = M(x), \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ R_1 -ը, R_2 -ը, L_0 -ը, L_1 -ը, L_2 -ը, C -ն, m -ը շղթայի էլեկտրականեմատիկ պարամետրերն են. համապատասխանաբար՝ ինդուկտորի շղթայի ակտիվ դիմադրությունը, նետվող մարմնի դիմադրությունը, ունակային կուտակիչի ներքին ինդուկտիվությունը, ինդուկտորի ինդուկտիվությունը, նետվող մարմնի ինդուկտիվությունը, ունակային կուտակիչի ունակությունը և նետվող մարմնի զանգվածը, իսկ $i_1(t)$ -ն, $i_2(t)$ -ն, $u(t)$ -ն, $v(t)$ -ն, $M(y)$ -ն, $x(t)$ -ն՝ հոսանքի ուժի ակնթարթային արժեքը ինդուկտոր-նետվող մարմնում, լարման ակնթարթային արժեքը ունակային կուտակիչի վրա, շարժման արագությունը, փոխինդուկտիվության գործակցը և տեղափոխությունը:

(1)-ի համար նախնական պայմաններ են.

$$\begin{cases} i_1(0) = 0, \quad i_2(0) = 0, \quad u(0) = u_0, \quad x(0) = x_0, \\ v(0) = \{0, v_1, v_2, \dots, v_n\} \end{cases} \Rightarrow t = 0: \quad (2)$$

Նետվող մարմնի սկզբնական արագության արժեքի բազմությունը համապատասխանում է արագացուցչի արագացման թե՛, որ աստիճանում է լուծվում խնդիրը:

(1) դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը համալարված (2) նախնական պայմաններով կլուծենք թվային մեթոդներով, դրա համար պետք է (1)-ում կատարել որոշակի ձևափոխություններ.

$$\frac{\partial(i(t)M(x))}{\partial t} = M(x) \frac{\partial i(t)}{\partial t} + i(t)v(t)\Phi(x), \quad \Phi(x) = \frac{\partial M(x)}{\partial x}, \quad (3)$$

որտեղ $\Phi(x)$ -ն փոխինդուկտիվության գործակցի փոփոխման արագությունն է ըստ տեղափոխման կոորդինատի:

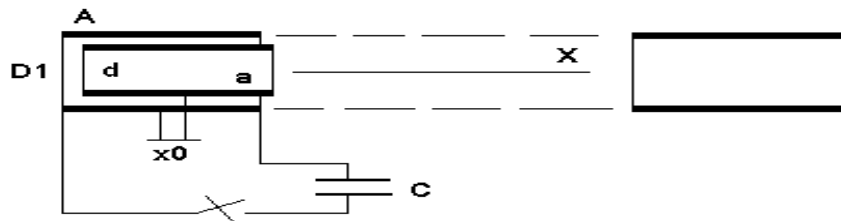
Համակարգը թվային մեթոդով լուծելու համար հարկավոր է անցնել անչափանի (հարաբերական) մեծությունների հետևյալ արտահայտությունների միջոցով.

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x}{D1}, \quad u' = \frac{u}{U_0}, \quad t' = \frac{t}{U_0 \sqrt{L_1 C}}, \quad L00' = \frac{L_0}{L_1}, \quad L01' = \frac{L_2}{L_1}, \\ M' = \frac{M}{L_1}, \quad R1' = \frac{R_1}{\sqrt{\frac{L_1}{C}}}, \quad R2' = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{L_1}{C}}}, \quad v' = \frac{v}{\frac{D1}{\sqrt{L_1 C}}}, \\ m' = \frac{m}{\frac{C^2 U_0^2 L_1}{D1^2}}, \quad \Phi(x)' = \left(\frac{D1}{L1} \right) \Phi(x), \quad i_{1,2}' = \frac{i_{1,2}}{U_0 \sqrt{\frac{C}{L_1}}} : \end{array} \right. \quad (4)$$

Կարևորագույն պարամետր է արագացուցչի օգտակար գործողության գործակիցը (օ.գ.գ.-ն), որը որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$\eta = \frac{\frac{m(v^2 - v_0^2)}{2}}{\frac{CU_0^2}{2}} = m'(v'^2 - v'^2_0), \quad (5)$$

որտեղ U_0 -ն ունակային կուտակիչի վրա լարման սկզբնական արժեքն է:



Նկ.1. Արագացուցչի կառուցվածքային պատկերը

Փոխինդուկտիվության գործակցի հաշվարկը. Գլանային կառուցվածքի ինդուկտոր-նետվող մարմին համակարգի փոխինդուկտիվության գործակցի ճշգրիտ արտահայտությունը բերված է [5]-ում և ունի հետևյալ տեսքը.

$$\left\{ \begin{aligned} M(x) &= \frac{\pi}{8} \mu_0 N_1 N_2 \frac{d^2}{A} \frac{q_2}{l_2} \left[1 - \frac{1}{8} \frac{D1^2}{l_2^2} \beta_2^2 \left(\xi_2 + \xi_4 \eta_2'' \beta_2^2 + \xi_6 \eta_4'' \beta_2^4 + \dots \right) \right] - \\ &- \frac{\pi}{8} \mu_0 N_1 N_2 \frac{d^2}{A} \frac{q_1}{l_1} \left[1 - \frac{1}{8} \frac{D1^2}{l_1^2} \beta_1^2 \left(\xi_2 + \xi_4 \eta_2' \beta_1^2 + \xi_6 \eta_4' \beta_1^4 + \dots \right) \right], \\ q_1 &= x - \frac{A}{2} \quad q_2 = x + \frac{A}{2}, \quad l_1 = \sqrt{\left(\frac{D1}{2}\right)^2 + q_1^2}, \quad l_2 = \sqrt{\left(\frac{D1}{2}\right)^2 + q_2^2}, \\ \beta_1 &= \frac{b}{l_1}, \quad \beta_2 = \frac{b}{l_2}, \quad b = \frac{1}{2} \sqrt{d^2 + a^2}, \\ \xi_2 &= 1 - \frac{7}{4} \left(\frac{d}{2b}\right)^2, \quad \xi_4 = 1 - \frac{9}{2} \left(\frac{d}{2b}\right)^2 + \frac{33}{8} \left(\frac{d}{2b}\right)^4, \\ \xi_6 &= 1 - \frac{33}{4} \left(\frac{d}{2b}\right)^2 + \frac{143}{8} \left(\frac{d}{2b}\right)^4 - \frac{715}{64} \left(\frac{d}{2b}\right)^6, \\ \eta_2'' &= 1 - \frac{7}{4} \left(\frac{D}{2l_2}\right)^2, \quad \eta_4'' = 1 - \frac{9}{2} \left(\frac{D}{2l_2}\right)^2 + \frac{33}{8} \left(\frac{D}{2l_2}\right)^2, \\ \eta_2' &= 1 - \frac{7}{4} \left(\frac{D}{2l_2}\right)^2, \quad \eta_4' = 1 - \frac{9}{2} \left(\frac{D}{2l_2}\right)^2 + \frac{33}{8} \left(\frac{D}{2l_2}\right)^2, \end{aligned} \right.$$

իսկ ինդուկտիվությունները որոշվում են հետևյալ կերպ.

$$\left\{ \begin{aligned} L_1 &= \frac{\mu_0}{3} N_1^2 D1 \left[\sqrt{\alpha_1^2 + 1} \left(K_1 + \frac{1 - \alpha_1^2}{\alpha_1^2} E_1 \right) - \frac{1}{\alpha_1^2} \right], \\ L_2 &= \frac{\mu_0}{3} N_2^2 d \left[\sqrt{\alpha_2^2 + 1} \left(K_2 + \frac{1 - \alpha_2^2}{\alpha_2^2} E_2 \right) - \frac{1}{\alpha_2^2} \right], \\ K_1 &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\partial \theta}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{1 + \left(\frac{A}{D1}\right)^2}}}, \quad E_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{1 + \left(\frac{A}{D1}\right)^2}} \partial \theta, \quad K_2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\partial \theta}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{1 + \left(\frac{a}{d}\right)^2}}}, \\ E_2 &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{1 + \left(\frac{a}{d}\right)^2}} \partial \theta, \quad \alpha_1 = \frac{A}{D1}, \quad \alpha_2 = \frac{a}{d}: \end{aligned} \right.$$

Բերված (1) և (4) հավասարումների համակարգը հնարավոր չէ հաշվարկել վերլուծական մեթոդներով, ուստի այն լուծենք թվային մեթոդներով, Maple 9.01 համակարգում, որտեղ դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման համար ընտրված է

Ռունգե-Կուրտ-Ֆելբերգի 4 և 5 կարգի մեթոդները՝ կախված փնտրվող մեծության արժեքի փոփոխման արագությունից:

Հաշվարկի արդյունքները բերված են նկ.2-ում: Ինպես երևում է, գոյություն ունի հարաբերական զանգվածի օպտիմալ արժեք, որի դեպքում օ.գ.գ.-ն առավելագույնն է ($m' = 0.1$): Օպտիմալ արժեքից փոքր և մեծ հարաբերական զանգվածների դեպքում օ.գ.գ.-ն փոքրանում է, որը պայմանավորված է նետվող մարմինը ինդուկտորից արագ դուրս թռչելու պատճառով (երբ ունակային կուտակիչը դեռ չի հասցրել ամբողջովին լիցքաթափվել), երբ զանգվածը փոքր է, և կինետիկ էներգիայի փոքրացմամբ, երբ զանգվածը մեծ է: Էլեկտրական դիմադրության ավելացումը փոքրացնում է օ.գ.գ.-ն, քանի որ այդ դեպքում մեծանում է ջերմային կորուստը: Սկզբնական արագության առկայությունը ընդհանուր դեպքում փոքրացնում է օ.գ.գ.-ն, որովհետև փոքրանում է այն ժամանակը, երբ նետվող մարմինը գտնվում է ինդուկտորի առաջացրած մագնիսական դաշտի ուժային ազդեցության տիրույթում: Այդ դեպքում, որպեսզի օ.գ.գ.-ն մեծացվի, անհրաժեշտ է, որ փոքրացվի ինդուկտոր-նետվող մարմին համակարգի միջնագծերի սկզբնական հեռավորությունը (նաև նրա բացասական արժեքի դեպքում)՝ x_0 -ն՝ նկ.1,2-ում:

Խնդրում հայտնի պարամետրերը. Խնդիրը վճռենք տրված պարամետրերով արագացուցչի համար, որում հայտնի են ինդուկտոր-նետվող մարմնի ինդուկտիվությունները և դիմադրությունները, նետվող մարմնի զանգվածը, երկրաչափական չափերը: Ընդունենք, օրինակ, որ

$$\begin{cases} D1 = 0.04 \square & A = 0.06 \square & d = 0.036 \square & a = 0.04 \square \\ N1 = 68, & N2 = 1, & \mu_0 = 4\pi 10^{-12} \square \square / \square & M = 0.01 \square q \\ S_0 = 2.3 \times 2.3 \square \square \square, & \delta = 4 \square \square \end{cases} \quad (6)$$

M, δ, S_0 -ը, համապատասխանաբար, նետվող մարմնի զանգվածը ու հատույթի պատերի հաստությունը և ինդուկտորի փաթույթի լարի հատույթի մակերեսն են:

Հաշվի առնելով (6)-ը, կարելի հաշվարկել ինդուկտորի և նետվող մարմնի (պղինձ) ակտիվ դիմադրությունները և ինդուկտիվությունները.

$$\begin{cases} R_1 \approx 0.03 \square \square \square & R_2 \approx 10^{-5} \square \square \square & R_1 / R_2 \approx 3000, \\ L_1 \approx 10^{-4} \square \square & L_2 \approx 2 \cdot 10^{-8} \square \square \end{cases} \quad (7)$$

Քանի որ բազմաստիճան ինդուկցիոն արագացուցչի տարբերակում մենք դիտարկել ենք հակադարձ խնդիրը, ապա պետք է տրված լինի նետվող մարմնի սկզբնական արագության բաշխվածությունը արագացուցչի արագացման աստիճանների միջև, /աղյուսակ 1/:

Աղյուսակ 1									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	75	110	150	180	210	240	260	280	305
u/v	u/v	u/v	u/v	u/v	u/v	u/v	u/v	u/v	u/v

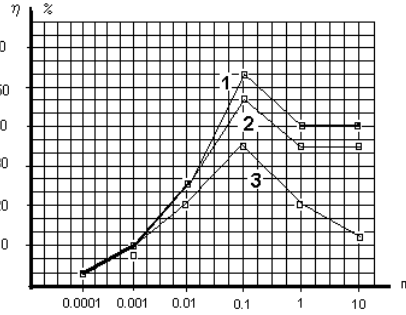
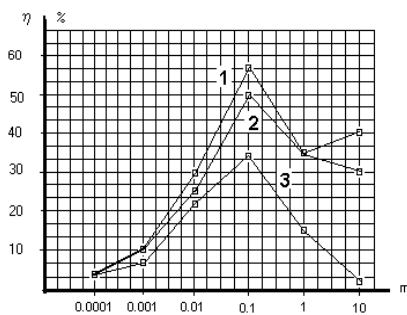
Հակադարձ խնդրի լուծման դեպքում, օգտվելով էլեկտրակինեմատիկ հարաբերական պարամետրերի օպտիմալ արժեքներից և ֆիքսելով նետվող

մարմնի սկզբնական արագությունը, հնարավոր է փոփոխել m', x_0', R' պարամետրերն այնպես, որպեսզի ստացվի վերջնական տրված արագության (որը հաջորդ աստիճանի սկզբնական արագությունն է) և առավելագույն օ.գ.գ-ի հնարավոր արժեքները:

Հաշվարկի վերջնական արդյունքները 9 աստիճանային արագացուցչի համար բերված են աղյուսակ 2-ում:

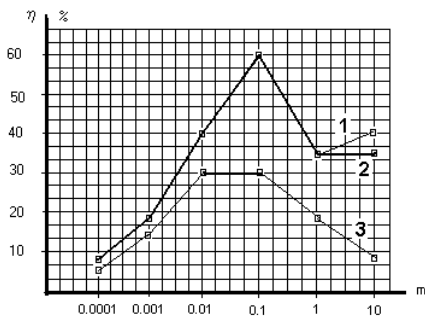
Աղյուսակ 2

N	V, մ/վ	C, մ/Ֆ	U0, Վ	I, Ա/բժ	Ec, Ջ	օ.գ.գ.%
1	75	234	1118	1768	146	18
2	110	234	945	1493	104	33
3	150	234	1056	1670	130.5	40
4	180	234	958	1516	107	41
5	210	234	1076	1701	135	41
6	240	234	1192	1884	166	37
7	260	234	1056	1670	130.5	35
8	280	234	1118	1768	146	32
9	305	234	1250	1976	183	30

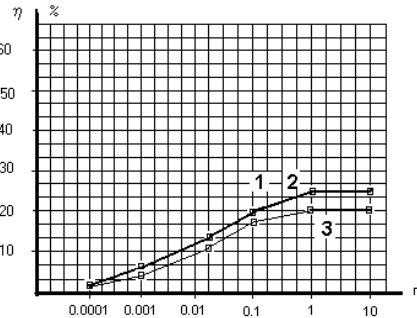


$$u.v'_0 = 0; x'_0 = 0,1$$

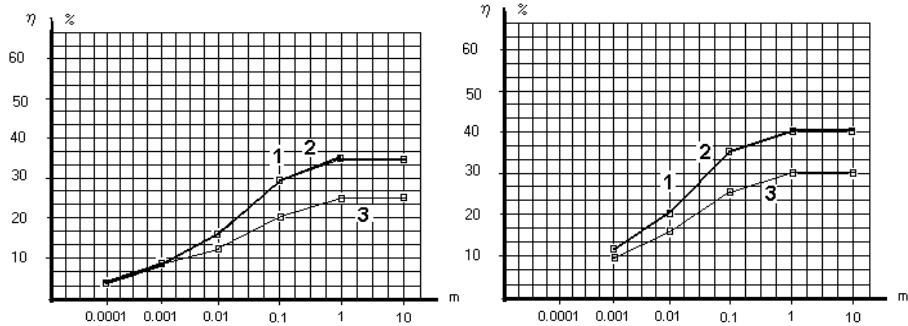
$$p.v'_0 = 0,1; x'_0 = 0,1$$



$$q.v'_0 = 0,1; x'_0 = 0$$



$$r.v'_0 = 1; x'_0 = 0,1$$



$$\text{է. } v'_0 = 1; x'_0 = 0$$

$$\text{զ. } v'_0 = 1; x'_0 = -0,1$$

Նկ.2. Օգտակար գործողության գործակցի կախվածությունը հարաբերական զանգվածից երբ՝

$$1 - R1' = 0; 2 - R1' = 0,01; 3 - R1' = 0,1$$

Եզրակացություն

Իմպուլսային ինդուկցիոն արագացուցչի խնդրում դիտարկվել է հակադարձ խնդիրը և կատարվել է գլանային կառուցվածքի բազմաստիճան արագացուցչի հաշվարկը թվային մեթոդով, Maple 9.01 ծրագրային համակարգում: Գրաֆիկորեն բերված հաշվարկի արդյունքներից ստացվել են խնդրում չափողականություն չունեցող պարամետրերի լավարկման արժեքները (երբ **օ.գ.զ**-ն առավելագույնն է), որոնք օգտագործվել են տրված պարամետրերով (10 գրամ մարմնին 300 մ/վ արագություն հաղորդող) 9 աստիճանային արագացուցչի խնդիրը լուծելու համար:

Բերված է նաև փոխինդուկտիվության գործակցի հաշվարկի ճշգրիտ արտահայտությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Kaye Ronald J.** Desing and performance of a multi-stage cylindrical reconnection launcher // IEEE transactions on magnetics. –1991. –V. 27, №1. –P. 596-600.
2. **Cnare Eugene C. A.** 10-stage reconnection demonstration launcher // IEEE transactions on magnetics. –1991. –V. 27, №1. –P. 644-646.
3. **Winder Melvin M.** WARP-10: A Numerical simulation model for the cylindrical reconnection launcher // IEEE transactions on magnetics. –1991. –V. 27, №1. –P. 305-308.
4. **Бондалетов В.Н., Иванов Е.И.** Исследование эффективности ускорения проводников в импульсном магнитном поле соленоида // ПМТФ. -1983.-№2. -С. 82-86.
5. **Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.** Расчет индуктивностей. –М.: Наука, 1986. –436 с.

ՀՊՀՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն՝ 20.06.2004:

В.К. КАЗАРЯН

**РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ С
ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КАТУШКАМИ**

Численным методом в системе Maple 9.01 произведен расчет импульсного многокаскадного электромагнитного индукционного ускорителя с цилиндрическими катушками.

Ключевые слова: электрическая цепь с сосредоточенными параметрами, индукционный многокаскадный ускоритель, коэффициент взаимоиנדуктивности, система дифференциальных уравнений, система Maple 9.01.

V.K.GHAZARYAN

CALCULATION OF PULSED ELECTROMAGNETIC PLANE COIL GUN

A calculation of pulsed electromagnetic cylindrical coil gun with a numerical method in Maple 9.01 is performed.

Keywords: electric circuit with concentrated parameters, inductive multi accelerator, self-inductance coefficient, system of differential equations, Maple 9.01 system.

Կ.Ջ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ, Դ.Ա. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ

**ՅՈԹՍԵԳՄԵՆՏԱՅԻՆ ԹՎԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ՑՈՒՑԻՉՆԵՐԻ ԿՈՂԻ ԿԵՐԱՎԱՓՈԽԻՉՆԵՐ
ԵՐԿՈՒԱԿԱՆ-ՏԱՄԱԿԱՆ 8421 ԿՈՂԻ**

Դիտարկված է յոթսեգմենտային կողը ուղիղ և հակադարձ 8421 կողի կերպափոխիչների մշակման հարցը: Բերված են ելքային ազդանշանների բանաձևերը և կերպափոխիչների սխեմաները:

Առանցքային բառեր. յոթսեգմենտային ցուցիչ, ուղիղ և հակադարձ 8421 կող, կողի կերպափոխիչ:

Յոթսեգմենտային թվանշանային ցուցիչները լայն տարածում են ստացել թվանշանային չափիչ սարքերում: Լայն տարածում են ստացել նաև երկտակտ ինտեգրման սկզբունքով աշխատող մուլտիմետրերը, որոնց մեծամասնությունում օգտագործվում է այդ սկզբունքով աշխատող անալոգաթվանշանային կերպափոխիչի (ԱԹԿ) միկրոսխեմա (KP572ПВ2А, ICL7107 և այլն), որի ելքը նախատեսված է յոթսեգմենտային լուսարձակող դիոդներով ցուցիչների կառավարման համար: Այդ միկրոսխեմաներն ապահովում են բարձր ճշգրտություն (3,5 տասական կարգի համար $N_m=1999$, կերպափոխման սխալը փոքր է 1 ց.կ.մ., բերված սխալը՝ 0,05%), որի շնորհիվ դրանք կարելի է օգտագործել նաև ինտեգրկոտուալ չափիչ սարքերում: Չափումների արդյունքների մշակման համար անհրաժեշտ է այդ ԱԹԿ-ի ելքային յոթսեգմենտային կողը, որը թվաբանական չէ, կերպափոխել երկուականի կամ երկուական-տասականի: Նկատի ունենալով, որ ներկայումս արտադրվում են յոթսեգմենտային լուսարձակող դիոդներով ցուցիչների կառավարման ինտեգրալային միկրոսխեմաներ (K514KД1, K514KД2 և այլն) երկուական-տասական 8421 մուտքային կողով, ապա չափումների արդյունքների մշակման հանգույցներում նպատակահարմար է օգտագործել երկուական-տասական 8421 կողը: Այս կողով հանման գործողությունների կատարումը հիմնականում իրականացվում է հակադարձ կողով, հետևաբար անհրաժեշտ է մշակել յոթսեգմենտային կողը ուղիղ և հակադարձ 8421 կողի կերպափոխիչներ:

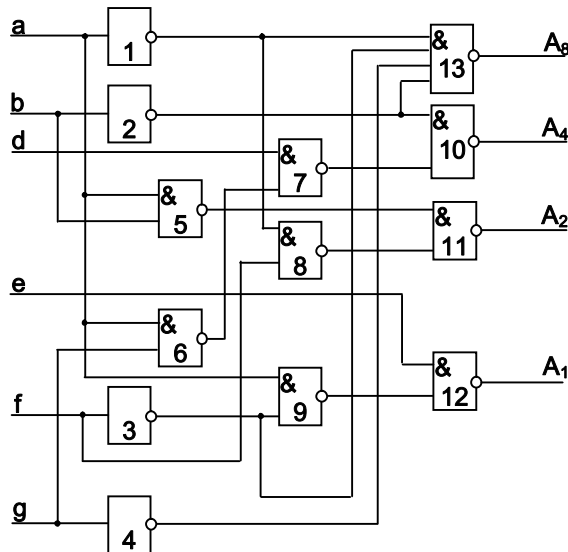
Յոթսեգմենտային կողը ուղիղ և հակադարձ 8421 կողի կերպափոխիչի սխեման մշակելու համար նպատակահարմար է օգտվել կերպափոխիչի աշխատանքի իսկության աղյուսակից: Աղյուսակում բերված են տրամաբանական “0” ակտիվ մակարդակով յոթսեգմենտային կողին համապատասխան 8421 ուղիղ և հակադարձ կողերը 0-ից 9 թվերի համար:

Ուղիղ 8421 կողի կշռային գործակիցներն արտահայտվում են յոթսեգմենտային կողի գործակիցների միջոցով հետևյալ բանաձևերով՝

$$A_1 = e(af), A_2 = (af)(ba), A_4 = b(d(ag)), A_8 = \bar{a} \bar{b} \bar{g} \bar{f}:$$

Թիվը	Յոթսեգմենտային կոդը							Ուղիղ 8421 կոդը				Հակադարձ 8421 կոդը			
	a	b	c	d	e	f	g	A ₈	A ₄	A ₂	A ₁	B ₈	B ₄	B ₂	B ₁
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0
4	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
7	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

Նկ. 1-ում պատկերված է ուղիղ 8421 կոդի ստացման սխեման յոթսեգմենտային կոդի գործակիցների միջոցով, որտեղ օգտագործվել են հետևյալ տիպերի ինտեգրալային միկրոսխեմաները K561ЛН2 (1, 2, 3, 4), K561ЛА7 (5, 6, 7, 8; 9, 10, 11, 12), K561ЛА8 (13):



Նկ. 1. Ուղիղ 8421 կոդի ստացման սխեման

Հակադարձ 8421 կոդի կշռային գործակիցները կարելի է արտահայտել յոթսեգմենտային կոդի գործակիցների միջոցով հետևյալ բանաձևերով՝

$$B_8 = \bar{a} \oplus \bar{g}, B_4 = \bar{\beta} \bar{\gamma} \bar{\theta}, B_2 = \bar{\delta} \bar{\varepsilon}, B_1 = \bar{e} \bar{\theta},$$

որտեղ՝ $\alpha = \bar{a} \bar{b} \bar{c} \bar{d}$; $\bar{\theta} = a \bar{f}$; $\bar{\varepsilon} = \bar{a} \bar{f}$; $\beta = \bar{a} \bar{f} \bar{g}$; $\gamma = b \bar{c} \bar{e}$; $\delta = b \bar{c} \bar{e}$:

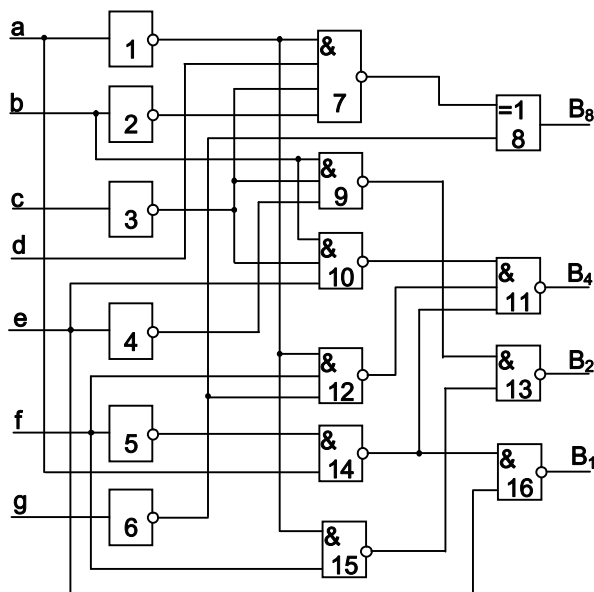
Նկ. 2-ում պատկերված է հակադարձ 8421 կոդի ստացման սխեման յոթսեզմենտային կոդի գործակիցների միջոցով, որտեղ օգտագործվել են հետևյալ տիպերի ինտեգրալային միկրոսխեմաները K561ЛН2 (1, 2, 3, 4, 5, 6), K561ЛА8 (7, 9), K561ЛП2 (8), K561ЛА9 (10, 11, 12), K561ЛА7 (13, 14, 15, 16)։

Շատ հաճախ անհրաժեշտ է լինում կատարել հանման գործողություն $Y=1000\alpha-N_x$ (որտեղ $\alpha=1, 2, \dots, 9$) բանաձևով։ Այս դեպքում N_x -ը ներկայացնելով հակադարձ կոդով, կարող ենք կատարել գումարման գործողություն։ Օրինակ, եթե $\alpha=1$, կստանանք՝

$$\begin{array}{r} [10^3] \rightarrow 0, \quad 0001 \quad 0000 \quad 0000 \quad 0000 \\ + [N_x]_C \rightarrow 1, \quad f_8 f_4 f_2 f_1 \quad e_8 e_4 e_2 e_1 \quad d_8 d_4 d_2 d_1 \quad c_8 c_4 c_2 c_1 \\ \hline \sum \quad 10, \quad F_8 F_4 F_2 F_1 \quad E_8 E_4 E_2 E_1 \quad D_8 D_4 D_2 D_1 \quad C_8 C_4 C_2 C_1 \end{array}$$

Եթե $N_x \leq 999$, ապա F -րդ կարգում կլինի 0-ի հակադարձ կոդը՝ 1001, որը գումարելով 10^3 թվի բարձր կարգի հետ, արդյունքում կստացվի $F \geq 10$ թվի կոդը, որին պետք է գումարվի 6-ի կոդը՝ 0110 [1]։ Հետևաբար գումարի F -րդ կարգում կստացվի 0000, իսկ նշանի կարգում՝ 10։ Նշանի բարձր կարգում առաջանում է գումարը ճշգրտող “1”, որը պետք է գումարվի $C_8 C_4 C_2 C_1$ կարգին [1]։

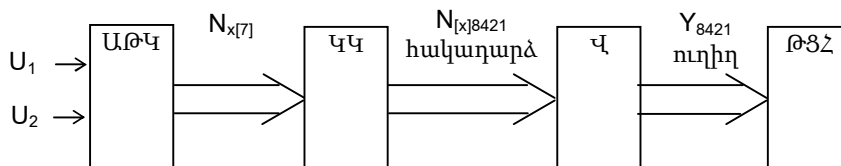
Արդյունքում կստացվի դրական թվի կոդը, որի ցածր կարգին պետք է գումարել նշանի կարգում առաջացող տեղափոխման միավորը, իսկ F -րդ կարգում ստացվում է $F_x \geq 10$ թվի կոդը, որին պետք է գումարվի 6-ի կոդը։ Հետևաբար կստացվի $Y=1000-N_x$ դրական թվի կոդը։



Նկ. 2. Հակադարձ 8421 կոդի ստացման սխեման

Եթե կատարվող գործողության թույլատրելի սխալը մեծ է կամ հավասար ցածր կարգի միավորին, ապա ճշգրտող գործողությունը կարելի է չկատարել, և տարբերության արդյունքը ստանալու համար պետք է N_x -ի հակադարձ կոդը դիտել որպես Y -ի ուղիղ կոդ: Հետևաբար նկ. 2 սխեմայով կարելի է ստանալ $Y=1000-N_x$ թվի յուրաքանչյուր տասական կարգի 8421 ուղիղ կոդը:

Օրինակ, ունակային կերպափոխիչներով խոնավության թվային չափիչ սարքում ունակության ΔC փոփոխության չափման համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը [2]՝ $0,5U_1/U_2=1-\Delta C/C_0$, որտեղից, եթե $C_0=2000$ μF , կստանանք՝ $\Delta C=2000-1000U_1/U_2$:



Նկ. 3. ΔC -ի չափման բլոկ-սխեման

Երկտակտ ինտեգրումով ԱԹԿ-ով չափելով U_1/U_2 լարումների հարաբերությունը՝ $N_x=10^3U_1/U_2$ և նկատի ունենալով, որ $\Delta C < 200$ μF , կստանանք՝ $1800 < N_x < 2000$: Վերը նշվածի հիման վրա կատարելով N_x -ի չափում և կերպափոխելով ԱԹԿ-ի ելքային յոթսեգմենտային կոդը հակադարձ 8421 կոդի՝ կարող ենք դիտել այն որպես ΔC -ի 8421 ուղիղ կոդ: ΔC -ի չափման բլոկ-սխեման բերված է նկ. 3-ում, որտեղ ԿԿ-ն յոթսեգմենտային կոդի կերպափոխիչն է 8421 հակադարձ կոդի, իսկ Վ-ն 8421 ուղիղ կոդի կերպափոխիչն է յոթսեգմենտային ցուցիչների կառավարման ազդանշանների:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Соловьев Г.Н. Арифметические устройства ЭВМ. - М.: Энергия, 1978. -176 с.
2. Мирзабекян К. Устройство для измерения влажности керамических материалов // Сб. мат. год. научной конф. ГИУА. - 2005. - Т.2. - С. 626 - 628.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.12.2005:

К.Д. МИРЗАБЕКЯН, Д.А. ШАХКАМЯН

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЕМИСЕГМЕНТНОГО ЦИФРОВОГО КОДА В ДВОИЧНО-ДЕСЯТИЧНЫЙ КОД 8421

Рассмотрены вопросы построения преобразователей семисегментного цифрового кода в прямой и обратный двоично-десятичный код 8421. Приведены формулы выходных сигналов и логические схемы преобразователей.

Ключевые слова: семисегментный индикатор, прямой и обратный код 8421, код преобразователя.

K.J. MIRZABEKYAN, D.A. SHAGHGAMYAN

SEVEN-SEGMENT CONVERTERS TO BINARY DECIMAL CODE (8421)

The problems of constructing seven-segment to direct and inverse binary decimal code (8421) converter design principles are considered. Formulas of output signals and logical circuits of converters are proposed.

Keywords: seven-segment indicators, direct and inverse code 8421, code transducer.

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՂՈՒԼՅԱՆ, Վ.Ա. ՄԱՆԱՍՅԱՆ,
Հ.Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ, Մ.Վ. ԱԴԻԲԵԿՅԱՆ, Ա.Ա. ՄԻՐՁՈՅԱՆ

ՄԵՅՍՄԻԿԱԿԱՆ ՎՏԱՆԳԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԻՈՆՈԼՈՐՏԻ ՌԻԴԱՀԱՅԱՑ ԶՈՆԴԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Դիտարկված են սեյսմիկ վտանգի գնահատման նախանշանների ուսումնասիրման $\lambda=4,2$ u ալիքի երկարության, իոնոլորտի ուղղահայաց զոնդավորման համակարգի կառուցվածքը և տեխնիկական բնութագրերը, ինչպես նաև ռադիոաստղագիտական դիտումների ծրագիրն ու համակարգի տրամաչափարկման եղանակը: Դիտման արդյունքների վերլուծությունը հաստատել է $M \geq 4$ մագնիտությամբ երկրաշարժերի նախնական շրջանի և իոնոլորտի կողմից բնական կոսմիկական աղբյուրների ռադիոճառագայթումների կլանման միջև կոռելյացիայի առկայությունը:

Առանցքային բառեր. ալեհավաք, ռադիոճառագայթում, իոնոլորտ, սեյսմիկ վտանգ:

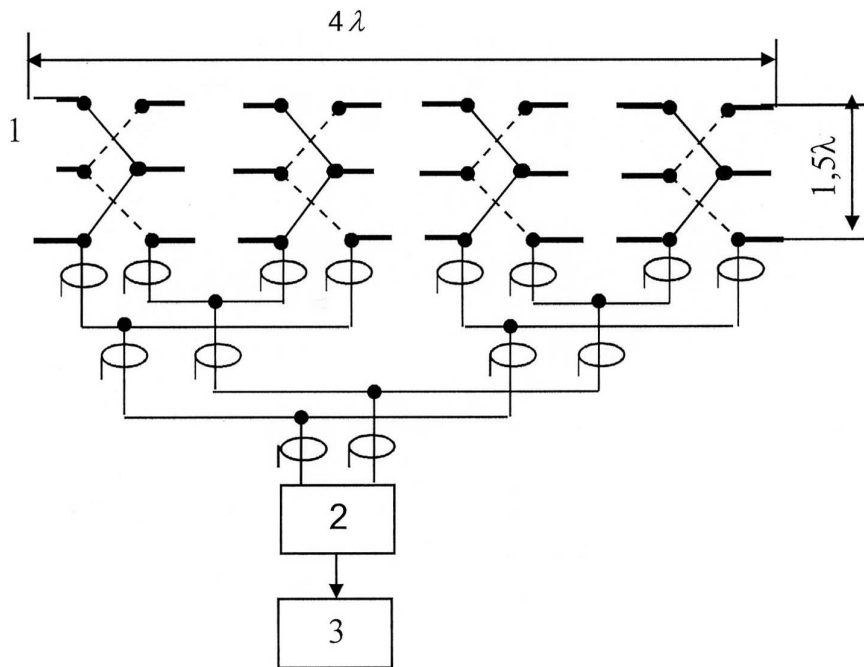
Սեյսմիկ վտանգի գնահատումն իրականացվում է երկրաշարժերի էլեկտրամագնիսական, երկրամագնիսական, իոնոլորտային նախանշանների անընդհատ ուսումնասիրման հիման վրա: Առաջարկվել են իոնոլորտի գրգռման մի շարք մոդելներ, որոնցում սեյսմակտիվ գոտիներում երկրաշարժի նախապատրաստման փուլում գրգռումը տեղի է ունենում անոմալ աճող Լիթոսֆերա-Իոնոսֆերա փոխազդեցությունների արդյունքում [1-4]:

Ի տարբերություն թեք զոնդավորման, ռադիոաստղագիտական եղանակով իոնոլորտի ուղղահայաց զոնդավորումն ունի մի շարք առանձնահատկություններ.

- միարժեքորեն ընդգրկում է երկրաշարժի նախապատրաստման գոտին,
- երկրաշարժի նախապատրաստման փուլում բնութագրում է իոնոլորտի բոլոր շերտերով տեղի ունեցող փոփոխությունները,
- բարձր է զգայուն ռադիոդիտակի միջոցով ստացվող տեղեկատվության աստիճանը:

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտը Սեյսմիկ Պաշտպանության Ազգային Ծառայության հետ համատեղ իրականացնում է երկրաշարժի նախապատրաստական փուլում երկրի իոնոլորտի ֆիզիկական բնութագրերի և սեյսմիկական երևույթների միջև կապի հաստատման գիտահետազոտական աշխատանքներ: Այդ նպատակով ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ-ի Սարավանդի փորձադաշտում և ԼՂՀ-ի Շուշի քաղաքում նախագծվել, կառուցվել և տեղակայվել են $\lambda=4,2$ u ալիքի երկարությամբ տիրույթի ռադիոդիտակներ, որոնցով իրականացվում են Գալակտիկական ֆոնի և մի շարք կետային կոսմիկական ռադիոաղբյուրների տեսական դիտումներ: Ստորև բերվում է ռադիոդիտակի (ալեհավաք-ռադիոմետր), դիտումների ծրագրի և նախնական արդյունքների վերլուծության հակիրճ շարադրանքը:

Ռադիոդիտակ: Ռադիոդիտակի ալեհավաքը $4\lambda \times 1,5\lambda$ զծային չափերի ամբողջապատույտ ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$, $0^\circ < A_3 < 360^\circ$) հարթ «հայելի» է՝ բաղկացած տասներկու համափուլ զրգովող ալիքային տատանակներից (նկ.1): Յուրաքանչյուր սյան երեք տատանակները միացված են երկհաղորդալարերով, իսկ սյուները՝ ուղղահայաց երկարությամբ մալուխներով: Ալեհավաքի ելքը սիմետրիկացնող հանգույցի միջոցով տրվում է ռադիոմետրին: Առանձին տատանակների ալիքային դիմադրությունները ($R_{\text{ալ}} \approx 900 \text{ Ohm}$) հաշվարկված են այնպես, որ նրանց սնուցումը լինի հնարավորինս պարզ՝ առանց դիմադրությունների համաձայնեցման միջանկյալ հանգույցների: Տատանակների համահավասար բաշխվածությունը հայելու մակերևույթին էապես փոքրացնում է ուղղվածության դիագրամի՝ աշխատանքի ընթացքում ծագող մեխանիկական ճկումներով պայմանավորված փոփոխությունները, ինչը շատ կարևոր է փուլային փոխանջատման եղանակով աշխատելիս:



Նկ.1. Ալեհավաքի կառուցվածքային սխեման.
1 - ալեհավաք, 2 - սիմետրիկացնող հանգույց, 3 - ռադիոմետր

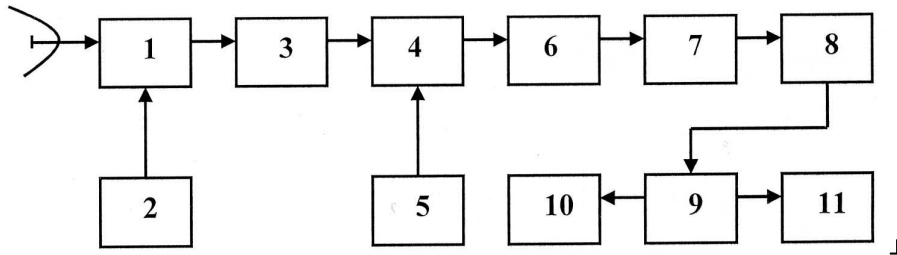
Գալակտիկական ֆոնային ռադիոճառագայթման մակարդակի վրա թույլ, կետային կոսմիկական աղբյուրների ռադիոճառագայթման գրանցման նպատակով հիմնական հայելուց 15λ հեռավորության վրա արևելք-արևմուտք ուղղությամբ տեղադրվել է երեք տատանակից բաղկացած փոքր հայելի (հիմնական հայելու մեկ սյունը):

Հայելու բնութագրերը չափվել են ռադիոաստղագիտական եղանակով, «Կասիոպեա Ա» և «Կարապ Ա» ռադիոաղբյուրների միջոցով, որոնց ճառագայթման հոսքի խտությունները բավականին ճշգրիտ հայտնի են: Ուղղակի ծագմամբ և

հակամաք ուղղվածության դիագրամի լայնություններն ստացվել են՝ $\theta_{3\text{HF}}=15^\circ$, $\varphi_{3\text{HF}}=40^\circ$, չափված արդյունավետ մակերեսը՝ $A_{\text{էֆ}}=50 \text{ մ}^2$:

Ռադիոմետրի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 2-ում: Այն $f=72 \text{ ՄՀg}$ հաճախության $\Delta f=400 \text{ կՀg}$ թողարկման շերտով, բարձրհաճախային ուժեղարարային մուտքով ուղիղ ձևափոխման սուպերհետերոդինային համակարգ է:

Ռադիոխանգարումներից խուսանավելու նպատակով նախատեսված է աշխատանքային հաճախության ճոճք՝ 1 ՄՀg սահմաններում: Մեծ ինտենսիվությամբ ռադիոխանգարումների և հետերոդինի հզորության անցանկալի ազդեցության նվազեցման նպատակով մշակվել և պատրաստվել է խորանարդային վոլտ-ամպերային բնութագրով բալանսային խառնիչ:



Նկ. 2. Ռադիոմետրի կառուցվածքային սխեման.

1 - ալեհավաքային փոխանջատիչ, 2 - ադմուկի գներատոր, 3 - բարձր հաճախության ուժեղարար, 4 - խառնիչ, 5 - հետերոդին, 6 - միջակա հաճախությունների ուժեղարար, 7 - դետեկտոր, 8 - հաստատուն հոսանքի ուժեղարար, 9 - կուտակիչ, 10 - համակարգիչ, 11 - ինքնագիր

Նման բնութագրով խառնիչում ձևափոխված ազդանշանը կախված է ($f_{\text{ազ}}-2f_{\text{հ}}$)-ից, որտեղ $f_{\text{ազ}}$ -ը և $f_{\text{հ}}$ -ն ընդունվող ազդանշանի և հետերոդինի հաճախություններն են: Հետերոդինի հաճախության՝ ազդանշանի հաճախությունից երկու անգամ փոքր լինելու փաստը խիստ նվազեցնում է հետերոդինի ճառագայթման անցանկալի ազդեցությունը ազդանշանի ընդունման վրա: Ռադիոմետրի ուժեղացման գործակիցը՝ $G \approx 70 \text{ դБ}$, իսկ ադմուկի գործակիցը՝ $F < 2,5$: Կախված դիտումների ծրագրից, ռադիոմետրը կարող է աշխատել կոմպենսացիոն, լայնութա-մոդուլյացիոն և փուլա-մոդուլյացիոն ռեժիմներում:

Դիտումների ծրագիրն ու մեթոդները: Դիտման տիրույթի ընտրությունը: Դիտումների նպատակով ընտրվել է երկնոլորտի պայծառ ռադիոաղբյուրների, «Կարապ Ա» (ռադիոգալակտիկա) և «Կասիոպեա Ա» (Գերնորի մնացորդ)-ի հարակից տիրույթը: Նշված տիրույթի ընտրությունը պայմանավորված է նրանով, որ այստեղ բավականին ինտենսիվ է Գալակտիկական ֆոնային ռադիոճառագայթումը և, որ պակաս կարևոր չէ, վերոհիշյալ դիսկրետ ռադիոաղբյուրների կուլմինացիան տեղի է ունենում դիտման վայրի զենիթին մոտ, ուղղակի ծագմամբ (ամռանը) և հակումով (ձմռանը) Արեգակից բավականին հեռու: Դիտումներն ամենօրյա են, իննժամյա տևողությամբ, աղբյուրի ուղղակի ծագման $17\text{h}3\text{m} \leq \alpha \leq 0\text{h}26\text{h}30\text{m}$ միջակայքում:

Ռադիոճառագայթման գրանցումը: Գալակտիկական ֆոնի, «Կասիոպեա Ա», և «Կարապ Ա» դիսկրետ աղբյուրների ռադիոճառագայթումների համատեղ գրանցումը (Կելվինի ջերմաստիճանային սանդղակով) կատարվում է թե՛ անալոգային տեսքով՝ КСН-4 ավտոմատ ինքնագրի ժապավենի վրա, թե՛ չափված հզորությունների, ժամանակից կախված թվային շարքի տեսքով՝ համակարգչի հիշողության մեջ: Գրանցված արդյունքները հետագա մշակման նպատակով փոխանցվում են ՌՖԷԻ և Սեյսմիկ Պաշտպանության Ազգային Ծառայություն:

Ռադիոազդանշանի հետ համատեղ գրանցվում են նաև աղմկային գեներատորից տրվող տրամաչափարկման չափանմուշային (էտալոնային) հզորությունն (Tk) ու տեղական ժամանակի պարբերական նշումները:

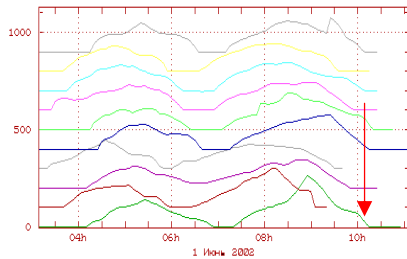
Ռադիոազդանշանի հզորության տրամաչափարկում: Տիեզերական ռադիոաղբյուրների ճառագայթման հզորության տրամաչափարկումը, նկատի ունենալով աշխատանքի նպատակը, անչափ կարևոր խնդիր է: Ռադիոաստղագիտական դիտումների դեպքում օգտակար ազդանշանը կետային ռադիոաղբյուրի ճառագայթումն է, որը հստակ առանձնանում է հաշվարկային մակարդակ հանդիսացող Գալակտիկական ֆոնի վրա: Մեր դեպքում և՛ գալակտիկական ֆոնը, և՛ դիսկրետ աղբյուրի ճառագայթումը տարբեր հզորությամբ օգտակար ազդանշաններն են, որոնք պետք է գրանցել միաժամանակ:

Դիտման ցիկլի տևողության պատճառով ($\approx$ 9 ժամ) թե՛ շրջակա միջավայրի ֆիզիկական ջերմաստիճանը (T^0), թե՛ այլ բնական հենակետային ռադիոճառագայթում որպես էտալոն դառնում են անարդյունավետ: Օպտիմալ տրամաչափարկման նպատակով մշակվել և պատրաստվել է երկմակարդակ էտալոնային աղմուկի գեներատոր, որի ելքային հզորության առաջին մակարդակը համընկնում է երկնային տրված տիրույթի ֆոնային ճառագայթման ամենափոքր ջերմաստիճանի հետ և համարվում հաշվարկի միջանկյալ մակարդակ: Աղմուկի գեներատորի երկրորդ ելքի մակարդակն ընտրվում է՝ չափվող ազդանշանի մեծությունից կախված:

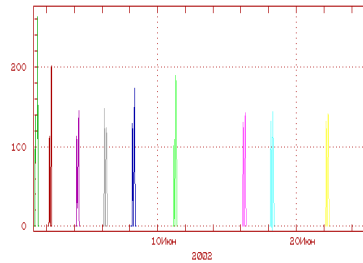
Հետազոտությունների արդյունքները և դրանց մեկնաբանությունը: Դիտման արդյունքների մշակման գրաֆիկական պատկերները բերված են նկ. 3.8-ում: Նկ. 3-4-ում պատկերված են «Կարապ Ա» և «Կասիոպեա Ա» դիսկրետ կետային աղբյուրների իոնոսֆերայի շերտերում կլանված հզորությունների արժեքների աստիճանական նվազումը և ժամանակային շարքի պատկերը (մոտարկումների Սոբոլևի մեթոդ)՝ օրական դիտումների ընթացքում, Համադանի (Իրան, 22.06.2002թ. $M \approx 6,5$) երկրաշարժից անմիջապես առաջ: Նկ. 5.7-ում պատկերված են «Կարապ Ա» և «Կասիոպեա Ա» ռադիոաղբյուրների ժամանակային շարքի պատկերները Բինգյուլի (Թուրքիա, 01.05.2003, $M \approx 6,4$) և Էրզրումի (Թուրքիա, 28.03.20 $M \approx 5,4$) » երկրաշարժերից առաջ: Նկ. 6.8-ում բերված են Բինգյուլի և Էրզրումի երկրաշարժերից 3 օր առաջ «Կարապ Ա» և «Կասիոպեա Ա» դիսկրետ ռադիոաղբյուրների, ալեհավաքի ուղղվածության դիագրամով անցման կորերի անոմալ տեսքերը:

Ուժեղ երկրաշարժերի նախապատրաստման դեպքում սեյսմոակտիվ գոտիներում ձևավորվում է առաձգական լարվածության ուժային դաշտ, որը երկրաշարժի նախապատրաստման գոտում տարբեր լիցքավորված, բաժանված տիրույթների (ԼՖՏ) վրա թողնում է կողմնորոշիչ ազդեցություն: Ռադիոաստղագիտական եղանակով իոնոսֆերայի ուղղահայաց գոնդավորումը հնարավորություն է ընձեռում

բացահայտելու երկրաշարժերի նախապատրաստումը: $M \geq 4$ մագնիտուդով երկրաշարժերի նախապատրաստման պրոցեսին նախորդում է գրգռված իոնոլորտում ռադիոալիքի կլանում:

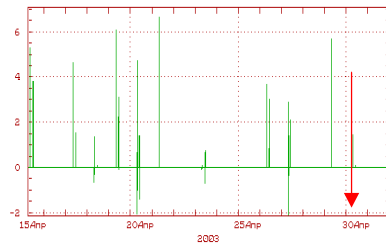


Նկ. 3

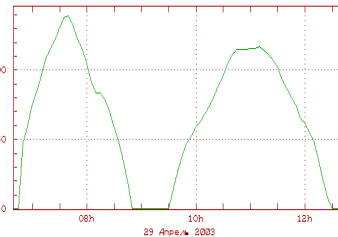


Նկ. 4

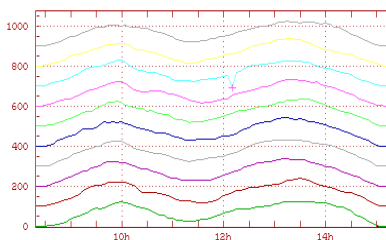
Հունիսի 27
Հունիսի 25
Հունիսի 22
Հունիսի 18
Հունիսի 16
Հունիսի 11
Հունիսի 8
Հունիսի 6
Հունիսի 2
Հունիսի 1



Նկ. 5

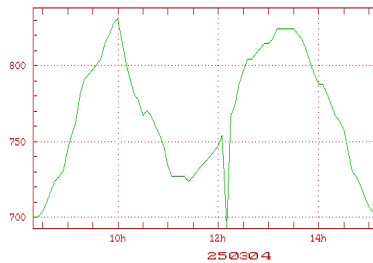


Նկ. 6



Նկ. 7

Մարտ 29
Մարտ 27
Մարտ 25
Մարտ 22
Մարտ 20
Մարտ 18
Մարտ 16
Մարտ 15
Մարտ 13
Մարտ 11



Նկ. 8

Եզրակացություն: Նկ. 3 - 8-ում ներկայացված արդյունքները հաստատում են $M \geq 4$ մագնիտուդայով երկրաշարժերի նախապատրաստման փուլի և գրգռված իոնոլորտում կետային կոսմիկական աղբյուրի ռադիոճառագայթման կլանման միջև կապը:

Հաստատված կապը բացատրվում է գրգռված իոնոլորտի ռադիոթափանցելիության վատացմամբ, ինչը պայմանավորված է երկրաշարժի նախապատրաստման գոտում դեֆորմացված լեռնային ապարների էլեկտրամագնիսական ճառագայթումով:

Ստացված հուսադրող արդյունքները հիմնավորում են սեյսմո-իոնոլորտային կապերի հետագա ուսումնասիրման անհրաժեշտությունը և ուղղահայաց զոնդավորման ռադիոաստղագիտական եղանակի նպատակահարմարությունը: Հարկ է նշել, որ կոսմիկական դիսկրետ աղբյուրների ռադիոճառագայթումների՝ փուլային չափումներով պայմանավորված տեղեկատվական ծավալի մեծացման նպատակով (սեյսմիկ ալիքների տարածման ուղղություն, արագություն) հեռանկարային է դիտման կայանների միավորումը միասնական ինտերֆերենցիոն համակարգում և դիտումների իրականացումը միաժամանակ մի քանի ռադիոհաճախություններում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Gokhberg M. B., Gufeld I.L. and Marchenko V.D.** (1987). Study of natural ang, aetificial electromagnetic field excitation by the sources of seismic // Izv. AN SSSR, Fizika Zemli. – 1957. - 2 . – P. 17-24.
2. **Воинов В.В.** и др. Эффекты в ионосфере и атмосфере перед Спитакским землетрясением 7 декабря 1988г. // Физика земли. – 1992. - N3. - С. 96-101.
3. **Gufeld I.L., Rozhnoi A.A., Tiumentsev S.N., Sherstiuk S.T. and Yamplosky V.S.** Disturbance of radio wave field prioie to the Roudbar and Racha carthquakes // Izv. AN SSSR, Fizika Zemli. – 1992. - N3.- P. 102-106.
4. **Баласанян С.Ю.** Динамическая геоэлектрика.- Новосибирск: Наука, 1990.- 232 с.

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և Էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 24.12.2005:

**Р. М. МАРТИРОСЯН, А. Г. ГУЛЯН, В. А. САНАМЯН, Г. А. ПИРУМЯН,
М.В. АДИБЕКЯН, А.А. МИРЗОЯН
СИСТЕМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ
ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ**

Рассмотрены структура и технические характеристики системы вертикального зондирования ионосферы на длине волны $\lambda = 4,2$ м с целью исследования оценки симптомов сейсмической опасности, а также программа радиоастрономических наблюдений и способ калибровки системы. Анализ результатов наблюдений подтвердил корреляцию между сейсмическими явлениями и поглощением ионосферой радиоизлучения природных космических источников в период подготовки землетрясений магнитудой $M \geq 4$.

Ключевые слова: антенна, радиация, ионосфера, сейсмическая опасность.

**R.M. MARTIROSSYAN, A.G. GOULYAN, V.A. SANAMYAN, H.A. PIROUMYAN,
M. V. ADIBEKYAN, A. A. MIRSOYAN
REMOTE SENSING SYSTEM OF IONOSPHERE FOR ASSESSMENT
OF SEISMIC RISKS**

Structure and technical characteristics of the ionosphere remote sensing system are considered. The system "looks" into zenith and operates at a wavelength $\lambda = 4.2$ m. Its objective is to assess the symptoms of seismic activity. The program of radio astronomic surveillance and methods of system calibration are discussed. Analysis of observation data has confirmed the existence of correlation between the seismic events and absorption coefficient of ionosphere for the emission of celestial radio sources in the period preceeding the earthquakes with magnitude $M \geq 4$.

Keywords: antenna, radiation, ionosphere, seismic hazard.

G.SH. SHMAVONYAN

BROADBAND TUNING IN OPTICAL COMMUNICATION BAND USING FABRY-PEROT LASER DIODES

Using proper quantum-well structure, carriers distribute over a broad bandwidth, suppressing self-oscillation of uncoated Fabry-Perot laser diodes, but still providing gain. Then broadband tuning over 100nm is achieved using external feedback tunable at different wavelengths.

Keywords: optical communication band, broadband, tuning, Fabry-Perot laser diode.

1. Introduction. Semiconductor optical amplifiers (SOAs) have important applications for optical communication. They could be used for optical switch, wavelength conversion, signal amplification, and gain material in wavelength-tunable lasers. Conventional SOAs for optical communication usually have bandwidth around 50 nm, which is much narrower than the low-loss window of optical fiber (covering nearly from 1200 nm to 1600 nm with the loss less than 0.5 dB/km. [1]) Their narrow bandwidth makes the implementation of optical communication systems complicated and costly. Thus, it is highly desired to expand the bandwidth of SOAs. Quantum-well (QW) engineering like multiple quantized states or nonidentical multiple QWs is used for such purposes [2 - 4]. To realize the broadband purpose, the elimination of resonance in the Fabry-Perot cavity is also important. In the past, anti-reflection (AR)-coated or tilted facets were used for such purpose. [5] In this work, we discover that, as the spectrum is broad, the carriers distribute over a broad bandwidth, reducing the gain within a narrow spectral range. Then the uncoated facets are sufficient to eliminate resonance of the Fabry-Perot laser diodes (LDs), while the devices still have the gain. Thus the uncoated Fabry-Perot LD can work as broadband SOA. As external feedback is provided at a certain wavelength, this device can oscillate. Broadband tuning is then achieved, as the feedback wavelength varies. The experiment shows that the broadband characteristics give the uncoated LDs a large regime of operation current without the concern of self-oscillation.

3. Quantum-well structure for broadband purpose. The designed quantum-well structure for broadband purpose is shown in Fig. 1. It has two $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ QWs near the n-cladding layer and three $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ QWs near the p-cladding layer, all bounded by wide $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.3}\text{P}_{0.7}$ barriers. The QW structure is grown using MOCVD. Fabry-Perot LDs with 3 μm wide ridge waveguide are fabricated on those substrates using typical processing techniques. Devices having lengths of 300 μm , 600 μm , and 900 μm are fabricated. The threshold currents for 900 μm and 600 μm devices are 20 mA and 50 mA, respectively. For 300 μm devices, the threshold

current is more than 200 *mA*. According to the threshold condition for Fabry-Perot LDs, the threshold gain per unit length increases, as the device length decreases because the mirror loss shared by unit length increases, as indicated by the following formula

$$\Gamma g_{th} = \frac{1}{L} \ln\left(\frac{1}{R}\right) + \alpha_{int} ,$$

where L is the device length and α_{int} is the internal loss. Therefore, the 300 μm device needs more injection current or stronger feedback to achieve the lasing condition, giving possibility of tuning using external feedback.

Fig. 2 shows the spectra of the 300 μm LDs before lasing. Because of no oscillation, the spectra are very broad. The spectral width is in general more than 100 *nm*. Although our past study showed [6] that even broader spectrum could be obtained as the injection current increased. However, the reflection of the uncoated facets can still lead to oscillation at very large oscillation, so further broadening of spectrum is not possible without additional elimination of facet reflection.

3. Widely tunable semiconductor laser. The fabricated 300 μm LDs are used in the external-cavity configuration. Tuning is achieved by rotating the 600 *lines/mm* and Au-coated grating. Although the uncoated LDs without external feedback show no oscillation, the feedback from the grating is sufficient to cause lasing. Fig. 3 shows the threshold current vs. the lasing wavelength. The tuning behavior corresponds to the emission pretty well. The minimum threshold current is only 48 *mA*. With stronger feedback from external mirror, the threshold could be reduced, as indicated by the low threshold current of the 900- μm LDs. For operation current less than 200 *mA*, the laser is tunable from 1400 *nm* to 1508 *nm*, over 100 *nm*. Broader tuning range should be possible using a shorter LD for the gain medium in the external-cavity configuration. The tuning range can also be changed with new designs of MQW structures. The broadband tuning range indicates that almost the entire emission spectrum could serve as the gain for laser oscillation and so it should also be useful for amplification purpose. This experiment shows that the uncoated Fabry-Perot LDs before lasing can effectively serve as SOA for light amplification purpose. The broadband characteristics give the LDs without AR-coating a large regime of operation current without the concern of self-oscillation.

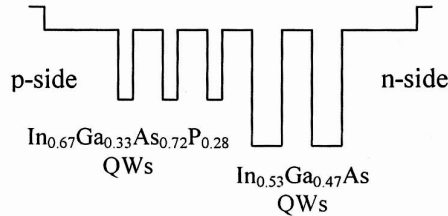


Fig. 1. The schematic QW structure for broadband purpose

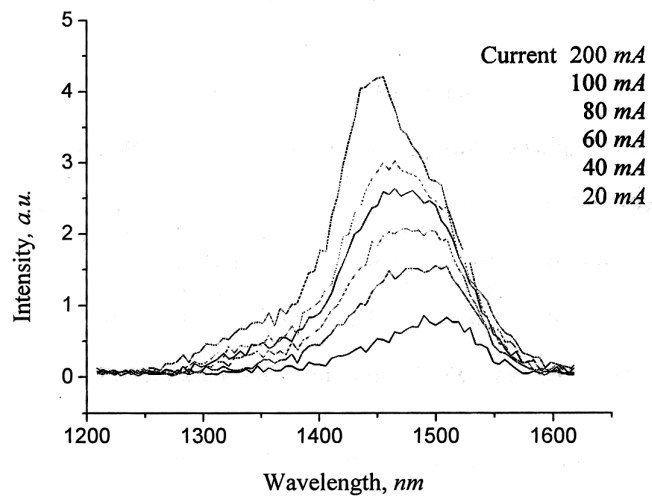


Fig. 2. The emission spectra of 300- μ m LDs at different injection currents before lasing

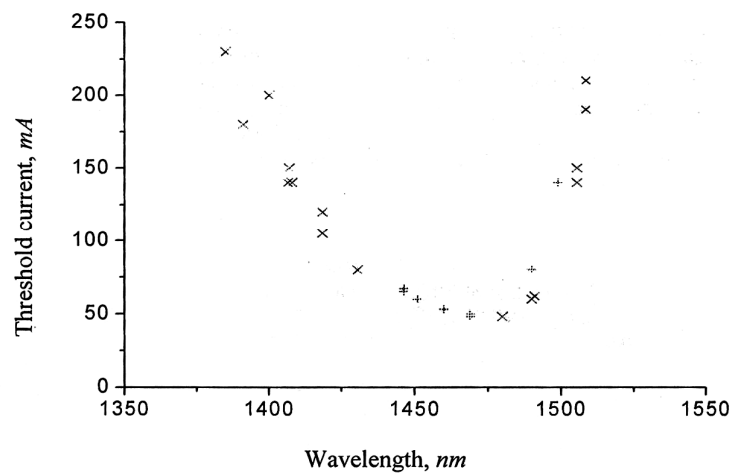


Fig. 3. Tuning threshold vs. wavelength

It is a pleasure for us to express gratitude to Professor V.V. Buniatyan for useful discussions and NATO - for Reintegration Grant FEL.RIG 980772.

REFERENCES

1. Stern T.E. and Bala K. Multi-wavelength Optical Networks // Chap. 4, Addison-Wesley, MA. - 1999. - P. 193-199.
2. Chen T.R., Eng. L., Zhuang Y.H. and Yariv A. *Appl. Phys. Lett.* - 1990. - 56. - 1345.
3. Lin C.F. and Lee, B.L. *Appl. Phys. Lett.* - 1997. - 71. - 1598.
4. Zhu X., Cassidy D.T., Hamp M.J., Thompson D.A., Robinson B.J., Zhao Q.C. and Davies M., *IEEE Photon. Technol. Lett.* 9. - 1997. - 1202.
5. Agrawal G.P. and Dutta N.K. Semiconductor Lasers // Chap. 11, Van Nostrand Reinhold, NY. - 1993.
6. Lin C.F., Wu B.R., Lai L.W., and Shih T.T. *Opt. Lett.* 26. - 2001. - 1101.

The material was received at the editorial board on 05.11.2005.

Գ.Շ. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ

ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ԳՈՏՈՒՄ ԼԱՅՆԱՇԵՐՏ ՀԱՄԱԼԱՐՈՒՄ ՖԱԲՐԻ-ՓԵՐՈՅԻ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԴԻՈԴՈՒՄ

Օգտագործելով համապատասխան քվանտային փոսերով կառուցվածքներ՝ լիցքակիրները բաշխվում են լայն սպեկտրային տիրույթում՝ ճնշելով ծածկույթ չունեցող Ֆաբրի-Փերոյի լազերային դիոդների ինքնատատանումը, որոնք շարունակում են ապահովել ուժեղացում: Արդյունքում 100 նմ-ից մեծ լայնաշերտ համալարում է ստացվում՝ օգտագործելով տարբեր ալիքի երկարություններում համալարված արտաքին հետադարձ կապ:

Առանցքային բառեր. օպտիկական հաղորդակցության գոտի, համալարում, Ֆաբրի-Փերոյի լազերային դիոդ:

Г.Ш. ШМАВОНЯН

ШИРОКОПОЛОСНАЯ НАСТРОЙКА В ОПТИЧЕСКОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ ЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ФАБРИ-ПЕРО

Используя соответствующие структуры квантовых ям, распределяются носители зарядов в широком спектральном диапазоне, подавляя самоосцилляцию лазерных диодов Фабри-Перо без покрытия, которые продолжают обеспечивать усиление. В результате достигается широкополосная настройка в полосе более 100 нм, используя внешнюю обратную связь, настраиваемую на различные длины волн.

Ключевые слова: оптическая полоса связи, широкополосная настройка, лазерный диод Фабри-Перо.

Р. М. ХАЧАТРЯН

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ
ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ m ОДИНАКОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ
СОВМЕСТНО С n ОДИНАКОВЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ
В СЛУЧАЕ РАВНОМЕРНОГО ДРОССЕЛИРОВАНИЯ ЗАДВИЖЕК**

Предлагаются аналитические зависимости по определению потери напора в дросселированной задвижке, ее гидравлического сопротивления и производительности насосной станции при параллельной работе m одинаковых центробежных насосов совместно с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами в случае равномерного дросселирования задвижек, установленных в начальной части нагнетательных линий. Результаты численных примеров по определению производительности насосной станции при параллельной работе двух и трех одинаковых центробежных насосов совместно с однопоточным нагнетательным трубопроводом, полученные для случаев полностью открытых и равномерно прикрытых задвижек, подтверждают, что аналитическая и графическая интерпретации уравнения суммарной характеристики трубопроводов при дросселировании, приведенные в технической литературе по насосам, не соответствуют действительности.

Показано, что действительная суммарная характеристика трубопроводов в случае равномерного дросселирования задвижек параллельна таковой при полностью открытых задвижках и проходит выше от нее на величину потери напора в прикрытой задвижке, соответствующей заданному расходу жидкости, нагнетаемой насосом при дросселировании.

Ключевые слова: одинаковые центробежные насосы, параллельная работа насосов, полностью открытые задвижки, равномерно прикрытые задвижки, гидравлическое сопротивление прикрытой задвижки, потеря напора в прикрытой задвижке, суммарная характеристика трубопроводов при равномерном дросселировании задвижек, производительность насосной станции, коэффициент изменения производительности насоса, аналитические зависимости.

Имеющиеся в технической литературе по насосам неверные аналитическая и графическая интерпретации уравнения суммарной характеристики трубопроводов насоса при дросселировании задвижки, установленной в начале нагнетательного трубопровода, в случае совместной работы системы: резервуар чистой воды—одиночный центробежный насос—однопоточный трубопровод (всасывающий и нагнетательный) — водонапорный резервуар, представленной на рис.1 пунктирной кривой $Q_{HT} - H''_T$ (вместо действительной кривой $Q_{HT} - H'_T$, параллельной суммарной характеристике трубопроводов при полностью открытой задвижке $Q_{HT} - H_T$), были показаны в [1]. С этой целью проводились логические параллели между рассматриваемой задачей и простейшей задачей истечения жидкости из бассейна при установившемся движении под постоянным напором H по горизонтальному трубопроводу постоянного диаметра d и длиной ℓ при прикрытой задвижке, установленной в его начальной части.

Ошибочность вышеуказанных интерпретаций становится особенно наглядной при рассмотрении параллельной работы центробежных насосов. По-пытаемся доказать сказанное.

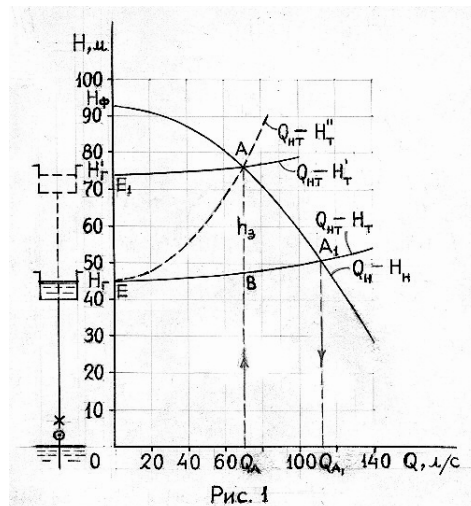
Производительность насосной станции при совместной параллельной работе m одинаковых центробежных насосов с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами при полностью открытых задвижках, установленных в начале нагнетательных линий, определяется по зависимости [2,3]

$$Q = Q_{A_1} = \sqrt{(H_\Phi - H_\Gamma) / (S_\Phi / m^2 + S_T / n^2)}, \quad (1)$$

где H_Φ – фиктивный напор насоса при нулевом расходе нагнетаемой жидкости ($Q = 0$), м; S_Φ – фиктивное гидравлическое сопротивление насоса, $(\text{с}/\text{м}^3)^2 \cdot \text{м}$; H_Γ – геометрическая высота подачи жидкости, равная разности отметок максимального уровня жидкости в водонапорном резервуаре (или в баке водонапорной башни) и минимального ее уровня в нижнем резервуаре, м; S_T – суммарное гидравлическое сопротивление каждой из ниток одинаковых трубопроводов $(\text{с}/\text{м}^3)^2 \cdot \text{м}$, (3):

$$S_T = (S_{BT} + S'_{HT})(n/m)^2 + S_{HT}, \quad (2)$$

S_{BT}, S'_{HT} и S_{HT} – соответственно полное гидравлическое сопротивление всасывающего и нагнетательных трубопроводов, расположенных внутри и вне здания насосной станции, $(\text{с}/\text{м}^3)^2 \cdot \text{м}$.



В случае дросселирования с равномерно прикрытыми задвижками производительность насосной станции, согласно (1), следует определять по зависимости

$$Q_{qp} = Q_A = \sqrt{(H_\Phi - H_\Gamma - h_3) / (S_\Phi / m^2 + S_T / n^2)}, \quad (3)$$

где h_3 – потеря напора в прикрытой задвижке при расходе дросселирования Q_A , м.

$$h_3 = (H_\Phi - H_\Gamma)[1 - (Q_A / Q_{A_1})^2] \quad (4)$$

или

$$h_3 = S_3 Q_A^2 = (S_\Phi / m^2 + S_T / n^2)(Q_{A_1}^2 - Q_A^2), \quad (5)$$

S_3 – гидравлическое сопротивление прикрытой задвижки, $(с/м^3)^2 \cdot м$:

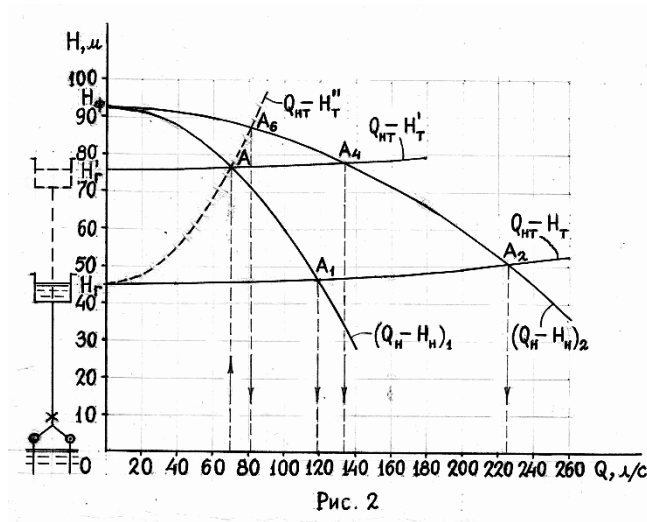
$$S_3 = (H_\Phi - H_\Gamma) / Q_A^2 - (S_\Phi / m^2 + S_T / n^2) \quad (6)$$

или

$$S_3 = (S_\Phi / m^2 + S_T / n^2)[(Q_{A_1} / Q_A)^2 - 1]. \quad (7)$$

Сначала рассмотрим параллельную работу двух одинаковых центробежных насосов ($m=2$) совместно с однопоточным нагнетательным трубопроводом ($n=1$).

Пусть марка выбранного центробежного насоса Д 320-70, фиктивные параметры рабочей характеристики $Q_H - H_H$ которого: $H_\Phi = 92,6$ м и $S_\Phi = 0,0033 (с/л)^2 \cdot м$, а предельные расходы жидкости оптимальной области работы насоса: $Q_{оп.об} = (60 \dots 92)$ л/с. Экономический диаметр однопоточного чугунного нагнетательного трубопровода для пропуска расходов жидкости $Q = 2Q_{оп.об} = (120 \dots 184)$ л/с при значении экономического фактора $\Xi = 0,5 \dots 1$ будет: $d_{HT} = 400$ мм, удельное гидравлическое сопротивление которого: $S_{ОНТ} = 0,2189 (с/м^3)^2$. Длина нагнетательного трубопровода, расположенного вне здания насосной станции, пусть будет: $L_{HT} = 500$ м, а геометрическая высота подачи жидкости: $H_\Gamma = 45$ м (рис.2).



Ввиду ограниченности объема статьи, а также с целью упрощения рас-чета полными гидравлическими сопротивлениями всасывающего и нагнета-тельного, расположенного внутри здания насосной станции, трубопроводов, а

также местными гидравлическими сопротивлениями нагнетательного трубо-провода, расположенного вне здания насосной станции, игнорируем. В результате имеем

$$S_T \approx S_{HT} = K_{HT} S_{OHT} L_{HT} . \quad (8)$$

Принимая, как первое приближение, значение поправочного коэффициента $K_{HT} = f(V_{HT}) = 1$, получим

$$S_T = 1 \cdot 0,2189 \cdot 500 = 109,45 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м.}$$

Расходы жидкости, подаваемой одним ($m=1$) и двумя ($m=2$) одинаковыми центробежными насосами, при полностью открытых задвижках, установленных в начале нагнетательных линий, пусть будут соответственно Q_{A_1} и Q_{A_2} (рис. 2). Подставляя соответствующие значения в (1), получим

$$Q_{A_1} = \sqrt{(92,6 - 45) / (0,0033 + 109,45 / 10^6)} = 118,158 \text{ л/с}$$

и

$$Q_{A_2} = \sqrt{(92,6 - 45) / (0,0033 / 2^2 + 109,45 / 10^6)} = 225,697 \text{ л/с.}$$

Предположим, что при ступенчатом режиме работы насосной станции необходимо в течение t часов суток уменьшить расход жидкости, нагнетаемой одним насосом, от $Q_{A_1} = 118,158 \text{ л/с}$ до $Q_A = 70 \text{ л/с}$. При этом потеря напора в прикрытой задвижке при дросселировании в случае $m=1$ и $n=1$, согласно зависимости (5), будет

$$h_3 = (0,0033 + 109,45 / 10^6) (118,158^2 - 70^2) = 30,894 \text{ м.}$$

Суммарный расход жидкости, нагнетаемой параллельно работающими двумя одинаковыми центробежными насосами, при равномерном дросселировании задвижек в случае $m=2$ и $n=1$, согласно зависимости (3), будет

$$Q_{A_4} = \sqrt{(92,6 - 45 - 30,894) / (0,0033 / 2^2 + 109,45 / 10^6)} = 133,709 \text{ л/с.}$$

Если при некотором прикрытии задвижки расход жидкости, нагнетаемой одним насосом, равен $Q_A = 70 \text{ л/с}$, то в случае подключения в параллельную работу второго одинакового насоса с той же степенью прикрытия задвижки суммарную производительность двух насосов, согласно технической литературе по насосам [4-9], следует определять по зависимости

$$Q_{A_6} = \sqrt{(H_\Phi - H_\Gamma) / [S_\Phi / m^2 + (S_3 + S_T) / n^2]}, \quad (9)$$

где

$$S_3 = h_3 / Q_A^2 = 30,894 / 0,07^2 = 6304,898 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м.}$$

Подставляя соответствующие значения в (9) при $m=2$ и $n=1$, получим

$$Q_{A_6} = \sqrt{(92,6 - 45) / [0,0033 / 2^2 + (6304,898 + 109,45) / 10^6]} = 81,087 \text{ л/с.}$$

Вышеприведенные расчеты по определению производительности одного и двух одинаковых центробежных насосов показывают, что в результате подключения в параллельную работу второго насоса расход жидкости, при прочих равных условиях, увеличивается:

а) при полностью открытых задвижках, согласно зависимости (1) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H_T$, на

$$Q_{A_2} - Q_{A_1} = 225,697 - 118,158 = 107,539 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_2} - Q_{A_1}) \bar{E} 100 \% / Q_{A_1} = (225,697 - 118,158) \bar{E} 100 \% / 118,158 = 91,013 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов из-за их параллельной работы:

$$(\beta_{m/n})_{m=2} = (Q_{A_2} / 2) / Q_{A_1} = (225,697 / 2) / 118,158 = 0,955 ;$$

б) при равномерно прикрытых задвижках с потерей напора в них $h_3 = 30,894 \text{ м}$, согласно зависимости (3) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H'_T$, на

$$Q_{A_4} - Q_A = 133,709 - 70 = 63,709 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_4} - Q_A) \bar{E} 100 \% / Q_A = (133,709 - 70) \bar{E} 100 \% / 70 = 91,013 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=2} = (Q_{A_4} / 2) / Q_A = (133,709 / 2) / 70 = 0,955 ;$$

в) при равномерно прикрытых задвижках с потерей напора в них $h_3 = 30,894 \text{ м}$, согласно зависимости (9) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H''_T$, рекомендуемой в технической литературе по насосам, всего на

$$Q_{A_6} - Q_A = 81,087 - 70 = 11,087 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_6} - Q_A) \bar{E} 100 \% / Q_A = (81,087 - 70) \bar{E} 100 \% / 70 = 15,839 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=2} = (Q_{A_6} / 2) / Q_A = (81,087 / 2) / 70 = 0,579 .$$

Окончательные результаты расчетов сведены в табл. 1.

Согласно данным таблицы, в результате подключения в параллельную работу второго одинакового насоса марки Д 320–70 процент увеличения расхода жидкости (91,013 %) и значение коэффициента изменения производительности насосов ($\beta_{m/n} = 0,955$) для случаев полностью открытых и равномерно прикрытых задвижек с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H'_T$ одни и те же. Это вполне логично и является следствием параллельности суммарных характеристик трубопроводов с равномерно прикрытыми и полностью открытыми задвижками $[(Q_{HT} - H'_T) \parallel (Q_{HT} - H_T)]$.

Однако совершенно нелогичными и абсурдными выглядят результаты, полученные по ошибочной зависимости (9) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H''_T$, рекомендуемой в технической литературе по насосам для случая с равномерно прикрытыми задвижками. Согласно зависимости (9),

в случае подключения в параллельную работу второго одинакового насоса с той же степенью дросселирования задвижки суммарный расход жидкости увеличится всего на $Q_{A_6} - Q_A = 81,087 - 70 = 11,087$ л/с, что составляет 15,839 % от расхода жидкости, нагнетаемой, при прочих равных условиях, одним насосом ($Q_A = 70$ л/с).

Таблица 1

Производительность насосной станции, Q , л/с		При одиночной и параллельной работе двух одинаковых центробежных насосов совместно с однопоточным нагнетательным трубопроводом в случае:					
		полностью откры-тых задвижек		равномерно прикрытых задвижек			
		$Q_{HT} - H_T$		$Q_{HT} - H'_T$		$Q_{HT} - H''_T$	
		Q_{A1}	Q_{A2}	Q_A	Q_{A4}	Q_A	Q_{A6}
		118,158	225,697	70	133,709	70	81,087
Увеличение расхода жидкости из-за параллельной работы насосов, ΔQ	л/с	107,539		63,709		11,087	
	%	91,013		91,013		15,839	
Коэффициент изменения производительности насосов, $\beta_{m/n}$		$(\beta_{m/n})_{m=2}$		$(\beta'_{m/n})_{m=2}$		$(\beta''_{m/n})_{m=2}$	
		0,955		0,955		0,579	

Для большей наглядности неправомерности применения ошибочной зависимости (9) в случае равномерно дросселированных задвижек рассмотрим также параллельную работу трех одинаковых центробежных насосов марки Д 320–70 совместно с однопоточным чугунным нагнетательным трубопроводом. Производительность насосной станции в оптимальной области работы насосов колеблется в пределах $Q = 3 Q_{оп.об} = (180 \dots 276)$ л/с. Экономический диаметр нагнетательного трубопровода для значений экономического фактора $\Theta = 0,75 \dots 1$ будет: $d_{HT} = 500$ мм, удельное гидравлическое сопротивление которого: $S_{OHT} = 0,06778$ (с/м³)². Длина нагнетательного трубопровода: $L_{HT} = 500$ м, а геометрическая высота подачи жидкости: $H_T = 45$ м (рис. 3).

Принимая, как первое приближение, $K_{HT} = 1$, согласно (8), получим

$$S_T \approx S_{HT} = 1 \cdot 0,06778 \cdot 500 = 33,89 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \cdot \text{м}.$$

Расходы жидкости, нагнетаемой одним, двумя и тремя одинаковыми центробежными насосами, при их параллельной работе совместно с однопоточным нагнетательным трубопроводом, в случае полностью открытых задвижек, согласно зависимости (1), соответственно равны

$$Q_{A1} = \sqrt{(92,6 - 45) / (0,0033 + 33,89 / 10^6)} = 119,489 \text{ л/с},$$

$$Q_{A2} = \sqrt{(92,6 - 45) / (0,0033 / 2^2 + 33,89 / 10^6)} = 235,415 \text{ л/с}$$

и

$$Q_{A_3} = \sqrt{(92,6 - 45) / (0,0033 / 3^2 + 33,89 / 10^6)} = 344,724 \text{ л/с.}$$

Допустим, что при ступенчатом режиме работы насосной станции необходимо в течение t часов суток уменьшить расход жидкости, нагнетаемой одним насосом, от $Q_{A_1} = 119,489 \text{ л/с}$ до $Q_A = 70 \text{ л/с}$. Потеря напора в прикрытой задвижке при дросселировании в случае $m=1$ и $n=1$, согласно зависимости (4), будет

$$h_3 = (0,0033 + 33,89 / 10^6) (119,489^2 - 70^2) = 31,264 \text{ м.}$$

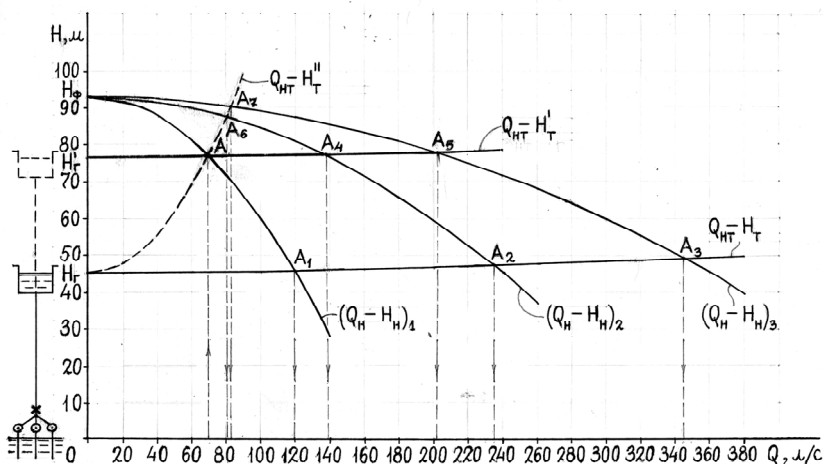


Рис. 3

При равномерном дросселировании задвижек в случае параллельной работы двух и трех одинаковых центробежных насосов суммарный расход жидкости, согласно зависимости (3), соответственно будет

$$Q_{A_4} = \sqrt{(92,6 - 45 - 31,264) / (0,0033 / 2^2 + 33,89 / 10^6)} = 137,913 \text{ л/с}$$

и

$$Q_{A_5} = \sqrt{(92,6 - 45 - 31,264) / (0,0033 / 3^2 + 33,89 / 10^6)} = 201,949 \text{ л/с.}$$

Если при некотором прикрытии задвижки расход жидкости, нагнетаемой одним насосом, равен $Q_A = 70 \text{ л/с}$, то в случае подключения в параллельную работу второго и третьего одинаковых насосов с той же степенью прикрытия задвижек их суммарную производительность, согласно технической литературе по насосам [4-9], следует определять по зависимости (9), где

$$S_3 = h_3 / Q_A^2 = 31,264 / 0,07^2 = 6380,408 \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \text{ м.}$$

Подставляя соответствующие значения в (9), получим

$$Q_{A_6} = \sqrt{(92,6 - 45) / [0,0033 / 2^2 + (6380,408 + 33,89) / 10^6]} = 81,088 \text{ л/с}$$

и

$$Q_{A_7} = \sqrt{(92,6 - 45) / [0,0033 / 3^2 + (6380,408 + 33,89) / 10^6]} = 83,783 \text{ л/с.}$$

Расчеты по определению производительности одного, двух и трех одинаковых центробежных насосов показывают, что в результате подключения в параллельную работу второго и третьего насосов расход жидкости, при прочих равных условиях, увеличивается:

1. При полностью открытых задвижках, согласно зависимости (1) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H_T$, соответственно, на:

$$a) Q_{A_2} - Q_{A_1} = 235,415 - 119,489 = 115,926 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_2} - Q_{A_1}) \bar{E} 100 \% / Q_{A_1} = (235,415 - 119,489) \bar{E} 100 \% / 119,489 = 97,018 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=2} = (Q_{A_2} / 2) / Q_{A_1} = (235,415 / 2) / 119,489 = 0,985 ;$$

$$б) Q_{A_3} - Q_{A_2} = 344,724 - 235,415 = 109,309 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_3} - Q_{A_2}) \bar{E} 100 \% / Q_{A_1} = (344,724 - 235,415) \bar{E} 100 \% / 119,489 = 91,48 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=3} = (Q_{A_3} / 3) / Q_{A_1} = (344,724 / 3) / 119,489 = 0,962 .$$

2. При равномерно прикрытых задвижках с потерей напора в них $h_3 = 31,264 \text{ м}$, согласно зависимости (3) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H'_T$, соответственно, на:

$$a) Q_{A_4} - Q_A = 137,913 - 70 = 67,913 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_4} - Q_A) \bar{E} 100 \% / Q_A = (137,913 - 70) \bar{E} 100 \% / 70 = 97,018 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=2} = (Q_{A_4} / 2) / Q_A = (137,91 / 2) / 70 = 0,985 ;$$

$$б) Q_{A_5} - Q_{A_4} = 201,949 - 137,913 = 64,036 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_5} - Q_{A_4}) \bar{E} 100 \% / Q_A = (201,949 - 137,913) \bar{E} 100 \% / 70 = 91,48 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=3} = (Q_{A_5} / 3) / Q_A = (201,949 / 3) / 70 = 0,962 .$$

3. При равномерно прикрытых задвижках с потерей напора в них $h_3 = 31,264 \text{ м}$, согласно зависимости (9) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{HT} - H''_T$, рекомендуемой в технической литературе по насосам, соответственно, всего на:

$$a) Q_{A_6} - Q_A = 81,088 - 70 = 11,088 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_6} - Q_A) \bar{E} 100 \% / Q_A = (81,088 - 70) \bar{E} 100 \% / 70 = 15,84 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=2} = (Q_{A_6} / 2) / Q_A = (81,088 / 2) / 70 = 0,579 ;$$

$$б) Q_{A_7} - Q_{A_6} = 83,783 - 81,088 = 2,695 \text{ л/с}$$

или

$$(Q_{A_7} - Q_{A_6}) \bar{E} 100 \% / Q_A = (83,783 - 81,088) \bar{E} 100 \% / 70 = 3,85 \%$$

с коэффициентом изменения производительности насосов:

$$(\beta_{m/n})_{m=3} = (Q_{A_7} / 3) / Q_A = (83,783 / 3) / 70 = 0,399 .$$

Окончательные результаты расчетов сведены в табл.2 .

Таблица 2

		При одиночной и параллельной работе двух и трех одинаковых центробежных насосов совместно с одноконтурным нагнетательным трубопроводом в случае:								
		полностью от-крытых задвижек			равномерно прикрытых задвижек					
		$Q_{HT} - H_T$			$Q_{HT} - H'_T$			$Q_{HT} - H''_T$		
		Q_{A_1}	Q_{A_2}	Q_{A_3}	Q_A	Q_{A_4}	Q_{A_5}	Q_A	Q_{A_6}	Q_{A_7}
Производительность насосной станции, $Q, \text{ л/с}$		119,489	235,415	344,724	70	137,913	201,949	70	81,088	83,783
Увеличение расхода жид-кости из-за па-раллельной ра-боты насосов, ΔQ	л/с		115,926	109,309		67,913	64,036		11,088	2,695
	%		97,018	91,48		97,018	91,48		15,84	3,85
Коэффициент изме-нения производи-тельности насосов, $\beta_{m/n}$			$(\beta_{m/n})_{m=2}$	$(\beta_{m/n})_{m=3}$		$(\beta_{m/n})_{m=2}$	$(\beta_{m/n})_{m=3}$		$(\beta_{m/n})_{m=2}$	$(\beta_{m/n})_{m=3}$
			0,985	0,962		0,985	0,962		0,579	0,399

Согласно данным таблицы, в результате подключения в параллельную работу второго и третьего одинаковых центробежных насосов марки Д 320–70 процент увеличения расхода (соответственно 97,018 и 91,48 %) и значение коэффициента изменения производительности насосов $[(\beta_{m/n})_{m=2} = 0,985 \text{ и } (\beta_{m/n})_{m=3} = 0,962]$ соответственно для случаев полностью открытых и равномерно

прикрытых задвижек с суммарной характеристикой трубопроводов, соответственно, $Q_{нт} - H_T$ и $Q_{нт} - H'_T$ одни и те же. Это обусловлено параллельностью суммарных характеристик их трубопроводов $[(Q_{нт} - H'_T) \parallel (Q_{нт} - H_T)]$, что подтверждается лабораторными исследованиями, проведенными нами.

На этом фоне совершенно нелогичными и абсурдными выглядят результаты, полученные по ошибочной зависимости (9) с суммарной характеристикой трубопроводов $Q_{нт} - H''_T$, рекомендуемой в технической литературе по насосам для случая с равномерно прикрытыми задвижками.

Нелогичность и абсурдность заключаются в том, что в результате подключения в параллельную работу второго и третьего одинаковых центробежных насосов марки Д 320–70 с той же степенью прикрытия задвижек суммарный расход жидкости, нагнетаемой двумя и тремя одинаковыми насосами, согласно зависимости (9), увеличится, соответственно, всего на $Q_{A6} - Q_A = 81,088 - 70 = 11,088$ л/с и $Q_{A7} - Q_{A6} = 83,783 - 81,088 = 2,695$ л/с, что составляет, соответственно, 15,84 и 3,85 % от расхода жидкости, нагнетаемой, при прочих равных условиях, одним насосом ($Q_A = 70$ л/с). Такие невероятно низкие результаты подтверждают ошибочность зависимости (9).

Резюмируя вышеизложенное, отметим, что равномерное распределение всех потерь напора вдоль трубопровода, включая значительную сосредоточенную местную потерю напора в прикрытой задвижке при ее дросселировании, как было показано в (1) и соответствующими расчетами настоящей статьи, ошибочно с гидравлической точки зрения и приводит к абсурду. В результате суммарная характеристика трубопроводов с равномерно прикрытыми задвижками, согласно зависимости (9), рекомендуемой в технической литературе по насосам [4–9], представляется фиктивной пунктирной кривой $Q_{нт} - H''_T$ вместо действительной кривой $Q_{нт} - H'_T$, параллельной таковой при полностью открытых задвижках ($Q_{нт} - H_T$). Следствием этого является нелогично мизерное увеличение производительности насосной станции в случае параллельной работы двух и трех одинаковых центробежных насосов с равномерно прикрытыми задвижками, по сравнению с производительностью, при прочих равных условиях, одиночного насоса одной и той же марки (рис. 2 и 3).

На основании вышесказанного можно с уверенностью утверждать, что действительная суммарная характеристика трубопроводов с любой степенью равномерно дросселированных задвижек ($Q_{нт} - H'_T$) параллельна таковой при полностью открытых задвижках ($Q_{нт} - H_T$). Поэтому для определения суммарного расхода жидкости, нагнетаемой параллельно работающими одинаковыми центробежными насосами в случае равномерно прикрытых задвижек, следует вместо ошибочной зависимости (9), рекомендуемой в технической литературе по насосам, пользоваться зависимостью (3), заранее определив потерю напора в прикрытой задвижке по зависимости (4) или (5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хачатрян Р.М.** Определение гидравлического сопротивления и потери напора в задвижке при ее дросселировании // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. -2006.-Т.59, N 2. – С.423 – 433 .
2. **Прегер Е.А.** Аналитический метод исследования совместной работы насосов и трубопроводов канализационных насосных станций / ЛИСИ. – Л., 1974. – 61 с.
3. **Хачатрян Р.М.** Определение коэффициента редукции производительности параллельно работающих одинаковых центробежных насосов // Исследования по гидротехнике и санитарной технике: Межвузовский тематический сборник научных трудов / ЕрПИ. – Ереван, 1984. – С.64-70.
4. **Угинчус А.А.** Гидравлика и гидравлические машины. – Харьков, 1966. – 400 с.
5. **Токмаджян В.О., Трозян Р.Е.** Гидравлические машины и гидроприводы. – Ереван: Луйс, 1976. – 196 с. (на арм.).
6. **Черкасский В.М.** Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.
7. **Малюшенко В.В., Михайлов А.К.** Энергетические насосы: Справочное пособие. – М.: Энергоиздат, 1981. – 199 с.
8. **Кривченко Г.И.** Гидравлические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
9. **Карелин В.Я., Минаев А.В.** Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

ЕрГУАС . Материал поступил в редакцию 06.06.2005 .

Ռ. Մ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՊՈՍՊԱԿԱՅԱՆԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇԵԼԸ, ԵՐԲ m ՄԻԱՆՄԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԱԽՈՒՅՍ ՊՈՍՊԵՐ ԱՇԽԱՏՈՒՄ ԵՆ ԶՈՒԳԱՀԵՌ n ՄԻԱՆՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԵՐԻ ՀԵՏ ՀԱՄԱՏԵՂ՝ ՓԱԿԱՆՆԵՐԻ ՀԱՎԱՍԱՐԱԶԱՓ ԴՐՈՍԵԼԱՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Առաջարկվում են վերլուծական առնչություններ դրոսելացված փականում ճնշման կորուստը, նրա հիդրավիլիկական դիմադրությունը և պոմպակայանի արտադրողականությունը որոշելու համար, երբ միևնույն մակնիշի **m** կենտրոնախույս պոմպեր աշխատում են զուգահեռ, միևնույն տրամագծի **n** մղման խողովակաշարերի հետ համատեղ՝ վերջիններիս սկզբնամասում տեղադրված փականների հավասարաչափ դրոսելացման դեպքում: Միաթել մղման խողովակաշարերի հետ միևնույն մակնիշի երկու և երեք կենտրոնախույս պոմպերի համատեղ զուգահեռ աշխատանքի դեպքում պոմպակայանի արտադրողականությունը որոշելու թվային օրինակների արդյունքների հիման վրա կարելի է պնդել, որ դրոսելացման պարագայում խողովակաշարերի գումարային բնութագրի հավասարման՝ պոմպերի վերաբերյալ տեխնիկական գրականության մեջ բերված վերլուծական և գրաֆիկական մեկնաբանությունները չեն համապատասխանում իրականությանը:

Ցույց է տրված, որ փականների հավասարաչափ դրոսելացման պարագայում, պոմպերի մղած հեղուկի ցանկացած ելքի դեպքում, խողովակաշարերի իրական գումարային բնութագիրը զուգահեռ է փականների լրիվ բաց վիճակում խողովակաշարերի գումարային բնութագրին և անցնում է նրանից վերև՝ փականում դրոսելացման տվյալ ելքին համապատասխանող ճնշման կորստի չափով:

Առանցքային բառեր. միանման կենտրոնախույս պոմպեր, պոմպերի զուգահեռ աշխատանք, լրիվ բաց փականներ, հավասարաչափ դրոսելացված փականներ, դրոսելացված փականի հիդրավիլիկական դիմադրություն, ճնշման կորուստը դրոսելացված փականում, խողովակաշարերի գումարային բնութագիրը փականների հավասարաչափ դրոսելացման դեպքում, պոմպակայանի արտադրողականություն, պոմպի արտադրողականության փոփոխման գործակից, վերլուծական առնչություններ:

R. M. KHACHATRYAN

**DETERMINATION OF PUMPING STATION CAPACITY
IN PARALLEL WORK OF m IDENTICAL CENTRIFUGAL
PUMPS WITH n IDENTICAL DELIVERY PIPELINES
WHEN THE VALVES ARE EVEN THROTTLED**

Analytical dependences for determination of head loss in the throttled valves, its hydraulic resistance and pumping station capacity, in parallel work of m identical centrifugal pumps with n identical delivery pipelines, when the valves situating on their beginning parts are even throttled, are proposed. The results of numerical examples for determination of pumping station capacity in parallel work of two and three identical centrifugal pumps with one-threaded pipelines, when the valves are open fully and partly-even, confirm that analytical and graphical interpretations of the equation of total characteristic pipelines when the valves are throttled, cited in technical literature concerning the pumps, are not in conformity with reality.

It is shown that the real total characteristic of pipelines with even throttled valves, at any discharge of liquid delivery by pumps, is parallel to the total characteristic of pipelines when the valves are fully open and pass higher from it in the size corresponding to head loss in throttled valve.

Keywords: identical centrifugal pumps, parallel work of pumps, full-open valves, even throttled valves, hydraulic resistance of throttled valve, head loss in throttled valve, total characteristic of pipelines when valves are even throttled, pumping station capacity, coefficient of alteration pumps capacity, analytical dependences.

Г.Ц. ВАРДЕРЕСЯН, Э.Э. АНТОНЯН, М.А. СИРАКАНЯН, К.Ц. ТАГМАЗЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕФТЕПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

На укрупненной лабораторной установке непрерывного действия проведены испытания сорбционных свойств вспученных перлитов, модифицированных бентонитом (ВПМБ), в процессе тонкой очистки нефтесодержащих сточных вод. Установлено, что после трехмесячного испытания нефтеемкость сорбента составляет 0,62 л/г, что превышает соответствующий показатель немодифицированного вспученного перлита (ВП) в 3,1 раза, а активированного угля «БАУ» – в 3 раза.

Ключевые слова: вспученный перлит, модифицированный бентонитом; Армянская атомная электростанция; нефтепоглотельная способность.

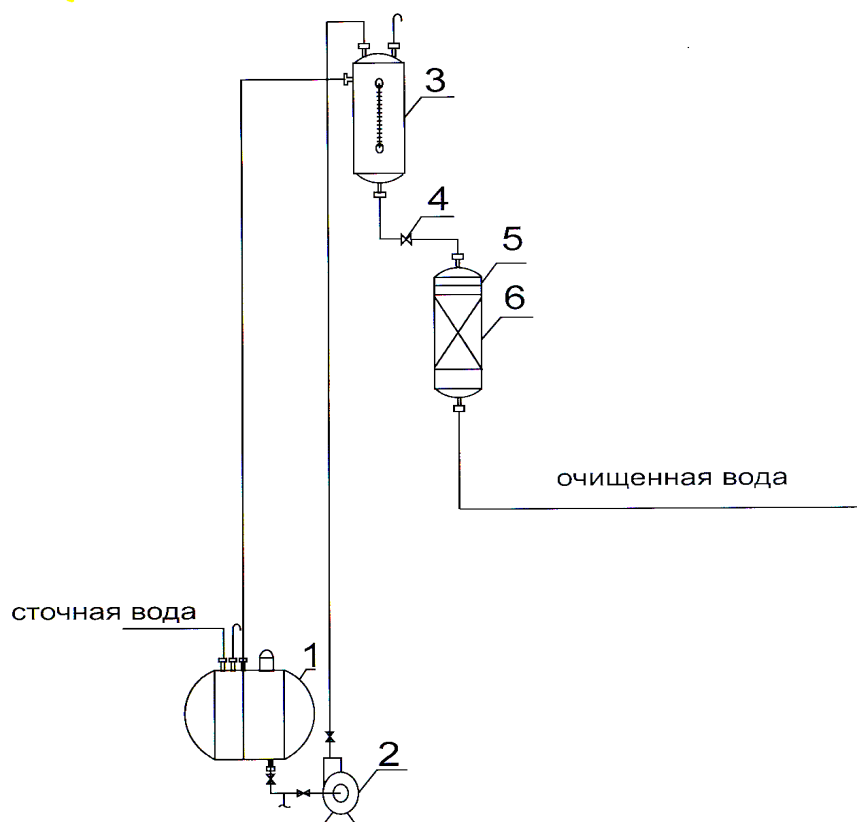
Ранее нами были получены ВПМБ и исследованы закономерности их нефтепоглотельной способности в прерывистых условиях. Было установлено, что при фракционном составе ВП 5...7 мм статическая нефтеемкость образцов, модифицированных 0,4%-й суспензией бентонита, превосходит соответствующий показатель немодифицированного образца в 3,5 раза [1,2].

Интерес также представляло исследование нефтепоглотельной способности ВПМБ в непрерывных условиях. Полученные результаты можно было использовать для организации процесса непрерывной тонкой очистки нефтесодержащих сточных вод.

Исследование сорбционной способности ВПМБ в динамических условиях осуществлялось на укрупненной лабораторной установке непрерывного действия Армянской атомной электростанции (ААЭС) (рис. 1).

Были подвергнуты испытанию ВП фракции 5...7 мм, модифицированные 0,4%-й суспензией бентонита (фракция бентонита 100...125 мкм).

Сточные воды со средним содержанием нефтепродуктов 5...7 мг/л поступали в приемный резервуар-усреднитель 1, откуда центробежным насосом 2 подавались в напорный бак 3. Далее они поступали на распределительную тарелку 5 и равномерно орошали фильтрующий материал 6.



Error!

Рис.1. Схема укрупненной установки непрерывного действия:
 1 - приемный резервуар, 2 - центробежный насос, 3 - напорный бак,
 4 - вентиль, регулирующий расход воды, 5 - распределительная система,
 6 - адсорбер

В таблице приводятся результаты анализов очищенной воды продолжительностью 90 дней. Согласно экспериментальным данным, содержание нефтепродуктов на выходе из адсорбера в среднем составляло 0...0,3 мг/л. Работа прекращалась в случае, когда 6 дней подряд непрерывно концентрация нефтепродуктов превышала 0,3 мг/л.

Таблица

Результаты испытаний сорбционных свойств на укрупненной лабораторной установке непрерывного действия на период март - май 2005 г.

Содержание нефтепродуктов в сточной воде, мг/л							
до очист- ки	после очист- ки	до очист- ки	после очист- ки	до очист- ки	после очист- ки	до очист- ки	после очист- ки
4,85	0,25	2,08	Отс.	4,36	0,25	6,47	0,32
5,56	0,16	2,19	Отс.	5,48	0,33	5,18	0,30
3,82	Отс.	1,95	Отс.	3,65	Отс.	4,92	0,30
6,41	0,31	4,70	0,16	3,24	0,12	4,48	0,27
5,74	0,18	5,86	0,21	2,85	Отс.	4,64	0,24
6,20	0,30	6,41	0,30	6,24	0,31	3,90	0,18
7,30	0,32	5,81	0,24	5,87	0,28	2,24	Отс.
5,21	0,21	4,56	0,16	5,44	0,20	2,16	Отс.
5,30	0,18	5,05	0,18	4,65	0,18	5,12	0,28
6,20	0,24	2,45	0,11	6,37	0,30	5,80	0,30
3,85	Отс.	6,37	0,31	4,30	0,29	6,20	0,31
4,10	0,17	7,20	0,32	5,20	0,30	6,40	0,29
6,21	0,24	5,41	0,28	5,12	0,30	4,78	0,18
3,80	Отс.	5,24	0,27	4,38	0,25	4,44	0,18
6,10	0,30	3,24	Отс.	3,85	Отс.	4,36	0,22
5,40	0,17	3,80	0,28	3,70	Отс.	3,68	0,19
2,80	Отс.	4,24	0,19	4,10	0,24	3,50	0,24
2,30	Отс.	3,88	0,15	4,15	0,20	3,65	0,18
2,10	Отс.	7,35	0,31	3,70	0,18	2,84	0,11
3,80	0,12	6,20	0,3	2,95	Отс.	5,46	0,30
4,31	0,15	5,82	0,30	4,55	0,24	5,21	0,31
6,95	0,30	4,76	0,18	5,41	0,21	5,1	0,32

Как видно из данных таблицы, эффективная доочистка нефтесодержащих сточных вод на укрупненной установке непрерывного действия за весь период поддерживалась на высоком уровне - в среднем 98...99%. При концентрации нефтепродуктов в воде в среднем 6...2 мг/л достигалось снижение содержания нефтепродуктов в очищенной воде до 0,3 мг/л (отсутствие).

Кривая фильтрования нефтесодержащих сточных вод на укрупненной установке непрерывного действия приведена на рис. 2.

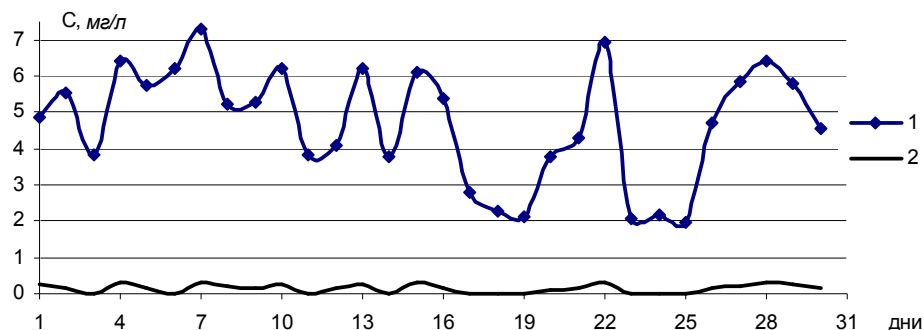


Рис. 2. Выходные кривые фильтрования нефтесодержащих сточных вод ААЭС на слое ВПМБ. Концентрации нефтепродуктов: 1 - в исходной воде; 2 - после очистки на слое МВП

На основе проведенных расчетов и результатов сравнения полученных данных с известными показателями немодифицированного ВП и активированного угля «БАУ» [3,4] установлено, что динамическая нефтеемкость вспученного перлита фракции 5...7 мм, модифицированного 0,4%-й взвесью бентонита, составляет 0,62 г/г, что превышает соответствующий показатель немодифицированного ВП в 3,1 раза, а активированного угля «БАУ» - в 3 раза. Степень очистки при этом составляет 99,6...99,8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Վարդերեսյան Գ.Յ., Անտոնյան Է.Է., Թահմազյան Վ.Մ. Նավթանյութեր պարունակող հոսքաջրերի մաքրման եղանակ / Միջոցագիր N1706 A2 ՀՀ ՄԱԴ (2006) C02F 1/28.15.03.2006.
2. Вардересян Г.Ц., Антоян Э.Э., Тагмазян К.Ц. Глубокая очистка нефтесодержащих сточных вод с применением в качестве сорбента вспученного перлита, модифицированного бентонитом// Годичная научная конференция ГИУА: Сборник материалов.- Ереван, 2005.- С.175-177.
3. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды.- М.: Химия, 1982.- 168 с.
4. Шевченко М.А., Калининчук Е.М., Чупова. В.П. Исследования по разработке метода очистки питьевой воды от нефтяных загрязнений путем применения коагулянтов и активированного угля // В кн.: Водоподготовка и очистка промышленных стоков.-Киев, 1969.-С.44-45.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.04.2006.

Գ.Յ. ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ, Է. Է. ԱՆՏՈՆՅԱՆ, Մ.Ա. ՍԻՐԱԿԱՆՅԱՆ,
Կ.Ծ. ԹԱՀՄԱԶՅԱՆ

ՍՈՂԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ՓՔՈՒՆ ՊԵՌԼԻՏԻ ԿԼԱՆԻՉ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ԴԻՆԱՄԻԿ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Դինամիկ պայմաններում բենտոնիտով մոդիֆիկացված փքուն պեռլիտի (ԲՄՓՊ) նավթակլանիչ հատկությունների ուսումնասիրությունն իրականացվել է Հայկական ատոմակայանի խոշորացված անընդհատ գործողության լաբորատոր տեղակայանքի վրա: Ցույց է տրվել, որ եռամսյա աշխատանքային պայմաններում ԲՄՓՊ նավթակլանիչ ունակությունը կազմել է 0,62 գ/գ, ինչը 3,1 անգամ գերազանցում է չմոդիֆիկացված փքուն պեռլիտի նավթակլանման հատկությունները և 3 անգամ՝ ակտիվ ածխինը: Կեղտաջրերի մաքրման արդյունավետությունը կազմել է 99,6...99,8%:

Առանցքային բառեր. բենտոնիտով մոդիֆիկացված փքուն պեռլիտ, Հայկական ատոմակայան, նավթակլանիչ ունակություն:

G.Ts. VARDERESYAN, E.E. ANTONYAN, M.A. SIRAKANYAN,
K.Ts. TAHMAZYAN

OIL-ABSORBING ABILITY STUDY OF MODIFIED SWELLED-UP PERLIT IN DYNAMIC
CONDITIONS

The investigation of oil-absorbing abilities by swelled-up perlite modified by bentonite (SPMB) in dynamic conditions was carried out on integrated laboratory devices of uninterrupted action at Armenian Nuclear Power Plant. It has been established that the oil capacity of SPMB makes 0,62 g/g, exceeds the corresponding index of non-modified SP 3,1 times and activated coal 3 times. The degree of purifying wastewater is 99,6...99,8%.

Keywords: swelled-up perlite modified by bentonite, Armenian Nuclear Power Plant, oil-absorbing ability.

Վ.Ա.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Լ.Հ.ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ

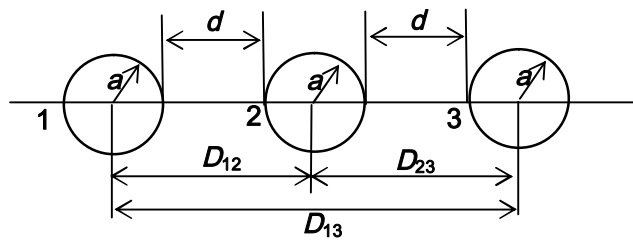
**ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԸ ՄԵԿ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ՏԵՂԱԿԱՅՎԱԾ
ՋՂԵՐՈՎ ՀՈՍԱՆԱՀԱՂՈՐԴՉՆԵՐՈՒՄ՝ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԵՎ
ՄՈՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ԷՖԵԿՏՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ**

Հաշվարկված են լրացուցիչ կորուստների գործակցի արժեքները ջղերի միջև տարբեր հեռավորությունների դեպքում՝ հատույթի տարբեր մակերեսներով այլումինե հոսանահաղորդիչների համար: Որոշված է էներգիայի կորուստների նվազումը՝ ջղերի միջև հեռավորությունը մեծացնելիս:

Առանցքային բառեր. եռաֆազ հոսանահաղորդիչ, մակերևութային էֆեկտ, մոտիկության էֆեկտ, լրացուցիչ կորուստների գործակից:

Վերջին տարիներին գիտատեխնիկական ամսագրերում քննարկվում է 6...35 կՎ լարման մետաղական ընդհանուր պատյանով մալուխների փոխարինումը մեկ հարթության մեջ տեղադրված, պոլիէթիլենային մեկուսացմամբ երեք ջղերով [1]: Վերջիններիս վրա մետաղյա պաշտպանիչ շերտ չի դրվում, և խրամուղիներում խոնավության և ջրի ներթափանցման դեպքում թափառող հոսանքներ չեն առաջանում: Բետոնե խրամուղու արժեքի նվազեցման նպատակով անհրաժեշտ է ջղերի միջև նվազագույն հեռավորության ապահովում: Հետևաբար, արդիական է մալուխային գծերում էներգիայի կորուստների և ջղերի միջև եղած հեռավորության կախումն ուսումնասիրող խնդրի հետազոտումը:

Գնահատվել են հոսանահաղորդչի ֆազերի (ջղերի) ակտիվ դիմադրությունն ու էներգիայի կորուստները հաղորդչի հատույթի տվյալ մակերեսի և տեսակարար հաղորդականության դեպքում՝ ջղերի միջև d հեռավորությունը փոփոխելիս (նկ. 1):



Նկ. 1. Մեկ հարթության մեջ տեղակայված, շրջանային հատույթով հոսանահաղորդչի հաշվարկային սխեման

$$(D_{12} = D_{23})$$

Դիտարկվող բարձր լարման եռաֆազ մալուխում մոտիկության և մակերևութային էֆեկտների հետևանքով ջղերի լայնական հատույթներում (շառավղի երկայնքով) հոսանքի խտության բաշխումն անհավասարաչափ է: Փոփոխական (սինուսոիդային) հոսանքի անհավասարաչափ բաշխման աստիճանը ընդթափվում է լրացուցիչ կորուստների գործակցի միջոցով [2, 3]

$$K_{in} = \frac{\Delta P}{\Delta P_n} = \frac{I^2 R}{I^2 R_n} = \frac{R}{R_n}, \quad (1)$$

որտեղ ΔP -ը ջոուլյան կորուստներն են փոփոխական հոսանքի դեպքում, ΔP_n -ն՝ ջոուլյան կորուստները հոսանաիադրողչում՝ նույն մեծության հաստատուն հոսանքի դեպքում, R -ը՝ իոսանքահաղորդչի համարժեք ակտիվ դիմադրությունը փոփոխական հոսանքի դեպքում, R_n -ն՝ դիմադրությունը հաստատուն հոսանքի դեպքում (օժանկան դիմադրություն): Նշված էֆեկտների պատճառով՝ $K_{in} > 1$:

Ըստ (1) հավասարման՝

$$R = K_{in} R_n, \quad (2)$$

Լրացուցիչ կորուստների գործակիցը [3] որոշվում է

$$K_{in} = K_{\text{սկզբ}} K_{\text{առաջ}} \quad (3)$$

արտահայտությամբ, որտեղ $K_{\text{սկզբ}}$ -ը մակերևութային էֆեկտի, իսկ $K_{\text{առաջ}}$ -ը՝ մոտիկության էֆեկտի գործակիցներն են, որոնց որոշումն ընդհանուր դեպքում դժվար խնդիր է և իրագործելի է մասնավոր դեպքերում: Ձեռնարկվող (շրջանային հատույթով) հոսանաիադրողիչների (նկ. 1) եզրային հաղորդիչներում լրացուցիչ կորուստների գործակիցը որոշվում է

$$K_{\text{առաջ}} = \frac{2}{b} |A_n|^2 (U_n V_n' - U_n' V_n) + \frac{1}{b} \sum_{n=1}^{\infty} L_n |U_n V_n - U_n' V_n| \quad (4)$$

բանաձևով, իսկ մեջտեղի հաղորդիչինը՝

$$K_{in} = \frac{2}{b} |A_n|^2 (U_n V_n' - U_n' V_n) + \frac{1}{b} \sum_{n=1}^{\infty} [|M_n|^2 + |N_n|^2 + (\tilde{M}_n N_n + M_n \tilde{N}_n)] \times \\ \times \cos n\pi [(U_n V_n' - U_n' V_n)] \quad (5)$$

բանաձևով, որտեղ $b = a\sqrt{\omega\mu_0\gamma}$, a -ն հաղորդչի շառավիղն է, ω -ը սնող աղբյուրի անկյունային հաճախությունը, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Հենրի -ը մագնիսական հաստատունն է, իսկ γ -ն հաղորդչի նյութի տեսակարար հաղորդականությունը:

Կատարված են ալյումինե $a = 8,631 \cdot 10^{-3}$ շառավղով հոսանաիադրողիչների հաշվարկները ($\omega = 314$ Վ՝):

Նշենք, որ (4) և (5) արտահայտություններում

$$A_n = \frac{b \cdot \sqrt{J_1}}{2} \cdot \frac{1}{J_1}, \quad (6)$$

որտեղ $j = \sqrt{-1}$, J -ը Բեսելի առաջին սեռի, առաջին կարգի ֆունկցիան է, L_n -ը, M_n -ը և N_n -ը Բեսելի ֆունկցիաների միջոցով որոշվող կոմպլեքս մեծություններ են [4]: Բեսելի ֆունկցիաների և նրանց ածանցյալների թվային արժեքները տվյալ արգումենտի դեպքում բերված են [5]-ում աղյուսակներով:

Հարկ է նշել, որ (4)-ի և (5)-ի առաջին գումարելին պայմանավորված է մակերևութային էֆեկտով, այսինքն՝

$$K_{\text{արկ}} = \frac{2}{b} |A_a|^2 (U_0 V_0' - U_0' V_0), \quad (7)$$

և կախված չէ ջղերի միջև եղած հեռավորությունից, իսկ երկրորդ գումարելին կախված է նաև ջղերի միջև եղած d հեռավորությունից:

Հետազոտությունները կատարված են ջղերի հատույթի $S = 240 - 625$ մմ² մակերեսով ալյումինե ջղերով մալուխների համար:

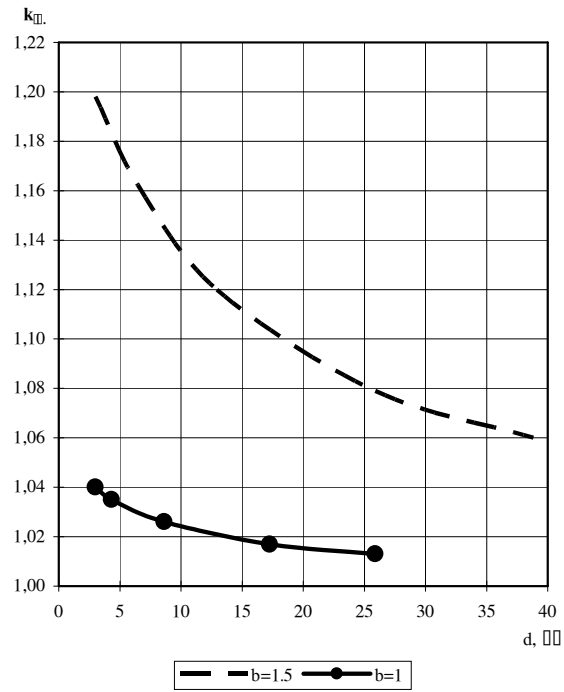
Հաշվարկված են (օգտվելով (3) - (5)-ից) $K_{\text{արկ}}$ լրացուցիչ կորուստների,

$K_{\text{արկ}}$ մակերևութային և $K_{\text{մոտ}}$ մոտիկության էֆեկտների գործակիցները տարբեր չառավիղներով ալյումինե հոսանախաղորդիչների համար՝ ֆազերի միջև տարբեր հեռավորությունների դեպքում: Հաշվարկների արդյունքները բերված են աղ. 1-ում՝ մեջտեղի և եզրային ջղերի համար:

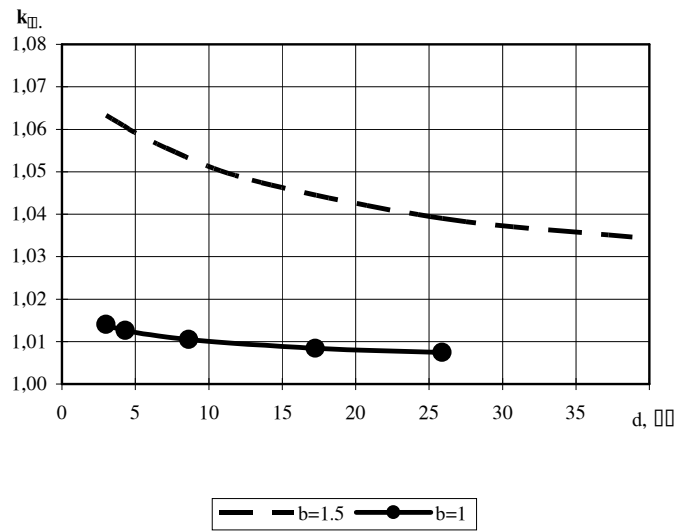
Աղյուսակ 1

Մեջտեղի ջիղ						Եզրային ջիղ					
$b=1.5$						$b=1.5$					
$d, \text{մմ}$	3	6.473	12.947	25.894	8.841	$d, \text{մմ}$	3	6.473	12.947	25.894	38.841
K_1	1.196	1.162	1.12	1.079	1.060	K_1	1.063	1.056	1.048	1.039	1.034
$K_{\text{արկ}}$	1.167	1.132	1.091	1.051	1.032	$K_{\text{արկ}}$	1.036	1.029	1.021	1.012	1.007
$K_{\text{մոտ}}$	1.026	1.026	1.026	1.026	1.026	$K_{\text{մոտ}}$	1.026	1.026	1.026	1.026	1.026
$b=1$						$b=1$					
$d, \text{մմ}$	3	4.316	8.632	17.263	25.894	$d, \text{մմ}$	3	4.316	8.632	17.263	25.894
K_1	1.04	1.035	1.026	1.017	1.013	K_1	1.014	1.012	1.010	1.006	1.007
$K_{\text{արկ}}$	1.034	1.029	1.020	1.011	1.007	$K_{\text{արկ}}$	1.008	1.007	1.004	1.002	1.001
$K_{\text{մոտ}}$	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	$K_{\text{մոտ}}$	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005

Ըստ աղ. 1-ի տվյալների՝ նկ. 1-ում և 2-ում կատարված են $K_{\text{արկ}}$ գործակիցների՝ d հեռավորությունից ունեցած կախումն արտահայտող ֆունկցիաների գրաֆիկները՝ b պարամետրի տարբեր արժեքների համար:



Նկ. 2. Մեջտեղի ջրի լրացուցիչ կորուստների գործակցի կախումը d հեռավորությունից



Նկ. 3. Եզրային ջրի լրացուցիչ կորուստների գործակցի կախումը d հեռավորությունից

Ըստ ստացված գրաֆիկների՝ գնահատենք ջղերի միջև եղած d հեռավորությունից կախված էներգիայի կորուստների փոփոխությունը հետազոտվող պոլիէթիլենային մեկուսացումով մալուխային զծում:

Քանի որ առավելագույն կորուստներ առաջանում են, երբ $d = 3$ մմ, ապա միևնույն հոսանքի դեպքում տվյալ d հեռավորության և ամենամոտ դասավորության ժամանակ առաջացող կորուստների հարաբերությունը՝

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{K_{\square\Box}}{K_{\square\Box}}, \quad (8)$$

որտեղ $K_{\square\Box}$ -ը լրացուցիչ կորուստների գործակիցն է ջղերի միջև 3 մմ ամենամոտ հեռավորության դեպքում, երբ պոլիէթիլենային մեկուսացմամբ ջղերը հպված են միմյանց, իսկ $K_{\square\Box}$ -ն վերը նշված գործակիցն է, երբ ջղերի միջև հեռավորությունը d է:

Աղ. 2-ում բերված են ըստ (8)-ի որոշված W_1 / W_2 -ի արժեքները՝ նկ. 1-ում և 2-ում բերված կորերին համապատասխանող թվային արժեքների համար:

Աղյուսակ 2

Էներգիայի կորուստների W_1 / W_2 -ի հաշվարկի արդյունքները					
d , մմ		10	20	30	Կորուստների փոքրացումը, տոկոս
$b=1,5$ մեջտեղի ջիղ	$K_{\square\square\Box} / K_{\square\Box}$	1,052	1,097	1,1196	11,96
$b=1,5$ եզրային ջիղ	$K_{\square\square\Box} / K_{\square\Box}$	1,010	1,020	1,02834	2,834
$b=1$ մեջտեղի ջիղ	$K_{\square\square\Box} / K_{\square\Box}$	1,0176	1,025	1,0277	2,77
$b=1$ եզրային ջիղ	$K_{\square\square\Box} / K_{\square\Box}$	1,0039	1,0059	1,00996	0,996

Ըստ աղյուսակի տվյալների՝ $b = 1,5$ (այլումիսն ջիղ, հատույթի մակերեսը՝ $S_1 = 625$ մմ²) ջղերի միջև հեռավորությունը 3...30 մմ սահմաններում մեծացնելիս մեջտեղի ջղում էներգիայի կորուստները փոքրանում են 11,96%-ով, իսկ եզրայիններում՝ 2,834%-ով: Երբ $b = 1$ (հատույթի մակերեսը՝ $S_2 = 240$ մմ²), մեջտեղի ջղում կորուստները փոքրանում են 2,77%-ով, իսկ եզրայիններում՝ 0,996%-ով:

Ամփոփելով ստացված արդյունքները՝ կարելի է կատարել հետևյալ եզրահանգումները.

1. Որքան մեծ է ջղի հատույթի մակերեսը, այնքան ավելի արագ են նվազում լրացուցիչ կորուստների և մոտիկության էֆեկտների գործակիցները՝ d հեռավորությունը մեծացնելիս:

2. Միջին ջրի $K_{\text{միջ}}$ և $K_{\text{մոտ}}$ գործակիցներն ավելի մեծ են եզրային ջրի համապատասխան գործակիցներից: Արդյունքում միջին ջրի ակտիվ դիմադրությունը (տվյալ շառավղի և հաճախության դեպքում) ավելի մեծ է եզրային ջրերի դիմադրությունից:
3. Ջրերի միջև 30 մ/վ ավելի հեռավորությունների դեպքում էներգիայի կորուստները նրանցում Լականորեն նվազում են:

ՊՐԱՇԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Мирзабекян Ж. М. Теория определения электромагнитных параметров спиральных, ленточных и трансформированных проводников. - Ереван, 1998. - 137 с.
2. Демирчян К.С., Нейман Л. Р., Коровкин Н. В., Чечурин В. Л. Теоретические основы электротехники. Том 3. - М.-СПб, 2004. - 408 с.
3. Семчинов А.М. Токопроводы 6-10 кВ промышленных предприятий. - Л.: Энергоиздат, 1981 - 288 с.
4. Чальян К. М. Методы расчёты электромагнитных параметров токопроводов. - М. Энергоатомиздат, 1990. - 280 с.
5. Носова Л.Н. Таблицы функций Томсона и их первых производных - М. Изд. АН СССР, 1960. - 423 с.
6. Կարախանյան Լ.Հ., Գրիգորյան Վ.Ա. Եռաֆազ մաշուխի զուգահեռ տեղակայված ջրերի հեռավորության լավարկում: // ԳԴ ԳԱԱ և ԴՊԵԴ տեղեկագիր. ՏԳԱ.- 2004 - Դ 57, N° 2. - էջ 131-135:

ԳՊԵԴ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 27.01.2006:

Վ. Ա. ГРИГОРЯН, Л. О. КАРАХАНИЯН

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ТОКОПРОВОДАХ С РАСПОЛОЖЕННЫМИ В ОДНОЙ ПЛОСКОСТИ ЖИЛАМИ ПРИ УЧЕТЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА И ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ

Рассчитаны значения коэффициента дополнительных потерь для алюминиевых токопроводов с различной площадью сечения при изменении расстояния между ними. Определено снижение потерь (в процентах) при увеличении расстояния между жилами

Ключевые слова: трехфазный токопровод, поверхностный эффект, эффект близости, коэффициент дополнительных потерь.

V.A. GRIGORYAN, L.H. KARAKHANYAN

ENERGY LOSSES IN CABLES WITH STRANDS PLACED ON ONE SURFACE TAKING INTO ACCOUNT THE SURFACE AND PROXIMITY EFFECTS

The coefficient values of supplementary losses for aluminum three-strand cables with different section area are calculated. The reduction of losses (in percent) in increasing the distance between the strands is specified

Keywords: surface effect, proximity effect, supplementary loss coefficient

ՄԻՀՐԱՆ ԳՐԻԳՈՐԻ ՍՏԱԿՅԱՆ

(ծննդյան 65-ամյակի կապակցությամբ)

Լրացավ տեխն. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր **Միհրան Գրիգորի Ստակյանի** ծննդյան 65-ամյակը:



Նա ծնվել է 1941թ. Հունաստանում, 1957թ. ընդունվել է ԵրՊԻ մեխանիկամեքենաշինական ֆակուլտետ և 1962թ. ավարտելուց հետո մինչ այժմ անընդմեջ աշխատում է ՀՊՃՀ մեքենագիտության ամբիոնում: 1968թ. Օդեսայի պոլիտեխնիկական ինստիտուտում պաշտպանել է թեկնածուական, իսկ 1997թ. ՀՀՊՀ-ում՝ դոկտորական ատենախոսություններ:

Նրա՝ որպես հետազոտողի ձևավորման գործում վճռորոշ դարձավ 1964-69 թթ. աշխատանքը Օդեսայի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի մեքենաների մասերի ամբիոնի վարիչ, բնագավառի հանրաճանաչ գիտական պրոֆ. Վ.Ա.Դոբրովոլսկու հետազոտական խմբում, ուր զբաղվում էին մեխանիկական համակարգերի ամրության, երկարակեցության, հուսալիության հաշվարկների և նախագծման

հիմնահարցերով:

Մ. Ստակյանի գիտական հետաքրքրությունների շրջանակն ընդգրկում է հետևյալ հարցերը՝ ծայրահեղ պայմաններում (փոփոխական բարդ լարվածային վիճակ, կոռոզիոն միջավայր, ջերմային և լազերային ճառագայթման ազդեցություն) աշխատող հանգույցների և մեքենամասերի հոգնածային դիմադրության և ճաքակայունության հաշվարկային մեթոդների մշակում, հոգնածային լավարկված գիտափորձի մեթոդաբանության ստեղծում, ճաքագոյացման և զարգացման մեխանիզմների ուսումնասիրում, հոգնածային փորձարկումների և ճաքերի ուսումնասիրման համար անհրաժեշտ սարքավորման նախագծում,

գիտափորձի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում, նոր տեխնոլոգիական գործընթացների մշակում, որոնց արդյունքով կարելի է հասնել մեքենաշինական արտադրանքի նյութատարության նվազեցման:

Դեռևս 70-ական թվականներին նա ԵրՊԻ մեքենաների մասերի ամբիոնում հիմնել է հոգնաձային փորձարկումների լաբորատորիա և ղեկավարում է հետազոտական խումբ, որի կազմում ընդգրկված են դասախոսներ, ասպիրանտներ և մագիստրանտներ:

Մ. Ստակյանի հետազոտական խումբը մեր հանրապետության, ինչպես նաև ՌԴ-ի, Ուկրաինայի և Բելառուսի հետազոտական կենտրոնների, բուհերի և ձեռնարկությունների հետ համատեղ 1975-91թթ. իրականացրել է գիտատեխնիկական համագործակցության մի տասնյակ ծրագրեր, որոնց արդյունքներով էլեկտրամեքենաշինության և գյուղատնտեսական մեքենաների արտադրություններում առաջադրվել են նոր հաշվարկային մեթոդներ և տեխնոլոգիական գործընթացներ: Եվրոպական համագործակցության հետազոտական ծրագրերի շրջանակներում 1994-96թթ. նա գործուղվել է Աթենքի ազգային տեխնիկական համալսարան, Լոնդոնի Բրյունելի և Բել-ֆաստի Թագուհու համալսարաններ: Իր հետազոտության արդյունքները զեկուցել է 36 տարբեր գիտաժողովներում և հրատարակել է շուրջ 196 գիտական աշխատություններ, այդ թվում՝ ՀՀ-ում և ՌԴ-ում հաստատագրված 11 արտոնագրեր և 4 ստանդարտ հաշվողական ծրագրեր: Կազմակերպել է 12 ասպիրանտների թեկնածուական ատենախոսությունների պաշտպանություններ, իրականացրել դոկտորական ատենախոսությունների խորհրդատվություններ, այժմ էլ ղեկավարում է ՀՊՀՀ ասպիրանտների և մագիստրանտների գիտական աշխատանքները:

1975 թվականից նա համագործակցում է ՀՀ ԳԱԱ ֆիզ.-տեխ. բաժանմունքի աշխատանքներին որպես մեքենաշինության սեկցիայի խորհրդի անդամ և «ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ տեղեկագիր, տեխն. գիտ. Մերիա» ամսագրի գլխ. խմբագրի տեղակալ (1975-2004թթ.):

Նա ՀՀ Մեխանիկայի և մեքենաշինության գիտատեխնիկական ընկերակցության գիտատեխնիկական և գիտական աստիճաններ շնորհող խորհուրդների անդամ է և մեծ ճանաչում ունի իր բնագավառի գիտնականների, հետազոտողների և ճարտարագետների շրջանում:

Մ.Ստակյանն իր ավանդն ունի հանրապետության ճարտարագիտական կադրերի պատրաստման գործում: 1992-97թթ. գլխավորել է ՀՊՀՀ ուսումնամեթոդական վարչությունը, մասնակցել բարձրագույն կրթության համակարգի վերափոխման և միջազգային չափանիշներին համապատասխանեցման աշխատանքներին: 1998-2000թթ. Մ. Ստակյանը աշխատել է ՀՀ կրթության և գիտության նախարարի տեղակալի պաշտոնում՝ համակարգելով բարձրագույն և միջին մասնագիտական կրթության և գիտության ոլորտների կազմակերպական աշխատանքները:

Ակտիվ մասնակցել է «ՀՀ կրթության մասին», «ՀՀ բարձրագույն և հետբուհական մասնագիտական կրթության մասին» օրենքների մշակման և ընդունման գործընթացներին: Նա ԱՊՀ անդամակից երկրների Միջխորհրդարանական Համաժողովի Կրթության խորհրդի կրթական ստանդարտների հանձնաժողովի փոխնախագահն է: Միջկառավարական հանձնաժողովների կազմում 1998-2000 թթ. մասնակցել է ՀՀ-ի և տարբեր երկրների հետ կրթության և գիտատեխնիկական համագործակցության վերաբերյալ համաձայնագրերի մշակման և ընդունման աշխատանքներին:

Պրոֆ. Մ. Ստակյանը իր 65-ամյակն է թևակոխում ստեղծագործական վերելքի պայմաններում և երիտասարդական ավյունով շարունակում է ղեկավարել իր հետազոտական խմբի աշխատանքները՝ դրանում ներգրավելով նորանոր երիտասարդ գիտաշխատողների:

«Տեղեկագրի» խմբագրական կոլեգիան նույնպես միանում է մեխանիկայի և մեքենաշինության բնագավառի մասնագետների բարեմաղթություններին, հոբելյարին ցանկանում առողջություն և երկար տարիների արդյունավետ գործունեություն:

ՄԱՐԳԻՍ ՀՈՎՀԱՆՆԵՍԻ ՄԻՄՈՆՅԱՆ

(ծննդյան 60-ամյակի կապակցությամբ)

Լրացավ կառավարման և ավտոմատացման բնագավառի ճանաչված գիտնական տ.գ.դ., պրոֆ., Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի «Տեխնիկական համակարգերի ինֆորմացիոն ապահովում» ամբիոնի վարիչ, ՀՀԱ ակադեմիկոս **Սարգիս Հովհաննեսի Միմոնյանի** ծննդյան 60-ամյակը և գիտամանկավարժական գործունեության 35-ամյակը:



Ս.Հ.Միմոնյանը ծնվել է 1946թ. Իջևան քաղաքում: 1964 թվականին ոսկե մեդալով ավարտելով տեղի N 1 միջնակարգ դպրոցը (որն, ի դեպ, հիմնադրվել է իր պապերի կողմից՝ դեռևս 1858 թ.)՝ նույն թվականին ընդունվել է Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի «Ավտոմատիկայի և հաշվողական տեխնիկայի» ֆակուլտետ, որը գերազանցությամբ ավարտել է 1969 թվականին՝ ստանալով ինժեներ-էլեկտրիկի որակավորում «Ավտոմատիկա և հեռուս-

տամեխանիկա» մասնագիտությամբ:

1969-1974 թթ. աշխատել է ԽՍՀՄ Էներգետիկայի նախարարության Հայաստանի էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտում՝ սկզբում որպես ավագ ինժեներ, այնուհետև՝ կրտսեր գիտաշխատող:

1974-1977 թ.թ. Ս.Հ.Միմոնյանը սովորել է Ուկրաինայի ԳԱ-ի Էլեկտրադինամիկայի ինստիտուտի ասպիրանտուրայում, որն ավարտելուց հետո նույն թվականին պաշտպանել է իր թեկնածուական ատենախոսությունը Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադ. Գ.Ե.Պուխովի և պրոֆ. Գ.Ի. Գրեգորովի գիտական ղեկավարությամբ: Վերադառնալով Երևան՝ 1977-1978 թ.թ. Ս.Հ.Միմոնյանը նախ աշխատել է որպես ԽՍՀՄ Գլխատմեներգոյի «Էներգիա» ԳԱՄ «Ատոմային կայանների աշխատանքային ռեժիմների մոդելավորման սեկտորի» վարիչ, այնուհետև՝ ԽՍՀՄ Գազարդի Էկոնոմիկայի ԳՀԻ Երևանի բաժանմունքի «Ավտոմատացված կառավարման համակարգեր» լաբորատորիայի ավագ գիտաշխատող:

1978 թվից ԵՐՊԻ-ի հրավերով Ս.Հ.Միմոնյանն աշխատում է Տեխնիկական կիբեռնետիկայի ֆակուլտետի «Ավտոմատիկա և հեռուստամեխանիկա» ամբիոնում, այնուհետև նորաստեղծ «Ավտոմատացված կառավարման համակարգեր» ամբիոնում՝ որպես դոցենտ: Հետագայում «Ինֆորմատիկա և կառավարում», «Չափիչ տեխնիկա և ինֆորմացիոն համակարգեր» ամբիոնների դոցենտ էր, իսկ 1995 թվականից՝ պրոֆեսոր:

1998 թ. պրոֆ. Ս.Հ.Սիմոնյանը ստեղծում և մինչ օրս ղեկավարում է ՀՊՃՀ Կիրեոնետիկայի դեպարտամենտի «Տեխնիկական համակարգերի ինֆորմացիոն ապահովում» ամբիոնը:

Ս.Հ. Սիմոնյանը ճանաչված գիտնական է. դեռևս ԵրՊԻ-ում ուսանելիս՝ արդեն 3-րդ կուրսում նրա ակնհայտ գիտական հակումները նկատվեցին ՀԳԱԱ ակադ., «Ավտոմատիկա և հետուստամեխանիկա» ամբիոնի վարիչ և ԵրՊԻ-ի գիտական աշխատանքների գծով պրոռեկտոր Գ.Լ.Արեշյանի կողմից, որի հետ սերտ համագործակցությունը շարունակվեց մինչև երջանկահիշատակ ուսուցչի մահը (2003թ.):

Ս.Հ.Սիմոնյանի գիտական հետազոտությունները վերաբերում են կառավարման տեսությանը և պրակտիկային, օպտիմալացման համակարգերին, ժամանակի իրական և արագացված մասշտաբներում զանազան տեխնոլոգիական գործընթացների կառավարմանը, հաշվողական մաթեմատիկային, դիֆերենցիալ ձևափոխություններին, հիբրիդ հաշվողական տեխնիկային և այլ բնագավառներին: Թվարկված գիտական հետաքրքրությունների այս լայն շրջանակներից, այնուամենայնիվ, կարելի է առանձնացնել հետևյալ երեք հիմնական ոլորտները, որոնցում առավել ցայտուն են դրսևորվել նրա՝ որպես լուրջ գիտնականի որակները.

- գործնականորեն լուծել է օպտիմալ կառավարման տեսության մեջ հայտնի Ֆելդբաումի հիմնախնդիրը՝ ընդհանրացված դրվածքով (այդ արդյունքները լուսաբանվել են նրա «Դինամիկ օպտիմալացման խնդիրների հիբրիդ մոդելավորման որոշ հարցեր» թեմայով թեկնածուական ատենախոսությունում (1977թ.)),

- մշակել է ոչ գծային ծրագրավորման դինամիկական խնդիրների բավականաչափ լայն դասում ընդգրկվող զանազան մասնավոր խնդիրների լուծման նոր արդյունավետ մեթոդներ, ալգորիթմներ, մասնագիտացված կիրառական ծրագրերի փաթեթներ, ինչպես նաև մասնագիտացված հիբրիդ հաշվիչների սինթեզման հիմունքները (այդ արդյունքները տեղ են գտել նրա «Ոչ գծային ծրագրավորման դինամիկական խնդիրների մասնագիտացված հաշվիչների սինթեզման հիմունքները» դոկտորական ատենախոսությունում (1993թ.)),

- հիմնավորել և իրականացրել է Գ.Ե.Պուխովի կողմից առաջարկված, այսպես կոչված, դիֆերենցիալ ձևափոխությունների նորագույն սիմվոլիկ մաթեմատիկական ապարատը ոչ դինամիկական համակարգերի վրա տարածելու՝ սկզբունքորեն նոր մոտեցումը, ինչպես նաև նշանակալիորեն զարգացրել է այդ ձևափոխությունների տեսությունը դինամիկական համակարգերի բնագավառում (1986-2006թ.թ.): Դրանով իսկ փաստորեն ձևավորվել է հիմնարար հետազոտությունների ոլորտի նոր գիտական ուղղություն և ստեղծվել է նոր գիտական դպրոց:

Ս.Հ.Սիմոնյանի կողմից ստացված գիտական արդյունքների մի մասը Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադ. Գ.Ե.Պուխովի, թղթ.-անդամ Վ.Վ.Վասիլևի, տ.գ.դ. Ա.Ֆ.Վերլանի ներկայացմամբ տպագրվել է “Электронное моделирование” միջազգային հանդեսում, ինչպես նաև թարգմանաբար՝ ԱՄՆ-ում լույս տեսնող “Engineering Simulation” պարբերականում:

Պրոֆ. Ս.Հ.Սիմոնյանը թվով 30 գեկուցումներով հանդես է եկել ինչպես միջազգային, այնպես էլ համամիութենական և հանրապետական զանազան գիտաժողովներում:

Ս.Հ.Սիմոնյանը նաև գիտության բնագավառի հմուտ կազմակերպիչ է. 1998թ. նա ՀՊՃՀ-ում հիմնադրել և խմբագրում է “Моделирование, оптимизация, управление” խորագիրը կրող գիտական աշխատանքների ժողովածուն: Վերջինս աչքի էր ընկնում մասնագիտական բարձր որակներով, որի պատճառով էլ այն 2003թ. ընդգրկվել է ՀՀ ԲՈՀ-ի կողմից հաստատված դոկտորական և թեկնածուական ատենախոսությունների արդյունքների տպագրման համար

ընդունելի պարբերական գիտական հրատարակությունների ցանկում, իսկ 2004թ.-ից վերանվանվել է ՀՊՀՀ Լրաբերի “Моделирование, оптимизация, управление” սերիայի: Լրաբերը մեծ ներդրում ունի մոդելավորման, օպտիմալացման և կառավարման բնագավառների տարբեր մասնագետների կողմից ստացված ժամանակակից գիտական արդյունքների պրոպագանդման գործում:

Պրոֆ. Ս.Հ.Սիմոնյանի ղեկավարությամբ պաշտպանվել են 9 թեկնածուական և 20 մագիստրոսական ատենախոսություններ: Ներկայումս նա 2 դոկտորական ատենախոսությունների գիտական խորհրդատու է և 8 թեկնածուական ատենախոսությունների գիտական ղեկավար: Նա շուրջ 140 գիտական աշխատությունների, այդ թվում՝ 3 մենագրության հեղինակ (համահեղինակ) է: Ղեկավարել է 7 պայմանագրային թեմաներ, որոնց արդյունքները ներդրվել են ԽՍՀՄ ռազմական արդյունաբերության տարբեր բնագավառներում: Չորս պետությունների թեմաների շրջանակներում ստացվել են հիմնարար հետազոտությունների ոլորտներում ընդգրկվող կարևորագույն գիտական արդյունքներ, որոնք պարբերաբար հրատարակվել են “Электронное моделирование” հանդեսում, ՀՀ ԳԱԱ «Ջեկոյցներում», ներկա «Տեղեկագրում», Вестник ГИУА, серия “Моделирование, оптимизация, управление”-ում և այլուր:

Տպավորիչ է նաև Ս.Հ.Սիմոնյանի ուսումնամեթոդական աշխատանքների ցանկը. նա հեղինակ և համահեղինակ է 28 մեթոդական աշխատանքների, որոնց թվում՝ 1 դասագիրք, 9 ուսումնական ձեռնարկներ, 1 բառարան, 4 համառոտագրությունների տեքստեր և այլն:

Ս.Հ.Սիմոնյանը նաև ակտիվ հասարակական գործիչ է. նա ՀՀ ԿԳՆ տեխնիկական գիտությունների փորձագիտական հանձնաժողովի անդամ է, ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՀՀ Տեղեկագրի և ՀՀ ՃԱ Լրաբերի խմբագրական խորհուրդների անդամ, դոկտորական և թեկնածուական ատենախոսությունների պաշտպանության 032 Մասնագիտական խորհրդի անդամ և գիտական քարտուղար, ՀՊՀՀ-ի գիտատեխնիկական խորհրդի նախագահի տեղակալ, ՀՀ Էներգետիկայի նախարարության «Էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ գիտական խորհրդի անդամ և այլն:

Իր անբասիր գիտամանկավարժական գործունեության համար ստացել է ՀՀ ԿԳՆ պատվոգիր, ՀՊՀՀ վաստակագիր, ՀՃԱ Պատվո նշան, ՀՊՀՀ Ոսկե հուշամեդալ, բազմաթիվ անգամ ճանաչվել է ՀՊՀՀ զանազան մրցույթների հաղթող (լավագույն մենագրության համար՝ 1-ին մրցանակ, լավագույն գիտական աշխատանքների համար՝ 1-ին և 2-րդ մրցանակներ, լավագույն ուսումնական ձեռնարկների համար՝ 1-ին և 2-րդ մրցանակներ և այլն):

Պրոֆ. Ս.Հ.Սիմոնյանն ապրում է իր գիտամանկավարժական գործունեության ծաղկուն շրջանը: Նա դեռևս բազում անելիքներ ունի թե՛ գիտության և թե՛ երիտասարդ բարձրորակ կադրերի պատրաստման ասպարեզներում:

«Տեղեկագրի» խմբագրական կոլեգիան , շնորհավորելով իր գործընկերոջը ցանկանում է նրան քաջառողջություն, նորանոր առաջնակարգ գիտական նշանակություն ունեցող արդյունքների ստացում, դեպի որոնք անվարան ընթանում է նա՝ իր անմնացորդ նվիրումով և բեղմնավոր աշխատանքային գործունեությամբ:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Գ.Լ., ԼԵՎՈՆՅԱՆ Հ.Լ.

ԵՌԱԿԱԼ ՎԱԾ ՆՅՈՒԹԻՑ ԹԵՐԹԻ ՊԼԱՍՏԻԿ ԾՌՈՒՄԸ 455

ՇԵԿՅԱՆ Հ.Գ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Է.Պ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Ռ.Պ., ԽԱԼԱԹՅԱՆ Հ.Պ.

ՊՏՏՎՈՂ ՃԿՈՒՆ ՌՈՏՈՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏԸ ՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ
ԴԱՇՏՈՒՄ 462

ՍՈՒՍԱՅԵԼՅԱՆ Գ.Վ., ՋԱՔԱՐՅԱՆ Լ.Հ.

ԲԵՌՆԱՏԱՐ ԱՎՏՈՄՈԲԻԼԻ ՇՐՋԱՆԱԿԻ ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ ՀԱՐԹՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ԾՌՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԲԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ..... 465

ՍՍՄՐԱ Ղ.Ա.

ԳԵՐՋԱՅՆԱՅԻՆ ՇՐՋՀՈՍՄԱՆ ԵՎ ԵԶՐԵՐԻՆ ԿԵՆՏՐՈՆԱՑԱԾ ՋԱՆԳՎԱԾՆԵՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ
ԴԵՊՔՈՒՄ ՍԱԼԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴԻՐԸ..... 472

ԱՐԹՈՒՆՅԱՆ Ա.Վ.

ՄԱՍԼՎԱԾՔԻ ԲԱՐՋՐՈՒԹՅԱՄԲ ԲԱՐԴ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ ՁՏ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ՏԱՐԲԵՐ
ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ..... 479

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա.

ԲԱՐՋՐ ԼԻԱՄԽՎԵԼԻՈՒԹՅԱՄԲ ՈՉ ՋԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆ ԳՈՐԾԻՔԱՅԻՆ ՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ
ՋԵՐՄԱՅԻՎԼԻԿ ՄԻՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՆԱԻՐԻՏԱՅԻՆ ԼԱՏԵՔՍԻ ՋՐԱՅԻՆ
ԼՈՒԾՈՒՅԹՈՒՄ 484

ՋԱՔԱՐՅԱՆ Հ.Հ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Ռ., ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Ն.Ն., ՏՈՆՈՅԱՆ Ա.Հ.

ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ Վ.Գ., ԴԱՎԹՅԱՆ Ս.Պ.

Ե - ԿԱՊՐՈԼԱԿՏԱՄԻ ԱՆԻՍՈՆԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎԱՅՎԱԾ ՊՈԼԻՄԵՐԱՑՄԱՆ ՋԵՐՄԱՅԻՆ
ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ..... 490

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Հ.Ա., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ա.Ս.

ԼԵԳԻՐՈՂ ՏԱՐԲԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՊՂՆՁԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՎՐԱ 499

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Կ.Գ.

ԿԱՐԾՐ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔԵ ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՎ ՋԵՐՄԱՔԻՄԻԱԿԱՆ
ՄՇԱԿՄԱՆ ԱՌԱՋՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ 505

ՄԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Ս., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ս.Վ., ԱՎԱԳՅԱՆ Թ.Ռ.

ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԲԱՐՋՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ԶՈՒՏ
ՀԻՐՈՍՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՑԻՆԿԻ ԿՈՐԶՄԱՆ
ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՆ 511

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Վ.Հ., ԱՂԱՍՅԱՆ Տ.Ս., ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ Ս.Է.,

ՊՈՂՈՍՅԱՆ Ս.Վ.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԻՐԻՏ-ԽԱԼԿՈՊԻՐԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՓՈԽԱՐԿՈՒՄՆԵՐԸ
ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ..... 516

ՋԱՔԱՐՅԱՆ Ա.Ս.

ԽԻՍՏ ՃԵՂՔԱՎՈՐՎԱԾ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ 523

ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ռ.Զ., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ս.Ա.

ԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՎՆԱՍԻ ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ..... 530

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Վ.Ս., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ս.Է.

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՑԱՆՑԻ ԱԿՏԻՎ ԵՎ ՌԵԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՄԱՍՆԱԿԻ ԱԾԱՆՅՅԱԼՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄՆ ԸՍՏ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ
ԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ..... 539

ՀԱԿՈՒՑԱՆՅԱՆ Գ.Դ., ՄԱՖԱՐՅԱՆ Վ.Ս.	
ՇՂԹԱՅԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇ	
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ.....	549
ԳՆՈՒՆԻ Տ.Ս., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ս.Ս.	
ՑԱՆՑԱՅԻՆ ՀՈՂՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆԻ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՀՈՂՄԱԷԼԵՐԳԵՏԻԿ ՆԵՐՈՒԺԻ	
ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ	555
ՇԱՀԲԱԶՅԱՆ Ս.Ա.	
ՈՉ ՄԻՄԵՏՐԻԿ ԿԱՐՃ ՄԻԱՑՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱՐԴ ՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ	
ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ.....	564
ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ Գ.Ա., ԿԱՐԴԱՇՅԱՆ Ա.Գ.	
ՓՈԽԻՆԴՈՒԿՏԻՎ ԿԱՊՈՎ ԵՐԿՈՒ ՏՈՐՈՒԴԱԼ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ ՄԻԱԺԱՄԱՆԱԿՅԱ	
ՄԱԳՆԻՍԱՑՈՒՄՈՎ ՇՂԹԱՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ.....	573
ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ն.Ն., ԿԱՐՈՅԱՆ Գ.Ս.	
ԻՈՆԱՅԻՆ ԱԶՈՏԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՆԱԽԱՏԵՍՎԱԾ ՄՆՄԱՆ ԱՂԲՅՈՒՐԻ ՍՏԱՏԻԿ	
ԲՆՈՒԹԱԳԾԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ.....	581
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ռ.Հ.	
ԵՐԿԶԻՂ ԵՐԿՇԵՐՏ ԶՐԱԿԱՅՈՒՆ ՄԻԿՐՈԷՍԱԼԱԼԱՐԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻ	
ՄՇԱԿՈՒՄԸ.....	589
ՂԱԶԱՐՅԱՆ Վ.Կ.	
ԳԼԱՆԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔԻ ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ԻՆԴՈՒԿՑԻՈՆ ԱՐԱԳԱՅՈՒՅՉԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ 597	
ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ Կ.Զ., ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ Դ.Ա.	
ՅՈԹՄԵԳՄԵՆՏԱՅԻՆ ԹՎԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ՑՈՒՑԻՉՆԵՐԻ ԿՈՂԻ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉՆԵՐ ԵՐԿՈՒԱԿԱՆ-	
ՏԱՍԱԿԱՆ 8421 ԿՈՂԻ.....	605
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Ս., ՂՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ., ՄԱՆԱՍՅԱՆ Վ.Ա.,	
ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ Հ.Ա., ԱԴԻԲԵԿՅԱՆ Ս.Վ., ՄԻՐԶՈՅԱՆ Ա.Ա.	
ՄԵՅՍՄԻԿԱԿԱՆ ՎՏԱՆԳԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԻՈՆՈԼՈՐՏԻ ՈՒՂԱՀԱՅԱՑ ԶՈՆԴԱՎՈՐՄԱՆ	
ՀԱՄԱԿԱՐԳ	609
ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ Գ.Շ.	
ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ԳՈՏՈՒՄ ԼԱՅՆԱՇԵՐՏ ՀԱՄԱԼԱՐՈՒՄ	
ՖԱՐԻ-ՓԵՐՈՅԻ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԴԻՈԴՈՒՄ	615
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ռ.Ս.	
ՊՈՄՊԱԿԱՅԱՆԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇԵԼԸ, ԵՐԲ m ՄԻԱՆՄԱՆ	
ԿԵՆՏՐՈՆԱԽՈՒՅՄ ՊՈՄՊԵՐ ԱՇԽԱՏՈՒՄ ԵՆ ԶՈՒԳԱՀԵՌ n ՄԻԱՆՄԱՆ	
ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԵՐԻ ՀԵՏ ՀԱՄԱՏԵՂ՝ ՓԱԿԱՆՆԵՐԻ ՀԱՎԱՍԱՐԱԶՈՓ	
ԴՐՈՍԵԼԱՅՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ	619
ՎԱՐԴԵՐԵՍՅԱՆ Գ.Յ., ԱՆՏՈՆՅԱՆ Է.Է., ՄԻՐԱԿԱՆՅԱՆ Ս.Ա., ԹԱՀՄԱԶՅԱՆ Կ.Ծ.	
ՄՈՂԻՖԻԿԱՅՎԱԾ ՓՔՈՒՆ ՊԵՌԼԻՏԻ ԿԼԱՆԻՉ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ	
ԴԻՆԱՄԻԿ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ	631
ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Վ.Ա., ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ Լ.Հ.	
ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԸ ՄԵԿ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ՏԵՂԱԿԱՅՎԱԾ ԶՂԵՐՈՎ	
ՀՈՍԱՆԱՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐՈՒՄ՝ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՄՈՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ԷՖԵԿՏՆԵՐԻ	
ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ.....	636
ՄԻՀՐԱՆ ԳՐԻԳՈՐԻ ՍՏԱԿՅԱՆ	
ԾՆՆԴՅԱՆ 65-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՄԲ.....	642
ՄԱՐԳԻՍ ՀՈՎՀԱՆՆԵՍԻ ՄԻՍՈՆՅԱՆ	
ԾՆՆԴՅԱՆ 60-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՄԲ	645

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕТРОСЯН Г.Л., ЛЕВОНЯН А.Л.	
ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ ЛИСТА ИЗ СПЕЧЕННОГО МАТЕРИАЛА	455
ШЕКЯН Г.Г., ХАЛАТЯН Э.П., ХАЛАТЯН Р.П., ХАЛАТЯН А.П.	
ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГИБКОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РОТОРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	462
МУСАЕЛЯН Г.В., ЗАКАРЯН Л.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБА РАМЫ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	465
САМРА Г.А.	
ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ ОБТЕКАНИИ И НАЛИЧИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ МАССЫ НА КРОМКАХ.....	472
АРТУНЯН А.В.	
О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ВЫСОТЕ ПРЕССОВКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЛОЖНОПРОСТРАНСТВЕННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ	479
АГБАЛЯН С.Г., ПЕТРОСЯН А.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НЕТЕПЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ ВЫСОКОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАИРИТОВОГО ЛАТЕКСА.....	484
ЗАКАРЯН А.О., ХАЧАТРЯН А.Р., КИРАКОСЯН Н.Н., ТОНОЯН А.О., ТОВМАСЯН В.Г., ДАВТЯН С.П.	
О ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМАХ АНИОННОЙ АКТИВИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ε - КАПРОЛАКТАМА	490
КАРАПЕТЯН Г.А., АГБАЛЯН А.С.	
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ	499
КАРАПЕТЯН К.Г.	
ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	505
САРГСЯН Л.Е., ОГАНЕСЯН А.М., МАРТИРОСЯН М.В., АВАГЯН Т.Р.	
ТЕРМОДИНАМИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ЧИСТО ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	511
МАРТИРОСЯН В. А., АГАМЯН Т.С., САСУНЦЯН М.Э., ПОГОСЯН М.В.	
ПРЕВРАЩЕНИЯ ПИРИТ- ХАЛЬКОПИРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА АРМЕНИИ ВСЛЕДСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ	516
ЗАКАРЯН А.М.	
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СИЛЬНО ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД	523
МАРУХЯН В.З., ГЕВОРКЯН С.А.	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА	530
ХАЧАТРЯН В.С., ГРИГОРЯН С.Э.	
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ОТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО АКТИВНЫМ МОЩНОСТЯМ СТАНЦИОННЫХ УЗЛОВ	539
АКОПДЖАНИЯН Г.Д., САФАРЯН В.С.	
НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПНЫХ СХЕМ	549
ГНУНИ Т.С., ХАЧАТРЯН С.С.	

МЕТОД ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАСЧЕТНОГО ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕТЕВОЙ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	555
ШАХБАЗЯН С.А.	
К ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА НАЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ВИДОВ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ	564
КАРДАШЯН Г.А., КАРДАШЯН А. Г.	
АНАЛИЗ НАМАГНИЧИВАЮЩИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАМАГНИЧИВАНИИ ДВУХ ТОРОИДАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ	573
ПЕТРОСЯН Н.Н., КАРОЯН Г.С.	
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ	581
ХАЧАТРЯН Р.А.	
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ДВУЖИЛЬНЫХ ВОДОСТОЙКИХ МИКРОЭМАЛЬПРОВОДОВ.....	589
КАЗАРЯН В.К.	
РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРТЕЛЯ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ КАТУШКАМИ.....	597
МИРЗАБЕКЯН К.Д., ШАХКАМЯН Д.А.	
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЕМИСЕКМЕНТНОГО ЦИФРОВОГО КОДА В ДВОИЧНО-ДЕСЯТИЧНЫЙ КОД 8421.....	605
МАРТИРОСЯН Р.М., ГУЛЯН А.Г., САНАМЯН В.А., ПИРУМЯН Г.А., АДИБЕКЯН М.В., МИРЗОЯН А.А.	
СИСТЕМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ	609
ШМАВОНЯН Г.Ш.	
ШИРОКОПОЛОСНАЯ НАСТРОЙКА В ОПТИЧЕСКОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ ЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ФАБРИ-ПЕРО	615
ХАЧАТРЯН Р. М.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ m ОДИНАКОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ СОВМЕСТНО С n ОДИНАКОВЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ В СЛУЧАЕ РАВНОМЕРНОГО ДРОССЕЛИРОВАНИЯ ЗАДВИЖЕК.....	619
ВАРДЕРЕСЯН Г.Ц., АНТОНЯН Э.Э., СИРАКАНЯН М.А., ТАГМАЗЯН К.Ц.	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕФТЕПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	631
ГРИГОРЯН В.А., КАРАХАНИЯН Л.О.	
ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ТОКОПРОВОДАХ С РАСПОЛОЖЕННЫМИ В ОДНОЙ ПЛОСКОСТИ ЖИЛАМИ ПРИ УЧЕТЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА И ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ.....	636
СТАКЯН МИГРАН ГРИГОРЬЕВИЧ	
К 65-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	642
САРГИС ОГАНЕСОВИЧ СИМОНЯН	
К 60-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	645

CONTENTS

PETROSYAN G.L., LEVONYAN H.L.	
PLASTIC BENDING OF PLATE FROM SINTERED MATERIAL.....	455
SHEKYAN G.G., KHALATYAN E.P., KHALATYAN R.P., KHALATYAN A.P.	
STABILITY LOSS OF FLEXIBLE ROTOR IN MAGNETIC FIELD.....	462
MUSAYELYAN G.V., ZAKARYAN L.H.	
INVESTIGATION OF TRUCK FRAME BENDING IN VERTICAL PLANE WITH THE HELP OF FINITE-ELEMENT METHOD.....	465
SAMRA G.A.	
THE PROBLEM OF THIN PLATE STABILITY AT SUPERSONIC FLOW AND PRESENCE OF CONCENTRATED WEIGHT AT EDGES	472
ARTUNYAN A.V.	
THE POSSIBILITY OF OBTAINING DIFFERENT STRESSES WITH THE HEIGHT OF PRESSING BY THE USE OF THREE-DIMENSIONAL ULTRASONIC FLUCTUATIONS.....	479
AGHBALYAN S.G., PETROSYAN A.A.	
STUDY OF THERMOCYCLIC FORGING PROCESS FOR NONTHERMAL RESISTANT STEEL WITH HIGH HARDENABILITY WATER SOLUTION OF NAIRIT LATEX.....	484
ZAKARYAN H.H., KHACHATRYAN H.R., KIRAKOSYAN N.N., TONoyAN A.O., TOVMASYAN V.G., DAVTYAN S.P.	
ON THERMAL CONDITIONS OF ANIONIC ACTIVATED POLYMERIZATION OF ϵ - CAPROLACTAM	490
KARAPETYAN H.A., AGHBALYAN A.S.	
ALLOYING ELEMENT INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF COPPER.....	499
KARAPETYAN K.G.	
FEATURES OF HARD- ALLOY CUTTING INSTRUMENTAL MATERIAL DURING THERMAL AND CHEMICOTHERMAL TREATMENT	505
SARGSYAN L. Ye., HOVHANNISYAN A.M., MARTIROSYAN M.V., AVAGYAN T.R.	
THERMODYNAMICS OF ZINC RECOVERY BY CLEAR HYDROMETALLURGICAL METHOD FROM SULPHIDE CONCENTRATES WITH HIGH CONTENTS OF NOBLE METALS.....	511
MARTIROSYAN V.H., AGHAMYAN T.S., SASUNTSYAN M.E., POGHOSYAN M.V.	
PIRIT-CHALCOPIRITE CONCENTRATE INTERACTIONS UNDER MECHANICAL AND THERMAL IMPACT.....	516
ZAKARYAN A.M.	
EVALUTION OF STRONGLY JOINTED ROCKS STABILITY	523
MARUKHYAN V.Z., GEVORGYAN S. A.	
DEVELOPMENT OF METHODICS FOR ESTIMATION OF RELATIVE CHARACTERISTICS OF ECOLOGY DAMAGE	530

<i>KHACHATRYAN V.S., GRIGORYAN S.E.</i>	
METHOD OF DEFINING PARTIAL DERIVATIVES FROM LOSSES OF ACTIVE AND REACTIVE POWERS IN ELECTROPOWER SYSTEM OF ACTIVE POWERS OF STATION UNITS	539
<i>HAKOPJANYAN G.D., SAFARYAN V.S.</i>	
SOME FEATURES OF CHAIN CIRCUIT INPUT PARAMETERS	549
<i>GNUNI T.S., KHACHATRYAN S.S.</i>	
METHOD OF DESIGN SENSITIVITY ESTIMATION IN NETWORK WIND ENERGY POTENTIAL OF WIND POWER PLANT	555
<i>SHAGHBAZYAN S.A.</i>	
APPLICATION OF SUPERPOSITION METHOD FOR CALCULATING COMPLETE TYPES OF ASYMMETRICAL SHORT CIRCUITS	564
<i>KARDASHYAN G. A., KARDASHYAN A. G.</i>	
ANALYSIS OF MAGNETIZING CIRCUITS AT SIMULTANEOUS MAGNETIZATION OF TWO TOROIDAL SPECIMENS	573
<i>PETROSYAN N.N., KAROYAN G.S.</i>	
ANALYSIS AND RATING OF STATIC CHARACTERISTICS OF SUPPLY SOURCE FOR INSTALLATION OF ION NITROGEN	581
<i>KHACHATRYAN R.H.</i>	
DEVELOPMENT OF METHODS FOR ELECTRICAL CALCULATION OF TWO-STRAND RESISTANT MICROENAMEL WIRES	589
<i>GHAZARYAN V.K.</i>	
CALCULATION OF PULSED ELECTROMAGNETIC PLANE COIL GUN	597
<i>MIRZABEKYAN K.J., SHAGHGAMYAN D.A.</i>	
SEVEN-SEGMENT CONVERTERS TO BINARY DECIMAL CODE (8421)	605
<i>MARTIROSSYAN R.M., GOULYAN A.G., SANAMYAN V.A., PIROUMYAN H.A., ADIBEKYAN M. V., MIRZOYAN A. A.</i>	
REMOTE SENSING SYSTEM OF IONOSPHERE FOR ASSESSMENT OF SEISMIC RISKS	609
<i>SHMAVONYAN G.SH.</i>	
BROADBAND TUNING IN OPTICAL COMMUNICATION BAND USING FABRY-PEROT LASER DIODES	615
<i>KHACHATRYAN R.M.</i>	
DETERMINATION OF PUMPING STATION CAPACITY IN PARALLEL WORK OF m IDENTICAL CENTRIFUGAL PUMPS WITH n IDENTICAL DELIVERY PIPELINES WHEN THE VALVES ARE EVEN THROTTLED	619
<i>VARDERESYAN G.Ts., ANTONYAN E.E., SIRAKANYAN M.A., TAHMAZYAN K.Ts.</i>	
OIL-ABSORBING ABILITY STUDY OF MODIFIED SWELLED-UP PERLIT IN DYNAMIC CONDITIONS	631
<i>GRIGORYAN V.A., KARAKHANYAN L.H.</i>	
ENERGY LOSSES IN CABLES WITH STRANDS PLACED ON ONE SURFACE TAKING INTO ACCOUNT THE SURFACE AND PROXIMITY EFFECTS	636
<i>STAKYAN M.G.</i>	
TO THE 65-TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH	642
<i>SIMONYAN S.H.</i>	
TO THE 60-TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH	645