

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

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 75

N 2

ԱՊՐԻԼ – ՀՈՒՆԻՍ

ԵՐԵՎԱՆ 2022

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 75

N 2

АПРЕЛЬ – ИЮНЬ

ЕРЕВАН 2022

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES AND NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF
ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 75

N 2

APRIL - JUNE

YEREVAN 2022

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Գլխավոր խմբագիր՝ Մելիքյան Վ.Շ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գլխ. խմբագրի տեղակալ՝ Գրիգորյան Ա.Խ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Պատասխանատու քարտուղար՝ Մեյրանյան Ժ.Ս., ՀՀ
Խմբագրական կոլեգիա՝
Աղբալյան Ս.Գ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ասլանյան Լ.Հ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ն.Պ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Բաղդասարյան Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Գոնեւմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս
Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի
Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա
Ջորյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Իյուշենկո Ա.Ֆ., Բելառուսի ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Լան Զ., տ.գ.թ., Չինաստան
Կրասնիկով Գ.Յ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Կուրտուա Բ., տ.գ.թ., Ֆրանսիա
Հախումյան Ա.Ա., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Հակոբյան Վ.Ն., ֆ.-մ.գ.դ., ՀՀ
Հահանով Վ.Ի., Կիրառական ռադիոէլեկտրոնիկայի Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ.,
Ուկրաինա
Ղույան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Մանդալիկա Ս., տ.գ.թ., Հնդկաստան
Մարուխյան Ռ.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ
Միխայլենիչ Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Շիխտման Ու., տ.գ.թ., Գերմանիա
Չանգ Ֆ., Թայվանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., Թայվան
Չապլիգին Յու.Ա., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Պետրոսյան Օ.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Պետրոսյանց Կ.Օ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Սապատնեկար Ս., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Մարգարյան Յու.Լ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Սքիտնև Ս.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ստեմպկովսկի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Վորոբյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., ՌԴ
Ցանովա Ս., տ.գ.թ., Բուլղարիա
Ուբար Բ., Էստոնիայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Էստոնիա
Ուսանով Վ.Ի., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Меликян В.Ш., член-корр. НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Заместитель главного редактора Григорян А.Х., д.т.н., проф., Армения

Ответственный секретарь Сейранян Ж.С., Армения

Редколлегия:

Агбалян С.Г., д.т.н., проф., Армения

Акопян В.Н., д.ф.-м.н., Армения

Асланиян Л.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Ахумян А.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Багдасарян М.К., д.т.н., проф., Армения

Багдасарян О.В., д.т.н., проф., Армения

Бадалян Н.П., д.т.н., проф., Россия

Воробьев А.Е., д.т.н., проф., Россия

Гагаринский А.Ю., д.ф.-м.н., проф., Россия

Гонейма М., к.т.н., Египет

Гримблат В., к.т.н., Чили

Гулян А.Г., академик НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Докич Б., д.т.н., Босния и Герцеговина

Зорян Е., к.т.н., США

Ильющенко А.Ф., член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф., Беларусь

Красников Г.Я., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Куртуа Б., к.т.н., Франция

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

Михайлович А.А., д.т.н., проф., Беларусь

Петросян О.А., д.т.н., проф., Армения

Петросянц К.О., д.т.н., проф., Россия

Сапатнекар С., к.т.н., США

Саркисян Ю.Л., академик НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Сбитнев С.А., д.т.н., проф., Россия

Симонян С.О., д.т.н., проф., Армения

Стемпковский А.Л., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Тихомиров Г.В., д.ф.-м.н., Россия

Убар Р., академик НАН Эстонии, д.т.н., проф., Эстония

Усанов В.И., д.т.н., проф., Россия

Хаханов В.И., академик Академии наук Украины по прикладной радиоэлектронике, д.т.н., проф., Украина

Цанова С., к.т.н., Болгария

Чанг Ф., академик Национальной академии Тайваня, д.т.н., Тайвань

Чаплыгин Ю.А., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Шлихтманн У., к.т.н., Германия

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: Melikyan V.Sh., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Deputy Editor-in-Chief: Grigoryan A.Kh., Sci.Dr., Prof., Armenia
Executive Secretary: Seyranyan Zh.S., Armenia
Editorial Board:
Aghbalyan S.G., Sci.Dr., Prof., Armenia
Aslanyan L.H., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Badalyan N.P., Sci.Dr., Prof., Russia
Baghdasaryan H.V., Sci.Dr., Prof., Armenia
Baghdasaryan M.Q., Sci.Dr., Prof., Armenia
Chang F., Member of National Academy of Taiwan, Sci.Dr., Taiwan
Chaplygin Yu.A., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Courtois B., Ph.D., France
Dokic B., Sci.Dr., Bosnia and Herzegovina
Gagarinski A.Yu., Sci.Dr., Prof., Russia
Ghoneima M., Ph.Dr., Egypt
Ghulyan A.G., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Grimblatt V., Ph.Dr., Chile
Hahanov V.I., Academician of Academy of Sciences of Ukraine in Applied Radioelectronics, Sci.Dr., Prof., Ukraine
Hakhumyan A.A., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Hakobyan V.N., Sci.Dr., Armenia
Ilyushenko A.F., Corr.member of NAS of Belarus, Sci.Dr., Prof., Belarus
Krasnikov G.Y., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Lan Ch., Ph.Dr., China
Mandalika S., Ph.Dr., India
Marukhyan V.Z., Ph.Dr., Prof., Armenia
Mikhaylevich A.A., Sci.Dr., Prof., Belarus
Petrosyan O.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Petrosyants K.O., Sci.Dr., Prof., Russia
Sapatnekar S., Ph.Dr., USA
Sargsyan Yu.L., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Sbitnev S.A., Sci.Dr., Prof., Russia
Schlichtmann U., Ph.Dr., Germany
Simonyan S.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Stempkovski A.L., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Tikhomirov G.V., Sci.Dr., Russia
Tsanova S., Sci.Dr., Bulgaria
Ubar R., Academician of Academy of Sciences of Estonia, Sci.Dr., Prof., Estonia
Usanov V.I., Sci.Dr., Prof., Russia
Vorobyov A.Y., Sci.Dr., Prof., Russia
Zorian Y., Ph.Dr., USA

Հրատ. խմբագիր՝

Խմբագիրներ՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. Техн. наук), 2022

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

Տ Ե Ղ Ե Կ Ա Գ Ի Ր

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И НАЦИОНАЛЬНОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES AND
NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

2022

2

ՀԱՏՈՐ

ТОМ 75
VOLUME

ԱՊՐԻԼ – ՀՈՒՆԻՍ

АПРЕЛЬ – ИЮНЬ
APRIL - JUNE

Հրատ. Խմբագիր՝
Խմբագիրներ՝

ԺԱՆՆԱ Ս. ՄԵՅԴԱՆՅԱՆ
Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ
Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 18.11.2022

Թուղթը՝ «օֆսեթ»։ Տպագրությունը՝ դիզոն: Ֆորմատ՝ (70×100) 1/16:

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 10 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 268: Տպաքանակ՝ 200

Հայաստանի Ազգային
Պոլիտեխնիկական
Համալսարանի
«Պոլիտեխնիկ»

տպագրահրատարակչություն
Երևան, Տերյան 105

Типографско-
издательский центр
«Политехник»
Национального
политехнического
университета Армении
Ереван, ул. Теряна 105,

“Polytechnic” Publishing – House
National Polytechnic University of
Armenia
105 Teryan str. Yerevan

polytechpolygraph@gmail.com

A.A. BABAYAN

STUDYING THE EXTRUSION PROCESS OF A SINTERED THIN-WALL PIPE LOADED WITH INTERNAL HIGH PRESSURE IN CASE OF A BOUNDARY CONDITION IN THE DIE INLET

An analytical study of the process of sintered thin-wall pipe extrusion loaded with internal high pressure, on its cross section in the conical die inlet by compressing meridional dimensionless stress has been carried out. It is assumed that the external die pressure p_v and the internal high pressure p_r acting on the pipe are equal. In this case, the circumferential stress is determined and a simplified plasticity condition is obtained. The dimensionless values of meridional, circumferential and average stresses depending on the degree of pipe deformation were determined, which made it possible to study the processes of their compaction using the DTPPM equations at different values of coefficients of friction and initial porosities of the pipe material.

A computer simulation of the process was carried out in the MS EXEL software environment, presetting different initial values of the compressive meridional dimensionless stress. The pipe extrusion process will correspond to such an initial value of this stress, when the meridional stress of the pipe in the outlet of the die is equal to zero. In this case, the value of strain intensities is $\varepsilon_i = 0.258$.

The graphs of changes in 10, 20 and 30% of the initial porosities of the material show that the porosity becomes zero in the interval of value of deformation intensities ε_i from 0.116 to 0.132, and also in the case of large values of porosities and contact friction, the compaction of the material occurs more intensively.

Keywords: thin-walled pipe, extrusion, boundary condition, circumferential stress, sintered material, computer simulation.

Introduction. Works [1, 2] are devoted to the study of the forming processes of thin-walled pipes made of rigid-strengthening solid materials using the Huber-Mises plasticity condition in the presence of contact friction. Moreover, in [2], the problem of the stress-strain state (SSS) at the extrusion of a non-porous pipe is solved in case of loading it with an internal pressure p_r , and the sintered pipe formation in conical dies is carried out in the absence of the internal pressure. In this case, based on the equations of the flow theory of porous materials (TFPM), the solutions of the problems of plastic deformation in a conical die of sintered monometallic thin-walled pipes of various porosities are given.

It should be noted that the solutions to these problems, which are of great practical importance, are quite complicated, since they are based on the integration of a system of four differential equations.

In [3], a computer simulation of extrusion processes in a conical die of bimetallic rods and pipes made of non-strengthened solid materials with different yield strengths of their inner layers (rod and pipe) has been carried out. Types of Mises stress zones and SSS components have been obtained for different large values of the numerical data of the yield strengths of the inner rod and pipe, which differ from each other.

The analysis of the radial σ_r and the circumferential σ_θ stresses arising due to internal pressure on the outer pipe for bimetallic rods show that in the case of large yield strengths of the inner rod exceeding the yield strength of the outer pipe, the difference in the values of the outer pipe stresses (σ_r and σ_θ) is insignificant.

Based on the obtained stress zones σ_r and σ_θ , it is assumed that the pressures p_v and p_r , acting on the outer pipe are equal, i.e. $p_v \cong p_r$, where p_v is the die pressure on the pipe in the normal direction. In this case, the circumferential tension of the outer pipe $\sigma_\theta = -p_v = -p_r$ is determined, as a result of which a simplified plasticity condition is obtained, and then the SSS of the outer pipe is investigated by the analytical method.

Taking into account the influence of high internal pressure p_r , in the presence of contact friction [3], when tangential stresses $p_m = fp_v$, are formed on the pipe surface in the meridional direction, equilibrium equations [2] are given for solving the problems of plastic deformation of the pipe at a constant thickness of its wall ($h = \text{const}$), where f is the coefficient of friction. In this case, the plasticity condition is expressed through the absolute values of the stressed state components and is simplified by the analytical method of solving problems. The only resulting differential equation is solved using the boundary condition in the outlet of the conical die (the absence of meridional stresses). However, it is impossible to solve the problems of pressing bimetallic pipes in a conical die by this method. Consequently, works in this direction are topical.

The purpose of this work is to solve the problem of pressing a thin-wall pipe loaded with internal high pressure using the boundary condition in the inlet of a conical die by the analytical method.

Solutions to the problem of extrusion of thin-walled pipes loaded with internal high pressure. For this purpose, the equilibrium equations are used and, for plastic materials, the Huber-Mises plasticity condition, which is more precise, but rather complex one, takes into account the volumetric stress state [1, 2]:

Due to the complexity of the problem, as in [1,2], we will assume that the pressures p_v and p_r acting on the pipe are equal, that is, $p_v = p_r$. In this case, for the circumferential stress σ_θ we obtain:

$$\sigma_\theta = -p_v = -p_r. \quad (1)$$

When extruding the pipes loaded with internal high pressure, the main stresses σ_1, σ_2 and σ_3 will be as follows:

$$\sigma_1 = \sigma_m < 0, \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_\theta = -p_v = -p_r < 0, \quad (2)$$

consider that the Huber-Mises plasticity condition (PC) will look as follows:

$$\sigma_m - \sigma_\theta = \sigma_T, \quad (3)$$

where σ_m is the meridional stress and σ_T - the yield point.

Solving the basic equilibrium equation [2]

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r) - \sigma_\theta + \frac{2p_m}{\sin 2\alpha} = 0$$

with plasticity condition (3), we obtain formulas for determining the SSS components of thin-wall pipes during extrusion in a conical die. In the presence of friction ($f \neq 0$), i.e. $p_m = fp_v$, equations of equilibrium and PC for solving the problem in dimensionless stresses $\bar{\sigma}_m$ and $\bar{\sigma}_\theta$ will have the following form:

$$r \frac{d\bar{\sigma}_m}{dr} + \bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_\theta(1 + k) = 0, \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_\theta = \bar{\sigma}_m - 1, \quad (5)$$

where $k = 2f/\sin 2\varphi$,

$$\bar{\sigma}_m = \sigma_m/\sigma_T \text{ and } \bar{\sigma}_\theta = \sigma_\theta/\sigma_T. \quad (6)$$

It should be noted that having the values of dimensionless stresses and yield strengths of materials from (6), we can determine the following formulas for true stresses σ_m and σ_θ , which are of great practical importance:

$$\sigma_m = \bar{\sigma}_m \sigma_T, \sigma_\theta = \bar{\sigma}_\theta \sigma_T. \quad (7)$$

From the PC (5), substituting the value $\bar{\sigma}_\theta$ into the equilibrium equation (4) [2], and transforming it stepwise, we establish:

$$r \frac{d\bar{\sigma}_m}{dr} + \bar{\sigma}_m - (1 + k)(\bar{\sigma}_m - 1) = 0, d\bar{\sigma}_m = \frac{dr}{r}(\bar{\sigma}_m k - (1 + k)),$$

$$\frac{d\bar{\sigma}_m}{\bar{\sigma}_m k - (1 + k)} = -\frac{dr}{r}, \frac{d(\bar{\sigma}_m k - (1 + k))}{\bar{\sigma}_m k - (1 + k)} = k \frac{dr}{r}. \quad (8)$$

By integrating this differential equation, we obtain:

$$\ln(\bar{\sigma}_m k - (1 + k)) = k \ln r + \ln C. \quad (9)$$

To determine the integration constant C , we first transform (9) to the following form:

$$\ln[\bar{\sigma}_m k - (1 + k)] = \ln(r^k C), \quad (10)$$

and then the boundary condition is used.

The boundary condition for pipe extrusion according to the scheme in Fig. 1 when it enters the die has the following form:
when

$$r = r_0, \bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m0}, \quad (11)$$

which allows to determine C from (10):

$$C = \frac{[\bar{\sigma}_{m0} k - (1 + k)]}{r_0^k},$$

and then, putting it into (9), transforming it stepwise, we obtain a formula for determining the meridional stress $\bar{\sigma}_m$:

$$\begin{aligned} \ln[\bar{\sigma}_m k - (1 + k)] &= \ln, \\ \{[\bar{\sigma}_{m0} k - (1 + k)](r/r_0)^k\}, \\ \bar{\sigma}_m k - (1 + k) &= [\bar{\sigma}_{m0} k - (1 + k)](r/r_0)^k, \\ \bar{\sigma}_m k &= (1 + k) + [\bar{\sigma}_{m0} k - (1 + k)](r/r_0)^k, \\ \bar{\sigma}_m &= \frac{1+k}{k} + \left(\bar{\sigma}_{m0} - \frac{1+k}{k}\right)(r/r_0)^k. \end{aligned} \quad (12)$$

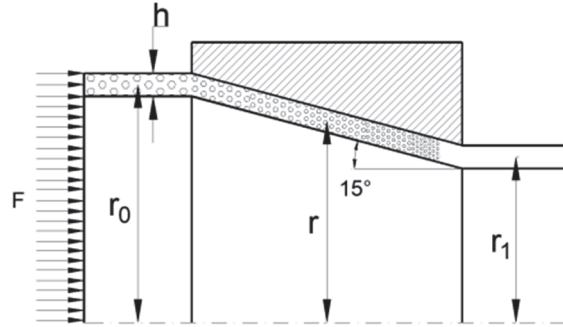


Fig. 1. The scheme of thin-walled pipe extrusion

For circumferential $\bar{\sigma}_{\theta 2}$ and for the compaction of sintered tube materials, which is of great importance, the average $\bar{\sigma}_0 = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)/3$ dimensionless stresses are determined by using formulas (1), (3) and (12):

$$\bar{\sigma}_\theta = -\bar{p}_v = \bar{\sigma}_m - 1 = -1 + \frac{1+k}{k} + \left(\bar{\sigma}_{m0} - \frac{1+k}{k}\right)(r/r_0)^k,$$

$$\bar{\sigma}_\theta = \frac{1}{k} + \left(\bar{\sigma}_{m0} - \frac{1+k}{k}\right)(r/r_0)^k, \quad (13)$$

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{\bar{\sigma}_m + 2\bar{\sigma}_\theta}{3} = \frac{3+k}{3k} + \left(\bar{\sigma}_{m0} - \frac{1+k}{k}\right)(r/r_0)^k. \quad (14)$$

It should be noted that this problem is solved quite simply by the second boundary condition for pipe extrusion, which is made for its outlet part from the die (Fig. 1) and it has the following form:
when

$$r = r_1, \bar{\sigma}_{m1} = 0. \quad (15)$$

Here we give only the formulas for the following dimensionless components of the stress state ($\bar{\sigma}_{m*}, \bar{\sigma}_{\theta*}$) and the average stress $\bar{\sigma}_{0*}$ obtained using the boundary condition (15), which allow to compare them with formulas (12)-(14), and then with their numerical results:

$$\bar{\sigma}_{m*} = \frac{1+k}{k} \left(1 - \left(\frac{r}{r_1}\right)^k\right), \quad (16)$$

$$\bar{\sigma}_{\theta*} = \bar{\sigma}_{m*} - 1173 = \frac{1+k}{k} \left(1 - \left(\frac{r}{r_1}\right)^k\right) - 1 = \frac{1}{k} - \frac{1+k}{k} \left(\frac{r}{r_1}\right)^k, \quad (17)$$

$$\bar{\sigma}_{0*} = \frac{\bar{\sigma}_{m*} + 2\bar{\sigma}_{\theta*}}{3} = \frac{1}{3} \left(\frac{1+k}{k} \left(1 - \left(\frac{r}{r_1}\right)^k\right) + 2 \left(\frac{1}{k} - \frac{1+k}{k} \left(\frac{r}{r_1}\right)^k \right) \right),$$

where

$$\bar{\sigma}_{0*} = \frac{1}{3} \left(\frac{3+k}{k} - \frac{3+3k}{k} \left(\frac{r}{r_1}\right)^k \right). \quad (18)$$

A comparison of formulas (12)-(14) and (16)-(18) shows that the main difference between them is the denominator of fractions of variable r of the problem: $\frac{r}{r_0}$ and $\frac{r}{r_1}$.

It should be noted that for determining the change in material porosity during the sintered pipe extrusion, the engineering analytical conjugate method is used in [3, 4], according to which the data obtained above and the equations of the deformation theory of plasticity of porous materials (DTPPM) [2] are used.

In [4], the yield stress of various sintered materials σ_{T_v} is expressed through the yield strength of the porous material substance σ_T and the porosity function $\beta^{n+0.5}$:

$$\sigma_{Tv} = \sigma_T \cdot \beta^{n+0,5}, \quad (19)$$

where v is the material porosity, $\beta = 1 - v$.

Consequently, to determine the true stresses σ_m and σ_θ , together with formulas (7), the following formulas should be used:

$$\sigma_m = \bar{\sigma}_m \beta^{n+0,5} \sigma_T, \sigma_\theta = \bar{\sigma}_\theta \beta^{n+0,5} \sigma_T. \quad (20)$$

It is necessary to use the following formula DTPPM [2] for the determination of the values of the current porosity of material v :

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp\left(-\frac{9v_0^m \sigma_0 \varepsilon_{eq0}}{(1-v_0)^{3n} \sigma_{eq0}}\right), \quad (21)$$

where v_0 is the initial porosity of the material; $\sigma_{eq0} = \sigma_T$ and $\varepsilon_{eq0} = \bar{\varepsilon}_i = 1,155|\bar{\varepsilon}_\theta|$ - the respectively simplified values of equivalent stresses and deformations [1,2]; r_0 - the initial radius of the pipe (Fig.1); m and n are the porosity parameters.

The results of the research. To solve the problem of thin-wall pipe extrusion, the following parameters were given: cone angle of matrix - $\varphi = 15^\circ$, the outer diameters of the pipe blank and the product - $D = 25 \text{ mm}$ and $d = 20 \text{ mm}$, the pipe thickness - 2 mm , the yield strength - $\sigma_T = 350 \text{ MPa}$.

Taking into account $k = 2f / \sin 2\varphi$, numerical calculations of the pipe extrusion process loaded with internal pressure were performed in the MS EXCEL software environment for various friction coefficients ($f = 0,05; 0,1$ и $0,15$). In these cases, the values of the coefficient k will be $0,2; 0,4$ and $0,6$.

Tables 1-4 and Fig. 2 show the data of SSS at $k = 0,4$ and $0,6$; initial material porosities $v_0 = 0,1; 0,2$ and $0,3$ in the case of $m = 1$ and $n = 0,25$ [2].

Numerical calculations were performed by formulas (12)-(14) in the absence of initial values of compressible meridional dimensionless stress $\bar{\sigma}_{m20}$, therefore a computer simulation of the process was performed in the MS EXCEL software environment by pre-setting different initial values $\bar{\sigma}_{m0}$. The pipe extrusion process will corresponded to a value $\bar{\sigma}_{m0}$ when the pipe meridional stress $\bar{\sigma}_m$ equals 0 in the outlet of die.

In Tables 1-3, at $k = 0,4$, the data of SSS given are for three values $\bar{\sigma}_{m0}$ ($-0,326; -0,327$ и $-0,328$), from which it follows that in the average case $\bar{\sigma}_{m0} = -0,327$, the meridional stress has acquired the value 0 in the die outlet. At $k = 0,6$, in the die inlet, the case $\bar{\sigma}_{m0} = -0,382$ was also found by computer simulation (Table 4), when the meridional stress $\bar{\sigma}_m = 0$ in the die outlet.

Table 1

Numerical calculation data in the presence of friction ($k = 0,4$) and initial meridional stress $\bar{\sigma}_{m0} = -0,326$

r/r_0	$-\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	$-\bar{\sigma}_m$	$-\bar{\sigma}_\theta$	$-\bar{\sigma}_0$	ν_1	ν_2	ν_3
1	0	0.000	0.326	1.326	0.993	0.100	0.200	0.300
0.98	0.020	0.023	0.295	1.295	0.962	0.080	0.161	0.242
0.96	0.041	0.047	0.264	1.264	0.931	0.061	0.122	0.183
0.94	0.062	0.071	0.232	1.232	0.899	0.042	0.083	0.122
0.92	0.083	0.096	0.200	1.200	0.867	0.024	0.044	0.060
0.9	0.105	0.122	0.168	1.168	0.835	0.006	0.007	-0.002
0.88	0.128	0.148	0.135	1.135	0.802	-0.010	-0.029	-0.063
0.86	0.151	0.174	0.102	1.102	0.769	-0.025	-0.064	-0.123
0.84	0.174	0.201	0.068	1.068	0.735	-0.040	-0.096	-0.180
0.82	0.198	0.229	0.034	1.034	0.701	-0.052	-0.126	-0.234
0.8	0.223	0.258	-0.001	0.999	0.666	-0.064	-0.153	-0.283

Table 2

Numerical calculation data in the presence of friction ($k = 0,4$) and initial compressive meridional stress $\bar{\sigma}_{m0} = -0,327$

r/r_0	$-\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	$-\bar{\sigma}_m$	$-\bar{\sigma}_\theta$	$-\bar{\sigma}_0$	ν_1	ν_2	ν_3
1	0	0.000	0.327	1.327	0.994	0.100	0.200	0.300
0.98	0.020	0.023	0.296	1.296	0.963	0.080	0.161	0.242
0.96	0.041	0.047	0.265	1.265	0.932	0.061	0.122	0.183
0.94	0.062	0.071	0.233	1.233	0.900	0.042	0.083	0.122
0.92	0.083	0.096	0.201	1.201	0.868	0.024	0.044	0.060
0.9	0.105	0.122	0.169	1.169	0.836	0.006	0.007	-0.002
0.88	0.128	0.148	0.136	1.136	0.803	-0.010	-0.030	-0.064
0.86	0.151	0.174	0.103	1.103	0.770	-0.026	-0.064	-0.123
0.84	0.174	0.201	0.069	1.069	0.736	-0.040	-0.097	-0.181
0.82	0.198	0.229	0.035	1.035	0.702	-0.053	-0.126	-0.235
0.8	0.223	0.258	0.000	1.000	0.667	-0.064	-0.153	-0.284

Table 3

Numerical calculation data in the presence of friction ($k = 0,4$) and initial compressive meridional stress $\bar{\sigma}_{m0} = -0,328$

r/r_0	$-\bar{\epsilon}_\theta$	$\bar{\epsilon}_i$	$-\bar{\sigma}_m$	$-\bar{\sigma}_\theta$	$-\bar{\sigma}_0$	ν_1	ν_2	ν_3
1	0	0.000	0.328	1.328	0.995	0.100	0.200	0.300
0.98	0.020	0.023	0.297	1.297	0.964	0.080	0.161	0.242
0.96	0.041	0.047	0.266	1.266	0.933	0.061	0.122	0.183
0.94	0.062	0.071	0.234	1.234	0.901	0.042	0.083	0.121
0.92	0.083	0.096	0.202	1.202	0.869	0.024	0.044	0.060
0.9	0.105	0.122	0.170	1.170	0.837	0.006	0.006	-0.003
0.88	0.128	0.148	0.137	1.137	0.804	-0.010	-0.030	-0.064
0.86	0.151	0.174	0.104	1.104	0.771	-0.026	-0.064	-0.124
0.84	0.174	0.201	0.070	1.070	0.737	-0.040	-0.097	-0.182
0.82	0.198	0.229	0.036	1.036	0.703	-0.053	-0.127	-0.235
0.8	0.223	0.258	0.001	1.001	0.668	-0.064	-0.154	-0.285

Table 4

Numerical calculation data in the presence of friction ($k = 0,6$) and initial compressive meridional stress $\bar{\sigma}_{m0} = -0,382$

r/r_0	$-\bar{\epsilon}_\theta$	$\bar{\epsilon}_i$	$-\bar{\sigma}_m$	$-\bar{\sigma}_\theta$	$-\bar{\sigma}_0$	ν_1	ν_2	ν_3
1	0	0.000	0.382	1.382	1.049	0.100	0.200	0.300
0.98	0.020	0.023	0.345	1.345	1.012	0.079	0.159	0.239
0.96	0.041	0.047	0.308	1.308	0.975	0.059	0.118	0.177
0.94	0.062	0.071	0.271	1.271	0.938	0.039	0.077	0.113
0.92	0.083	0.096	0.233	1.233	0.900	0.021	0.038	0.050
0.9	0.105	0.122	0.195	1.195	0.862	0.003	0.000	-0.013
0.88	0.128	0.148	0.157	1.157	0.824	-0.013	-0.036	-0.075
0.86	0.151	0.174	0.118	1.118	0.785	-0.028	-0.070	-0.134
0.84	0.174	0.201	0.079	1.079	0.746	-0.042	-0.101	-0.189
0.82	0.198	0.229	0.040	1.040	0.706	-0.054	-0.129	-0.239
0.8	0.223	0.258	0.000	1.000	-0.667	-0.064	-0.153	-0.283

Numerical calculations in case of the second boundary condition are carried out by formulas (16)-(18), which do not differ much from the data of formulas (12)-(14). Therefore, in this case, there is no need to show the full tabular data of the SSS research and only short data are given in Tables 5 and 6.

Table 5

Numerical calculation data in the presence of friction ($k = 0,4$) and boundary pipe extrusion condition, for its die outlet: $r = r_1, \bar{\sigma}_{m1} = 0$

$\bar{\epsilon}_\theta$	$\bar{\epsilon}_i$	r/r_1	$\bar{\sigma}_m$	$\bar{\sigma}_\theta$	$\bar{\sigma}_0$	ν_1	ν_2	ν_3
0	0	1.250	-0.327	-1.327	-0.993	0.100	0.200	0.300
-0.020	0.023	1.225	-0.296	-1.296	-0.963	0.080	0.161	0.242
-0.041	0.047	1.200	-0.265	-1.265	-0.931	0.061	0.122	0.183

Table 6

Numerical calculation data in the presence of friction ($k = 0,6$) and boundary pipe extrusion condition, for its die outlet: $r = r_1$, $\bar{\sigma}_{m1} = 0$

$\bar{\epsilon}_\theta$	$\bar{\epsilon}_i$	r/r_1	$\bar{\sigma}_m$	$\bar{\sigma}_\theta$	$\bar{\sigma}_0$	v_1	v_2	v_3
0	0	1.250	-0.382	-1.382	-1.049	0.100	0.200	0.300
-0.020	0.023	1.225	-0.345	-1.345	-1.012	0.079	0.159	0.239
-0.041	0.047	1.200	-0.308	-1.308	-0.975	0.059	0.118	0.177

A comparison of the numerical data calculated by formulas (12)-(14) and (16)-(18) shows that the main difference between them is the column r of the task variable problem $\frac{r}{r_0}$ and $\frac{r}{r_1}$, which provides an exact match of the main results.

The graphs of changes in the dimensionless values of meridional, circumferential and average stresses, as well as material porosity, depending on the degree of pipe deformation are shown in Figures 2 and 3.

It can be seen from Fig. 3 that 10, 20 and 30% of the initial porosity of the material becomes zero in the range of strain intensities $\bar{\epsilon}_i$ from 0.116 to 0.132, and in case of larger porosities and contact friction, the compaction of the material is more intense.

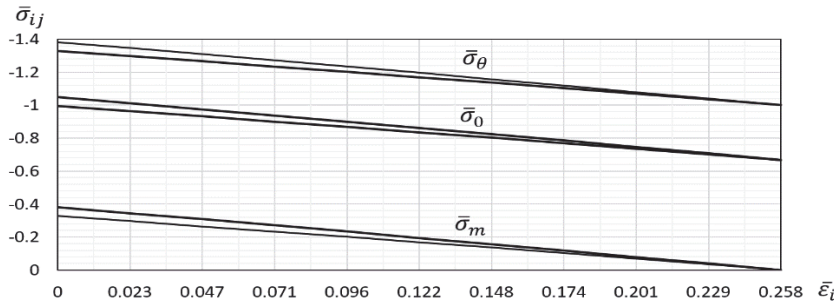


Fig. 2. Graphs of change in dimensionless values of meridional, circumferential and medium stresses

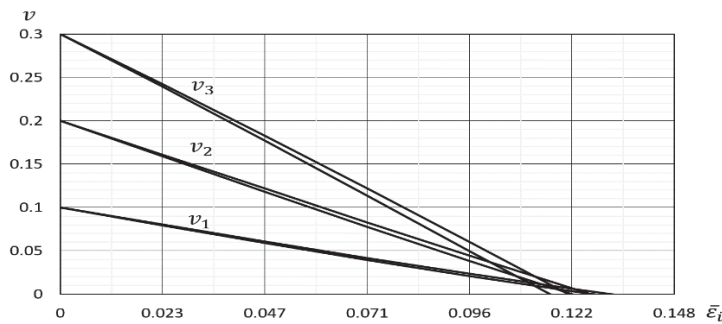


Fig. 3. Graphs of changes in 10, 20 and 30% of the initial porosity of materials

Conclusions

1. A study of the process of extrusion of thin-wall pipe loaded with internal high pressure with boundary condition in the inlet of a conical die, when the initial values of compressible meridional dimensionless stress $\bar{\sigma}_{m20}$ are absent, has been carried out. The dimensionless values of meridional, circumferential and average stresses depending on the degree of pipe deformation were determined, which allowed to study the process of pipe material compaction using the DTPPM equations at various values of friction coefficients.

2. A computer simulation of the process was carried out in the MS EXCEL software environment, presetting different initial values $\bar{\sigma}_{m0}$. The pipe extrusion process will correspond to the value $\bar{\sigma}_{m0}$, when the pipe meridional stress $\bar{\sigma}_m$ equals 0 in the outlet of the die. In this case, the strain intensity value is $\varepsilon_i = 0,258$.

3. The data of numerical calculations show that at the coefficient of friction $f = 0,1$ ($k = 0,4$), it has been established, with computer simulation, that in case of a dimensionless compressive, the initial value of the meridional stress is $\bar{\sigma}_{m0} = -0,327$, in the die outlet, the meridional stress acquired the value 0. And in the case of coefficient of friction $f = 0,15$ ($k = 0,6$), the meridional stress at $\bar{\sigma}_{m0} = -0,382$ acquired the value 0 in the die outlet.

4. The graphs of changes in 10, 20 and 30% of the initial porosities of the material show that the porosity becomes zero in the range of strain intensities ε_i from 0,116 to 0,132, and in the case of large values of porosities and contact friction, the material compaction is more intense.

5. In order to verify the obtained formulas and the results of numerical calculations, the problem is solved quite simply by the second boundary condition for the pipe extrusion, composed for the outlet part of the pipe from the die ($r = r_1$), where the meridional stress is absent ($\bar{\sigma}_{m1} = 0$). It has been found that both solutions are identical.

REFERENCES

1. **Malinin N.N.** Applied theory of plasticity and creep. - M.: Mechanical engineering, 1975. - 399 p.
2. **Petrosyan G.L.** Plastic deformation of powder materials. - M.: Metallurgy, 1988. – 153 p.
3. **Petrosyan G.L., Babayan A.A., Margaryan M.A.** Computer simulation and analytical research of the extrusion process of a thin-walled pipe loaded by internal high pressure // Bulletin of the National Polytechnic University of Armenia (NPUA): Mech., Mach. Sci., Mach. Build. - 2020. - No. 2. – P. 9-22.
4. **Petrosyan G.L., Margaryan M.A., Vardanyan G.G., Babayan A.A.** Investigating the process of drawing of a thin-walled sintered pipe through a conical matrix // Proceedings NAS of Armenia and NPUA. Series of Technical Sciences. - 2019.- Vol. 72, No. 1. - P. 5-14.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 01.07.2022.

Ա.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ

ՆԵՐՔԻՆ ԲԱՐՁՐ ՃՆՇՈՒՄՈՎ ԲԵՌՆԱՎՈՐՎԱԾ ԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ԲԱՐԱԿԱՊԱՏ ԽՈՂՈՎԱԿԻ ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՄԱՍԼԱՄԱՅՐ ՄՏՆՈՂ ԵԶՐԱՑԻՆ ՊԱՅՄԱՆԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Կատարվել է ներքին բարձր ճնշումով բեռնավորված եռակալված խողովակի կոնսկան մամլամայրում մամլման գործընթացի հետազոտում՝ վերլուծական մեթոդով, դրա մամլամայր մտնող վերին լայնական հատույթին սեղմող միջօրեական լարում կիրառելով: Ենթադրվում է, որ խողովակի վրա ազդող մամլամայրի հպակային p , և դրա ներսում ազդող p , ճնշումները հավասար են: Այդ դեպքում որոշվում է խողովակի շրջանային լարումը, և ստացվում է պարզեցված պլաստիկության պայման: Որոշվել են խողովակի դեֆորմացման աստիճանից կախված միջօրեական, շրջանային և միջին լարումների չափագուրկ մեծությունները, որոնք հնարավորություն են տվել, օգտագործելով ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության բանաձևերը, տարբեր շփման գործակիցների և խողովակի նյութի սկզբնական ծակոտկենության դեպքերում ուսումնասիրել դրանց խտացման գործընթացը:

MS EXEL ծրագրային միջավայրում կատարվել է գործընթացի համակարգչային մոդելավորում տարբեր սկզբնական սեղմող միջօրեական չափագուրկ լարումների դեպքում: Խողովակի արտամղման գործընթացին կհամապատասխանի այդ լարման այնպիսի սկզբնական մեծություն, երբ խողովակի միջօրեական լարումը մամլամայրից դուրս գալու ժամանակ կհավասարվի զրոյի: Այդ դեպքում դեֆորմացիաների ինտենսիվության արժեքը հավասար է $\varepsilon_i = 0,258$:

10, 20 և 30% սկզբնական ծակոտկենությամբ նյութի կորերի փոփոխությունները ցույց են տալիս, որ ծակոտկենությունը դառնում է զրո դեֆորմացիաների ինտենսիվության ε_i 0,116 – ից մինչև 0,132 միջակայքում: Ծակոտկենության և հպակային շփման մեծ արժեքների դեպքում նյութի խտացումը տեղի է ունենում ավելի ինտենսիվ:

Առանցքային բառեր. բարակապատ խողովակ, արտամղում, եզրային պայման, շրջանային լարում, եռակալված նյութ, համակարգչային մոդելավորում:

А.А. БАБАЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ СПЕЧЕННОЙ
ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЫ, НАГРУЖЕННОЙ ВНУТРЕННИМ ВЫСОКИМ
ДАВЛЕНИЕМ, ПРИ ВХОДЕ В МАТРИЦУ В СЛУЧАЕ ГРАНИЧНОГО
УСЛОВИЯ**

Проведено аналитическое исследование процесса экструзии спеченной тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением, при входе в коническую матрицу с использованием сжимающего меридионального безразмерного напряжения на ее поперечном сечении. Предполагается, что действующие на трубу внешнее давление матрицы p_v и внутреннее высокое давление p_r равны. В этом случае определяется окружное напряжение и получается упрощенное условие пластичности. Определены безразмерные величины меридиональных, окружных и средних напряжений в зависимости от степени деформации трубы, которые позволили с использованием уравнений деформационной теории пластичности пористых материалов при различных значениях коэффициентов трения и начальных пористостей материала труб изучить процессы их уплотнения.

Проведено компьютерное моделирование процесса в программной среде MS EXEL при различных начальных значениях сжимающего меридионального безразмерного напряжения. Процессу экструзии трубы соответствует такое начальное значение этого напряжения, когда меридиональное напряжение трубы при выходе из матрицы равняется нулю. При этом величина интенсивностей деформации равна $\varepsilon_i = 0,258$.

Графики изменения начальных пористостей материала 10, 20 и 30% показывают, что пористость становится нулевой в интервале величины интенсивностей деформации ε_i от 0,116 до 0,132. В случае больших величин пористостей и контактного трения уплотнение материала происходит более интенсивно.

Ключевые слова: тонкостенная труба, экструзия, граничное условие, окружное напряжение, спеченный материал, компьютерное моделирование.

Վ.Ա. ՄԻՍՈՆՅԱՆ

ՌԵՆԻՏԻՄԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀԵՏ ԵՎ ՄԻՋՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄԸ

Կատարվել է IV-VIII խմբի մետաղական անցումային տարրերի հետ ռենիտիմի փոխազդեցության գործընթացի վերլուծություն: Ցույց են տրվել ռենիտիմի՝ որպես լեգիրող տարրի առավելությունները կոնստրուկցիոն պողպատների և հատկապես հատուկ տեխնիկայում օգտագործվող պողպատների լեգիրման դեպքում: Re-ի համաձուլվածքները, ինչպիսիք են վոլֆրամի, մոլիբդենի և տանտալի համաձուլվածքները, ջերմադիմացկուն և դժվարաբեռ լինելուց բացի, օժտված են առանձնահատուկ պլաստիկությամբ, ինչը պայմանավորված է ածխածնի անջատումով փխրուն կարբիդներից և ռենիտիմի ու ածխածնի պինդ լուծույթների առաջացումով: Ցույց է տրվել, որ ռենիտիմը ութերորդ խմբի տարրերի հետ առաջացնում է անսահմանանփակ լուծելիությամբ պինդ լուծույթներ:

Ռենիտիմի համակարգերում առաջանում են երկու տասնյակ միջմետաղական միացություններ՝ σ և χ ֆազեր: Չորրորդ խմբի տարրերի հետ, բացի այդ ֆազերից, առաջանում են նաև λ ֆազեր (Լավենի ֆազեր): Ռենիտիմը, լինելով խիտ հեքսագոնալ կառուցվածք ունեցող մետաղ, ունի բարձր լուծելիություն V և VI խմբերի մետաղներում, որոնք ծավալակենտրոն խորանարդային են՝ մինչև 65 *ատ. %*: Ռենիտիմի լուծելիությունը IV խմբի պոլիմորֆ մետաղների հեքսագոնալ α մոդիֆիկացիաներում չափազանց փոքր է (0,5...4,0%) այն դեպքում, երբ այդ նույն տարրերի ծավալակենտրոն β մոդիֆիկացիաներում լուծելիությունը (տիտանի դեպքում) հասնում է 50 *ատ. %*: Re-ն օժտված է բարձր ջերմակայունությամբ: Նրա ամրությունը մինչև 1200°C ջերմաստիճանի պայմաններում ավելի բարձր է, քան վոլֆրամինը և նշանակալիորեն գերազանցում է Mo-ի ամրությանը:

Առանցքային բառեր. ռենիտիմ, լեգիրող տարր, համաձուլվածք, ֆազ, պինդ լուծույթ, ինտերմետաղական միացություն, ջերմակայունություն, ամրություն, պլաստիկություն, մաշակայունություն:

Ներածություն. Ռենիտիմը՝ որպես հազվագյուտ հատկություններով օժտված մետաղ, օգտագործվում է ժամանակակից տեխնիկայի տարբեր բնագավառներում, այդ թվում՝ հրթիռային տեխնիկայում, ատոմային ռեակտորներում, գազատուրբինային տեղակայանքներում, նավթային կրեկինգում, մոլիբդենային էլեկտրոդներում, էլեկտրոդային լամպերում, էլեկտրատեխնիկայում, ինչպես նաև թերմոզույգերի պատրաստման համար և այլ դեպքերում: Բարձր ամրության և մաշակայունության շնորհիվ՝ ռենիտիմային համաձուլվածքներն օգտագործվում են

մաշակայուն դետալներ պատրաստելու համար, ինչպիսիք են՝ կշեռքների հենարանները, գեոդեզիական սարքերի առանցքակալները, գնդերի հենարանները, զսպանակները և այլն: Այս տեսակետից ռենիումով լեզիրված բարձր ամրությամբ ու մաշակայունությամբ նոր համաձուլվածքների ստեղծումն առհասարակ համարվում է խիստ արդիական խնդիր հատկապես Հայաստանի Հանրապետության համար, որտեղ առկա են ռենիումի մեծ պաշարներ: Այն հանդես է գալիս մոլիբդենիտային հանքանյութերում՝ ներդրված մոլիբդենիտի բյուրեղային ցանցում: Մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման ժամանակ, որը կատարվում է մոլիբդենիտային խտանյութի բովմամբ, ռենիումը հեռանում է Re_2O_7 օքսիդի տեսքով՝ ստեղծելով բնապահպանական լուրջ խնդիրներ: Հետևապես՝ անհրաժեշտ է այն կորզել և օգտագործել նոր համաձուլվածքների մշակման գործընթացում՝ դրանց տալով բարձր ամրություն և մաշակայունություն:

Ելնելով վերոհիշյալից՝ աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել մետաղների հետ ռենիումի փոխազդեցության և միջմետաղական միացությունների առաջացման գործընթացը՝ բարձր ամրությամբ և մաշակայունությամբ փոշեպող պատների ստացման նպատակով:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Արտաքին էլեկտրոնային թաղանթներում ռենիումն ունի յոթական էլեկտրոններ՝ ${}^{75}\text{Re} - [\text{Xe}]4f^{14}5d^56s^2$: Միացություններում ռենիումը դրսևորում է փոփոխական՝ -1-ից մինչև +7 օքսիդացման աստիճան: Ատոմական մեծ կշիռ ունեցող անցումային մետաղների դեպքում բարձր օքսիդացման աստիճանն ավելի կայուն է: Ռենիումի բարձր օքսիդացման աստիճանի միացությունները, համեմատած մանգանի նույնանման միացությունների հետ, ավելի կայուն են: Օրինակ՝ Mn_2O_7 -ը 0°C -ում արդեն նշանակալիորեն քայքայվում է, Tc_2O_7 -ը $119,5^\circ\text{C}$ -ում հալվում է՝ առանց քայքայման, իսկ Re_2O_7 -ը $300,3^\circ\text{C}$ -ում սուբլիմացվում է՝ առանց թթվածին կորցնելու: Դրա հետևանքով +7 օքսիդացման աստիճանով Re_2O_7 -ը, մանգանի միացությունների հետ համեմատած, ավելի թույլ օքսիդիչ է: Ցածր օքսիդացման աստիճանով Re -ի միացությունները, ի տարբերություն Mn(II) միացությունների, ավելի դժվար են ստացվում, կայուն չեն, որի հետևանքով բավարար չափով ուսումնասիրված չեն [1-5]:

Քանի որ Re -ի ատոմում d ենթաթաղանթը մասնակի է լրացված, այն առաջացնում է բազմաթիվ կոմպլեքսներ և մետաղ-մետաղ միացություններ: Ռենիումը դժվարահալ ($T_{\text{հալ}}=3177^\circ\text{C}$) և ծանր (խտությունը՝ $d=21,033 \text{ g/cm}^3$) մետաղ է [6, 7]: Մետաղի փոշին, կախված դիսպերսությունից, լինում է սև կամ մուգ մոխրագույն: Մի շարք ֆիզիկական հատկություններով ռենիումը մոտենում է IV խմբի դժվարահալ մետաղներին (Mo , W), ինչպես նաև պլատինի խմբի մետաղներին: Հալման ջերմաստիճանով ռենիումը ($T_{\text{հալ}}=3177^\circ\text{C}$) զիջում է միայն վոլֆրամին ($T_{\text{հալ}}=3387^\circ\text{C}$)՝ զբաղեցնելով II տեղը, իսկ խտությամբ IV տեղում է՝ Os -ից ($d=22,48 \text{ g/cm}^3$), Ir -ից

($d=23,36 \text{ Գ/սմ}^3$) և Pt-ից ($d=21,5 \text{ Գ/սմ}^3$) հետո [6, 7]: Re-ը բյուրեղանում է խիտ դասավորված հեքսագոնալ կառուցվածք ունեցող բյուրեղավանդակով [2]: Մաքուր մետաղը պլաստիկ է սենյակային ջերմաստիճանում, բայց, առաձգականության բարձր մոդուլի հետևանքով, սառը մշակումից հետո ամրությունը կտրուկ մեծանում է՝ կոփման շնորհիվ: Պլաստիկության վերականգնման համար այն թրծում են ջրածի միջավայրում, իներտ գազում կամ վակուումում: Re-ը պահապանում է բարձր ամրությունը և մաշակայունությունը բազմակի տաքացումների և սառեցումների ընթացքում, այսինքն այն օժտված է բարձր ջերմակայունությամբ: Նրա ամրությունը մինչև 1200°C ջերմաստիճանի պայմաններում ավելի բարձր է, քան վոլֆրամինը, և նշանակալիորեն գերազանցում է Mo-ի ամրությանը: Re-ի էլեկտրադիմադրությունը գրեթե չորս անգամ մեծ է, քան վոլֆրամինը և մոլիբդենինը [6, 7]:

Սովորական պայմաններում Re-ն օդում կայուն է: Re-ի նուրբ հատիկներն օդում խոնավանում են, որը բացատրվում է նրա մասնակի օքսիդացմամբ, առաջացնելով խոնավություն կլանող Re_2O_7 : Մետաղի օքսիդացումը սկսվում է 300°C -ից բարձր ջերմաստիճաններում՝ առաջացնելով Re_2O_7 , որն այդ ժամանակ սուրլիմացվում (ցնդում) է: H-ի և N-ի հետ Re-ը մինչև հալման ջերմաստիճանը փոխազդեցության մեջ չի մտնում, բայց փոշենման մետաղն ուժեղ աբսորբում է ջրածին: Ի տարբերություն այլ դժվարահալ մետաղների՝ Re-ը չի առաջացնում կարբիդներ, սակայն տաքացնելիս ածխածինը լուծվում է ռենիումի մեջ՝ վատացնելով նրա մեխանիկական հատկությունները: Re-C համակարգում էվտեկտիկան հալվում է 2480°C -ում [8]: Սովորական ջերմաստիճանի պայմաններում ծծմբի հետ Re-ն առաջացնում է դիսուլֆիդ՝ ReS_2 , տաքացնելիս ֆտորի և քլորի հետ փոխազդում է՝ առաջացնելով համապատասխանաբար ReF_6 և ReCl_5 , իսկ բրոմի և յոդի հետ գործնականում չի փոխազդում [9]:

Re-ը կայուն է այնպիսի մետաղների հալույթների նկատմամբ, ինչպիսիք են Sn, Zn, Cu և Ag, միևնույն ժամանակ, հեղուկ Al-ը, Fe-ը և Ni-ը հեշտությամբ լուծում են այն [8-11]:

Հայտնի են ռենիումի թթվածնային միացություններ, որտեղ Re-ի օքսիդացման աստիճանը -1-ից +7 է: Կայուն օքսիդներն են՝ Re_2O_7 , ReO_3 և ReO_2 [11]:

Ռենիումը պլատինի շարքի մետաղների նման խիստ հակված է կոմպլեքսագոյացման, նրա կոորդինացիոն թիվը փոփոխվում է 4...9: Դա բացատրվում է նրանով, որ ռենիումի d-օրբիտալն լրացված է կիսով չափ, որը հանգեցնում է նրա տարբեր օքսիդացման աստիճաններին և ընձեռում է կապերի առաջացման մեծ հնարավորություններ: Ամենից շատ տարածված են ռենիումի այն միացությունները, որոնք ունեն 6 (բյուրեղային ցանցը օկտաէդր է) և 4 կոորդինացիոն թվեր (բյուրեղային ցանցը տետրաէդր է): 9-ին, հավասար կոորդինացիոն թիվ ստացվում է

միայն այն դեպքում, երբ լիզանտը ատոմի փոքրագույն մասնիկներ ունեցող ջրածինն է:

Հետազոտության արդյունքները. Ռենիումը անցումային մետաղների հետ առաջացնում է մի քանի տեսակի համակարգեր [8-16]: VIII խմբի մետաղների հետ, որոնք ունեն ավելի լրացված d-օրբիտալներ և բարձր օքսիդացման աստիճաններ, ռենիումն առաջացնում է համակարգեր՝ առանց միջմետաղական միացությունների: Հեքսագոնալ բյուրեղավանդակով մետաղների հետ՝ Tc (VII խումբ), α -Co, Ru և Os (VIII խումբ), ռենիումն առաջացնում է պինդ լուծույթներ, VIII խմբի մնացած մետաղների՝ Ni, Pb, Ir, Rh, Pt (բացառությամբ Fe) հետ սահմանափակ պինդ լուծույթներ: Cu, Ag, Au, Zn և Sn մետաղների հետ ռենիումը չի լուծվում ոչ հեղուկ, ոչ էլ պինդ վիճակում: III-IV խմբերի անցումային մետաղների հետ, որոնք գտնվում են ռենիումից ձախ, ունեն քիչ լրացված d-օրբիտալներ և ցածր օքսիդացման աստիճաններ, ռենիումն առաջացնում է բարդ համակարգեր՝ մեկ կամ մի քանի ինտերմետաղական (միջմետաղական) միացություններով, և միևնույն ժամանակ՝ սահմանափակ պինդ լուծույթներ: Ռենիումի միջմետաղական միացություններն ամբողջովին ուսումնասիրված չեն: Հիմնականում ուսումնասիրվել են պարբերական աղյուսակի IV, V, VI և VIII խմբերի տարրերի վիճակի դիագրամները:

Անընդհատ պինդ լուծույթների ստացումը ռենիումի հետ բացահայտված է միայն որոշ տարրերի դեպքում (ինչպես, օրինակ՝ կոբալտի հետ): Բացահայտված է ռենիումի բարձր փոխադարձ լուծելիությունը մի շարք մետաղների, այդ թվում՝ նիկելի, պլատինի, պալադիումի, իրիդիումի հետ: Առաջին խմբի մետաղների՝ պոնձի, արծաթի, ոսկու հետ ռենիումը չի լուծվում ոչ հեղուկ, ոչ էլ պինդ վիճակում [8-11]:

Ռենիումը, ունենալով հեքսագոնալ բյուրեղային ցանց, պետք է ավելի լավ լուծելիություն ունենար IV խմբի հեքսագոնալ կառուցվածք ունեցող մետաղների հետ: Իրականում ռենիումի հեքսագոնալ α -մոդիֆիկացիայի լուծելիությունը տիտանի, ցիրկոնիումի, հաֆնիումի հետ շատ փոքր է (0,5...4,0%) այն դեպքում, երբ խորանարդային բարձր ջերմաստիճանային մոդիֆիկացիաներում, այսինքն V և VI խմբերի տարրերի հետ ռենիումի լուծելիությունը անհամեմատ ավելի բարձր է՝ 50...65%: Ժամանակակից տեսական և գիտափորձական ուսումնասիրությունները թույլ են տալիս եզրահանգելու, որ մետաղական համաձուլվածքների գործոնները, որոնք ազդում են տարրերի ֆիզիկաքիմիական փոխկապակցությունների վրա, մեծ մասամբ կապված են Մենդելևի պարբերական աղյուսակում ունեցած իրենց դիրքից, միջատոմային չափերից, բյուրեղային ցանցի տիպից, իոնացման պոտենցիալից, ջերմության գոյացումից, սեղմելիությունից և այլն:

Նկ. 1-ում ցույց են տրված ռենիումի փոխազդեցության բնութագրերը պարբերական համակարգի բոլոր տարրերի հետ, որից երևում է, որ ռենիումը տեխնիցիումի, ռութենիումի, օսմիումի և կոբալտի հետ առաջացնում է պինդ լուծույթ-

ներ [6, 7, 17]: Վերոհիշյալ տարրերը պարբերական համակարգում դասավորված են ռենիումին մոտ, ատոմային չափերը քիչ են տարբերվում ($<10\%$) և ունեն իզոմորֆ բյուրեղային կառուցվածք: Մի շարք տարրեր, այդ թվում՝ նիկելը, ռոդիումը, պալադիումը, իրիդիումը և պլատինը ռենիումի հետ առաջացնում են պինդ լուծույթներ՝ առանց միջանկյալ փազերի:

Խ ա մ բ ե ր ք																	
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA		IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIA	VIIIB	
															H	He	
Li	Be	Անցումային մետաղներ									B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac**	Ku														
				*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
				(Th)	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	Lr

Նկ. 1. Մենդելևի պարբերական համակարգի տարրերը, որոնք, փոխադրելով ռենիումի հետ, առաջացնում են՝ 1 - պինդ լուծույթների անընդհատ շարք, 2 - սահմանափակ լուծելիությամբ պինդ լուծույթներ՝ առանց քիմիական միացությունների, 3 - սահմանափակ լուծելիությամբ պինդ լուծույթներ քիմիական միացություններով, 4 - քիմիական միացություններ, որոնք վիճակի դիագրամները դեռևս չեն ուսումնասիրված, 5 - տարրեր, որոնք փոխադրեցության մեջ չեն մտնում, 6 - փոխադրեցության վերաբերյալ տեղեկություններ չկան [17]

Ռենիումը մի շարք տարրերի հետ առաջացնում է սահմանափակ լուծելիությամբ պինդ լուծույթներ և քիմիական միացություններ: Ռենիումի հետ փոխադրեցության մեջ չմտնող տարրերի թվին պետք է դասել պղնձի ենթախմբի տարրերը և իներտ գազերը: Ինչպես երևում է նկ. 1-ում բերված տվյալներից, ռենիումի պարբերական համակարգի տարրերի հետ ֆիզիկաքիմիական փոխադրեցությունն ուժեղանում է խմբի համարի նվազմանը զուգընթաց, համակարգի երեք մեծ պարբերությունների դեպքում: VIIIA և VIIIB ենթախմբի տարրերի հետ նկատվում է լրիվ լուծելիությունը հեղուկ վիճակում և սահմանափակ լուծելիություն պինդ վիճակում՝ միաժամանակ առաջացնելով անընդհատ պինդ լուծույթներ: VIA-ից մինչև VIIIB խմբի տարրերի հետ ռենիումն ունի մեկ կամ մի քանի միացություն առաջացնելու հավանականություն:

Անհրաժեշտ է նշել, որ ռենիումի հետ փոխազդող տարրերի VII-ից դեպի III-րդ խմբի անցման դեպքում դիտվում է միացությունների կառուցվածքային տեսակների որոշակի փոփոխություն և երկակի համակարգերում դրանց քանակությունների փոփոխություն ռենիումի և անցումային մետաղների հետ: Այսպես, օրինակ, VII-րդ խմբի Mn, VI-րդ խմբի Mo, W և V-րդ խմբի Ni, Ta հետ ռենիումն առաջացնում է երկու մետաղական միացություն (α և χ ֆազեր), իսկ IV-րդ խմբի Zr, Hf-ի հետ՝ երեք մետաղական միացություն (σ , χ , λ ֆազեր): Ըստ որում, կոմպոնենտների ատոմային շառավիղների տարբերության մեծացմանը զուգընթաց (չնայած ռենիումի հետ սրանց համակառուցվածքությանը) տեղի է ունենում ֆազերի առաջացում, որը որոշվում է չափային գործոնով (χ և λ ֆազ): σ տիպի մետաղական միացությունները, որոնք առաջանում են ռենիումի երկակի համակարգերում անցումային մետաղների հետ, դիտարկվում են ատոմային չափերի և էլեկտրոնային բաղադրության հարաբերական մեծ տարբերության տիրույթում: σ ֆազերի գոյացումը տեղի է ունենում ինչպես դրական չափային գործոնի դեպքում, մինչև +1,7% (Zr-Re համակարգ), այնպես և բացասականի դեպքում՝ -8% (Mn-Re համակարգ), որը վկայում է, որ չափային գործոնի ազդեցությունն առանձնապես էական չէ σ ֆազերի առաջացման դեպքում [8-11]:

χ տիպի ֆազերի գոյացման ընթացքում չափային գործոնի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ռենիումի երկակի համակարգերում անցումային մետաղների հետ χ ֆազի գոյացման հակումը որոշվում է կոմպոնենտների ատոմային շառավիղների հարաբերական տարբերությամբ և տեղի է ունենում այն դեպքում, երբ երկրորդ կոմպոնենտն ունի ավելի մեծ ատոմային շառավիղ, քան ռենիումը: χ ֆազը գոյանում է ռենիումի երկակի համակարգերում, բացառապես չափային գործոնի դրական լինելու և ատոմական շառավիղների տարբերության 20%-ից ոչ ավելի դեպքում, որը հիմնավորվում է χ ֆազի բացակայությամբ, ռենիումի փոխազդեցության դեպքում սկանդիումի (խորիում և այլ հազվագյուտ հողալկալիական մետաղների) հետ, որոնց ատոմային շառավիղների հարաբերական տարբերությունը գերազանցում է 20%-ը: Ընդ որում՝ χ ֆազի գոյացման հակվածության նվազումը ռենիումի անցումային մետաղների հետ համակարգում ուղեկցվում է Լավենսի մետաղական տիպի միացությունների աճով: Լավենսի ֆազերի գոյացման ընթացքում, բացի այլ գործոններից, չափային գործոնը հիմնականն է: χ ֆազերի գոյացումը ռենիումի երկակի համակարգերում անցումային մետաղների հետ դիտվում է ատոմական կոմպոնենտների շառավիղների 1,10...1,35 հարաբերությունների դեպքում:

Հետազոտված են տարբեր տիպի (σ , φ , λ) մետաղական միացությունների որոշ ֆիզիկական հատկություններ: Այս ֆազերը գոյանում են ռենիումի և III-VIII խմբերի անցումային մետաղների միջև, որով և բացատրվում է համաձուլվածքի՝ գերհաղորդչային վիճակին անցումը 4,2 K (նկ. 2) [17]:

Քիմիական փոխազդեցության բնութագրերը	Պարբերական աղյուսակի խմբերը									Բյուրեղային ցանցի տեսակը	Ատոմային շառավիղը A (միջատային)
	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	VIIIB	VIIIC	IB		
λ – ֆազի առաջացումը	Sc									Հեքսագոնալ	1,734-1,877
$\lambda+\alpha$ – ֆազի առաջացումը		Zr					1			Հեքսագոնալ	1,641
$\lambda+\alpha+\delta$ – ֆազի առաջացումը		Hf					2			Հեքսագոնալ	1,580-1,602
α – ֆազի առաջացումը		Ti	NB	Mo			3			Հեքսագոնալ	1,462
$\alpha+\delta$ – ֆազի առաջացումը			W							ԽՄԿ	1,4-1,468
δ – ֆազի առաջացումը		Ta	Cr	Mn	Fe					ԽՄԿ	1,264-1,346
պինդ լուծույթների անընդհատ շարք		V	Tc	Ru	Rh	Pb	Ni			ԽՆԿ	1,274-1,36
սահմանափակ պինդ լուծույթներ			Re	Os	Ir	Pt	Cu			ԽՆԿ	1,246-1,376
հեղուկ և պինդ վիճակների անխառնուսակություն							Ag			ԽՆԿ	1,278-1,442

Նկ. 2. Ռենիումի քիմիական փոխազդեցությունը Մենդելևի պարբերական աղյուսակի անցումային մետաղների հետ. 1 – առաջին մեծ պարբերությունը, 2 – երկրորդ մեծ պարբերությունը, 3 – երրորդ մեծ պարբերությունը [17]

Գերհաղորդչային վիճակին անցման ջերմաստիճանի վերլուծության ընթացքում որոշվել են որոշ կախվածություններ՝ այդ անցման ջերմաստիճանի և ռենիումի մետաղական միացությունների կառուցվածքներից, էլեկտրոնային բաղադրությունից, ատոմային էլեկտրոնային կառուցվածքներից և այլ գործոններից:

Հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս, որ լեգիրող տարրերի (պարբերական համակարգում) մոտեցմամբ ռենիումի, վալենտական էլեկտրոնների մեծացմամբ և, հետևապես, ատոմների էլեկտրոնային կառուցվածքի բարդացմամբ դիտվում է միջանկյալ ֆազերի գերհաղորդչային վիճակին անցման ջերմաստիճանի աճ: Այս օրինաչափությունը բնութագրական է λ և χ ֆազերի համար, որոնք առաջանում են ռենիումի և երեք մեծ պարբերությունների անցումային տարրերի միջև, և σ ֆազի համար, որն առաջանում է ռենիումի և երկրորդ ու երրորդ մեծ պարբերությունների մետաղների միջև:

Ռենիումի՝ անցողիկ մետաղների հետ համակարգում գոյանում են մեկից երեք միջանկյալ ֆազեր: Կառուցվածքային տարբեր տիպերի միջանկյալ ֆազերի համեմատության դեպքում որոշված է, որ ամենաբարձր կրիտիկական անցման ջերմաստիճան ունի $MgZn_2$ տիպի ֆազը՝ համեմատած այլ տիպերի միացությունների հետ, որոնք գոյանում են նույն համակարգում: $T_{\text{կր}}$ -ի փոքրացման շարքը, կախված բյուրեղային համակարգից, կարելի է դասավորել հետևյալ ձևով.

$$\lambda \rightarrow \chi \rightarrow \sigma(MgZn_2 \rightarrow \alpha\text{-Mn} \rightarrow B - U):$$

Այստեղից հետևում է, որ α և χ ֆազերը, որոնք ստուգվում են հիմնականում չափային գործոնով, ունեն ավելի բարձր գերհաղորդականության անցման ջերմաստիճան: Կարելի է որոշված համարել, որ անցման կրիտիկական ջերմաստիճանների օրինակի հետազոտման միջոցով տարբեր կառուցվածքային տիպերի համար, որոնք առաջանում են ռենիումի և պարբերական աղյուսակի VI-VIII խմբերի անցումային մետաղների միջև, $T_{\text{կր}}$ -ը կախված է ոչ միայն բյուրեղացվող ֆազերի կառուցվածքային տիպից, այլ նաև վալենտային էլեկտրոնների թվից և առաջացող միացությունների փոխազդող կոմպոնենտների ատոմական չափերից (չափային գործոն):

Որոշ օրինաչափություններ են նկատվում նաև գոյացող մետաղական միացությունների մագնիսական հատկությունների մեծություններում՝ կախված ռենիումի և նույն անցումային մետաղների փոխազդեցություններից, ինչպես նաև փոխազդող կոմպոնենտների քիմիական բնութագրերից, միջավայրի ջերմաստիճանից և մագնիսական դաշտի լարվածությունից: Այդ հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ռենիումի երկակի համակարգերում առաջացող տարբեր տիպի ֆազերի պարամագնիսական ընկալելիությունը (α , χ , λ -ֆազ), որն առաջանում է պարամագնիսական անցումային մետաղների հետ (Se, Ti, Hf, Zr, V, Nb, Ta, Ce, Mo, W), կախված ջերմաստիճանից, 77...293 K տիրույթում է: Պարամագնիսական ընկալելիությունը ռենիումի մետաղական միացությունների համար բոլոր երեք ֆազերի դեպքում չի փոփոխվում հետազոտվող ջերմաստիճանային տիրույթում [6]: Նման միացությունների պարամագնիսական ընկալելիությունը, որը չափված է նույն ջերմաստիճանային տիրույթում, կախված մագնիսական դաշտի փոփոխվող լարվածությունից (1000...70000 է), նույնպես մնում է հաստատուն: λ տիպի ֆազի (MgZn_2), որը գոյանում է ռենիումի և ֆերոմագնիսական հազվագյուտ (հողային) մետաղների հետ (գադոլինիում, տերբիում, հոլմիում, էրբիում), պարամագնիսական ընկալելիությունը փոխվում է Կյուրի-Վեյսի օրենքով՝ նույն 77...293 K ջերմաստիճանների տիրույթում: Այս մետաղական միացությունները ցածր ջերմաստիճաններում ֆերոմագնիսական են: λ ֆազերի, որոնք առաջանում են ռենիումի և հազվագյուտ հողալկալիական մետաղների հետ, ֆերոմագնիսական հատկությունները բնութագրվում են, ամենայն հավանականությամբ, այդ տարրերի ֆերոմագնիսական հատկությունների պահպանմամբ, ի տարբերություն նույն կառուցվածքն ունեցող ֆազերի, որոնք գոյանում են ռենիումի և պարամագնիսական մետաղների (Se, Zr, Hf), ինչպես նաև λ կառուցվածքային տիպի ֆազերի գոյացման դեպքում [6]:

Ուշագրավ է Fe-Re համակարգի σ ֆազի տիպի միացությունների վարքը՝ դրանց ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրման ընթացքում [6]: Ձուլված վիճակում այդ համակարգի σ ֆազի դեպքում ի հայտ է գալիս ֆերոմագնիսական

երևույթ (համաձուլվածքը ձգվում է հաստատուն մագնիսի կողմից), ինչպես λ ֆազի դեպքում 77-ից 293 K ջերմաստիճաններում, որոնք առաջանում են ռենիումի և հազվագյուտ հողային մետաղների միջև՝ (1000-ից 7000 է) մագնիսական դաշտի լարվածության պայմաններում: Թրծումից հետո, 1500°C ջերմաստիճանում 100 ժամ պահման տևողությամբ, համաձուլվածքը դառնում է պարամագնիսական (հաստատուն մագնիսը չի ձգում) և ավելին՝ գերհաղորդիչ: Fe-Re համակարգի σ ֆազի գերհաղորդչային վիճակին անցման կրիտիկական ջերմաստիճանը 6,55 K է: Չնայած, որ Fe-Re համակարգում σ տիպի ֆազի միացության գոյացմանը մասնակցում է ֆերոմագնիսական երկաթը, այնուամենայնիվ, հավասարակշռված վիճակում հետազոտված ջերմաստիճանների տիրույթում (77-ից 293 K) այդ σ ֆազը պարամագնիսական է, որը համապատասխանում է σ ֆազերի պարամագնիսականության դրույթին:

Ռենիումի երկակի համակարգերի՝ III-ից մինչև VIII խմբի տարրերի հետ ստեղծած մետաղական միացությունների մագնիսական հատկությունները հաստատում են, որ այդ միացություններում մետաղական տիպի միջատոմական կապերը գերակշռող են, որոնք պայմանավորված են ատոմների d էլեկտրոնների միջև եղած փոխազդեցությամբ՝ անցումային մետաղների դեպքում:

Եզրակացություն. Ցույց է տրված, որ ռենիումը ութերորդ խմբի տարրերի հետ առաջացնում է անսահմանանփակ լուծելիությամբ պինդ լուծույթներ:

Ռենիումի համակարգերում IV-VIII խմբի մետաղական անցումային տարրերի հետ առաջանում են երկու տասնյակ միջմետաղական միացություններ՝ σ և χ ֆազեր: Չորրորդ խմբի տարրերի հետ, բացի այդ ֆազերից, առաջանում են նաև λ ֆազեր (Լավեսի ֆազեր): Բոլոր միջմետաղական միացությունները, որոնք առաջանում են IV-VIII խմբերի անցումային մետաղների և ռենիումի միջև, հալվում են փակ մաքսիմումով: Բոլոր այդ համաձուլվածքների հալման ջերմաստիճանը ավելի ցածր է, քան ռենիումի հալման ջերմաստիճանը: Որքան ռենիումը հեռու է գտնվում տվյալ մետաղից, այնքան կայուն է χ ֆազն այդ համակարգում: Սակայն ամենից կայուն χ ֆազն առաջանում է IV խմբի տարրերի հետ, օրինակ, տիտան համակարգում գոյություն ունի միայն χ ֆազ: χ ֆազն ավելի փոքր կայունություն ունի V խմբի տարրերի և ավելի փոքր՝ VI խմբի տարրերի հետ: Ռենիումը, լինելով խիտ հեքսագոնալ կառուցվածքով մետաղ, ունի բարձր լուծելիություն V և VI խմբերի մետաղներում, որոնք ծավալակենտրոն խորանարդային են, մինչև 65 առ. %: Ռենիումի լուծելիությունը IV խմբի պոլիմորֆ մետաղների հեքսագոնալ α մոդիֆիկացիաներում չափազանց փոքր է (0,5...4,0%) այն դեպքում, երբ այդ նույն տարրերի ծավալակենտրոն β մոդիֆիկացիաներում լուծելիությունը (տիտանի դեպքում) հասնում է 50 առ. %:

Ցույց է տրված, որ ռենիումի առավելագույն լուծելիությունը նկատվում է առաջին մեծ պարբերության (տիտան, վանադիում, քրոմ) մետաղների մեջ: Երրորդ

մեծ պարբերության մետաղներում (հաֆնիում, տանտալ, վոլֆրամ) ռենիումի լուծելիությունն ավելի փոքր է և առավել փոքր՝ երկրորդ մեծ պարբերության մետաղներում (ցիրկոնիում, նիոբիում, մոլիբդեն), ընդ որում, ամեն մի պարբերությունում առավելագույն լուծելիությունը նկատվում է V խմբի մետաղներում (վանադիում, նիոբիում, տանտալ): Ռենիումի համեմատաբար մեծ լուծելիությունն առաջին մեծ պարբերության մետաղներում պայմանավորված է այս մետաղների հետ ռենիումի մեկական քիմիական միացություն ստեղծելով, ընդ որում՝ վանադիում-ռենիում համակարգում σ ֆազն անկայուն է ցածր ջերմաստիճաններում, իսկ լուծելիությունը հասնում է առավելագույն չափի (65 *ատ. %* ռենիում): Ռենիումի լուծելիության նվազումը II և III մեծ պարբերությունների մետաղներում՝ I պարբերության մետաղների համեմատ, զուգակցվում է այդ համակարգերում երկու և ավելի միջմետաղական միացությունների գոյացմամբ:

IV, V, VI խմբերի անցումային մետաղների լուծելիությունը ռենիումում ավելի փոքր է այդ մետաղներում ռենիումի լուծելիությունից և ենթարկվում է այն ընդհանուր օրինաչափությանը, որ դժվարահալ մետաղների լուծելիությունը դյուրահալ մետաղներում ավելի մեծ է, քան դյուրահալ մետաղներինը դժվարահալ մետաղներում: Բացառություն է կազմում ռենիում-վոլֆրամ համակարգը, որտեղ ռենիումի լուծելիությունը վոլֆրամում ավելի մեծ է (մինչև 15 *ատ. %*, մինչդեռ մնացած համակարգերում այն սովորաբար չի գերազանցում 5 *ատ. %*-ը), քան վոլֆրամինը ռենիումում:

Հետազոտություններն իրականացվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» ֆազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Коровин Ц.Ц., Букин В.И.** Редкие и рассеянные элементы: Химия и технология. - III.- М.: МИСИС, 2003.- 440 с.
2. **Кобжасов А.К., Палант А.А.** Металлургия рения.- Алма-Ата: Мин. нар. образов. Республ. Казахстан, 1992.- 161 с.
3. **Коленкова М.А., Крейн О.Е.** Металлургия рассеянных и легких металлов.- М.: Металлургия, 1977.- 360 с.
4. Рений. Химия, технология, анализ: Труды IV Всесоюзного совещания по проблеме рения.- М.: Наука, 1976.- 203 с.
5. Reenium and Reenium alloys / **Ed. By B.D. Bryskin.**- Orlando: TMS, 1996.- 826 p.
6. Свойства элементов: Справочник.- В двух частях. Ч. I: Физические свойства / **Под ред. Г.В. Самсонова.**- 2-е изд.- М.: Металлургия, 1976.- 600 с.
7. Свойства элементов: Справочник.- В двух частях. Ч. II: Физические свойства / **Под ред. Г.В. Самсонова.**- 2-е изд.- М.: Металлургия, 1976.- 384 с.

8. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник / **Под общ. ред. Н.П. Лякишева.** - В 3 т.- Т. 1.- М.: Машиностроение, 1996.- 992 с.
9. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник/ **Под общ. ред. Н.П. Лякишева.** - В 3 т.- Т. 3, кн.2.- М.: Машиностроение, 2000.- 448 с.
10. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник/ **Под общ. ред. Н.П. Лякишева.** - В 3 т.- Т. 2. - М.: Машиностроение, 1997.- 1024 с.
11. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник/ **Под общ. ред. Н.П. Лякишева.** - В 3 т.- Т. 3, кн. 1.- М.: Машиностроение, 2001.- 872 с.
12. **Ряшенцева М.А., Миначев Х.М.** Рений и его соединения в гетерогенном катализе.- М.: Наука, 1983.- 248 с.
13. **Савицкий Е.М., Тылкина М.А., Левин А.М.** Сплавы рения в электронике.- М.: Энергия, 1980.- 216 с.
14. **Зеликман А.Х.** Рений. Краткая химическая энциклопедия.- Т.-4.- М.: Химия, 1965.- 639 с.
15. **Зеликман А.Х., Крейн О.Е., Самсонов Г.В.** Металлургия редких металлов.- М.: Металлургия, 1964.- 568 с.
16. **Друце И.** Рений.- М.: Изд-во ИЛ, 1951.- 116 с.
17. **Շարապետյան Վ.Գ.** Դժվարահալ մետաղներով կարծր համաձուլվածքների ջերմադինամիկական և ֆիզիկական հատկությունները մաշակայուն շերտերի ստացման և կառուցվածքի ու հատկությունների ձևավորման տեսական և տեխնոլոգիական հիմունքները: Տ.գ.դ.ատենախոսության սեղմագիր.- Երևան, 2008.- 31 էջ:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.03.2022:

В.А. СИМОНЯН

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНИЯ С МЕТАЛЛАМИ И ОБРАЗОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Проведен анализ процесса взаимодействия рения с металлическими переходными элементами IV-VIII групп. Показаны преимущества рения как легирующего элемента на примере конструкционных сплавов, особенно для сталей специального машиностроения. Сплавы рения, как и сплавы вольфрама, молибдена и тантала, помимо жаропрочности и твердости, обладают особой пластичностью, что обусловлено выделением углерода из хрупких карбидов с образованием твердых растворов рения и углерода. Показано, что рений образует твердые растворы с бесконечной растворимостью с элементами VIII группы.

В рениевых системах образуется около двух десятков интерметаллических соединений с σ и χ фазами. С элементами IV группы, кроме этих фаз, также образуются λ фазы (фазы Лавеса). Рений представляет собой металл с плотной гексагональной структурой и обладает высокой растворимостью, до 65 ат.%, в металлах V и VI групп, которые являются объемно-центрированными кубическими металлами.

Растворимость рения в гексагональных α модификациях полиморфных металлов IV группы крайне мала (0,5...4,0%), в том случае, когда растворимость в объемно-центрированных β модификациях тех же элементов достигает (для титана) 50 ат. %.

Re обладает высокой термостойкостью. Его прочность при температурах до 1200°C выше, чем у вольфрама, и значительно превышает прочность Mo.

Ключевые слова: рений, легирующий элемент, сплав, фаза, твердый раствор, интерметаллические соединения, термостойкость, прочность, пластичность, износостойкость.

V.A. SIMONYAN

RHENIUM INTERACTION WITH METALS AND FORMATION OF INTERMETALLIC COMPOUNDS

Interaction of rhenium with transition metals of the IV-VIII groups has been analyzed. The advantages of rhenium as an alloying element for construction steels and especially for steels used in special machinery have been demonstrated. Besides being heat and boil resistant, like tungsten, molybdenum and tantalum alloys, Re alloys are also uniquely plastic which is due to separation of carbon from brittle carbides and formation of solid rhenium and carbon solutions. It has been demonstrated that rhenium and elements of the eighth group form solid solutions with unlimited solubility.

In the rhenium systems, there are twenty intermetallic compounds with σ and χ phases. Besides these phases, rhenium also forms λ phases (Laves's phase) with elements of the IVth group. Being a metal with tight hexagonal structure, rhenium has high solubility, up to 65 ат. %, with metals of the Vth and VIth groups that have a volumetric cubic structure. Rhenium's solubility is quite low (0,5...4,0%) in hexagonal α modifications of polymorph metals of IVth group and, at the same time, the solubility in volumetric β modification of the same metals reaches (for titan) 50 ат. %.

Re has high thermal stability. It has higher strength than tungsten, and considerably higher than Mo at 1200°C.

Keywords: rhenium, alloying element, alloy, phase, solid solution, intermetallic compound, heat resistance, strength, plasticity, wear resistance.

Է.Գ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ

**ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԹԵՂՈՒՏԻ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՑԻՆ
ԽՏԱՆՑՈՒԹՅՑ ՖԵՐՈՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Կատարվել է տարբեր վերականգնող նյութերով թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութի վերականգնմամբ ֆերոմոլիբդենի ստացման արդյունաբերական գործընթացի հիմնավորում: Ցույց է տրվել, որ մոլիբդենի օքսիդների վերականգնումն ածխածնով ուղեկցվում է անցանկալի կարբիդների՝ Mo_2C և MoC_{1-x} առաջացմամբ: Ֆերոմոլիբդենի մեջ ածխածնի պարունակության սահմանափակ լինելու պատճառով (0,05...0,5% C) այն ստացվում է մետաղաջերմային մեթոդով: Արտադրության մեջ ֆերոմոլիբդենը ստանում են մոլիբդենի խտանյութից (50...55% Mo), անվառարան, սիլիկաալյումինաջերմային վերականգնմամբ՝ վերին հարուցման եղանակով, 60...65% Si և 10...12% Al պարունակող ֆերոսիլիալյումինի (FeSiAl), ալյումինի փոշու, երկաթի հանքաքարի, պողպատի խարտվածքի և կրաքարի օգտագործմամբ: Գործընթացն ընթանում է միայն մոլիբդենի, երկաթի և այլ տարրերի օքսիդների՝ սիլիցիումի և ալյումինի հետ վերականգնողական ռեակցիաների արդյունքում անջատվող ջերմության շնորհիվ:

Թերմոդինամիկական տեսակետից ածխաջերմային մեթոդով մոլիբդենի օքսիդների վերականգնման ռեակցիան ունի էնթալպիայի և էնտրոպիայի դրական արժեք (CO -ի առաջացման շնորհիվ) և Գիբսի էներգիայի փոփոխության ընդհանուր արժեքը (ΔG_T^0), մնալով բացասական, բացարձակ մեծությամբ դառնում է ավելի փոքր: Այդ պատճառով ածխաջերմային մեթոդով վերականգնումը պահանջում է արտաքինից էներգիայի ծախս: Ընդհակառակը, ալյումինաջերմային և սիլիկաջերմային մեթոդներով վերականգնելիս ռեակցիաները խիստ բացասական են, քանի որ այդ ռեակցիաները չափազանց ջերմանջատիչ են, և այս դեպքում էնտրոպիայի գործոնը չի ազդում Գիբսի էներգիայի փոփոխության բացասական արժեքի վրա (ΔG_T^0) (ռեակցիային մասնակցող բոլոր բաղադրիչները գտնվում են պինդ վիճակում): Հետևաբար՝ վերականգնման ռեակցիաներն ընթանում են սեփական ռեակցիաների ջերմանջատման հաշվին և չեն պահանջում արտաքինից էներգիայի ծախս, ինչն այս մեթոդի կարևոր առավելությունն է:

Առանցքային բառեր. ջերմադինամիկական վերլուծություն, ֆերոմոլիբդեն, սիլիկաալյումինաջերմային մեթոդ, մոլիբդենի և երկաթի օքսիդներ, մետաղի ձուլակտոր, խարամ:

Ներածություն. Կատարվել է երկաթի և մոլիբդենի օքսիդների՝ տարբեր վերականգնող նյութերով վերականգնման ջերմադինամիկական վերլուծություն՝ ֆերոմոլիբդենի արդյունաբերական արտադրության հիմնավորման նպատակով:

Ֆերոմոլիբդենը հանդիսանում է որպես լիգատուրա (լեգիրող տարր) լեգիրված պողպատների արտադրության համար, որն ավելացվելով հեղուկ պողպատին՝ նրան տալիս է մի շարք ցանկալի հատկություններ, հատկապես՝ բարձր ամրություն, պլաստիկություն, ջերմակայունություն և այլն: Մոլիբդենը բարձրացնում է նաև պողպատի կոռոզիակայունությունը: Այն հանդիսանում է ամբողջությամբ վերամշակվող մետաղ: Մոլիբդենի ջարդոնի մոտավորապես 60% օգտագործվում է չժանգոտվող և կոնստրուկցիոն պողպատների արտադրության, մնացածը՝ լեգիրված գործիքային և արագահատ պողպատների, հատուկ տեխնիկայում օգտագործվող համաձուլվածքների, թուջերի ու քիմիական նյութերի արտադրության համար [1, 2]: Այդ իսկ պատճառով Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութի վերականգնման գործընթացի ջերմադինամիկական հիմնավորումը և թանկարժեք ֆերոմոլիբդենի ստացումը խիստ արդիական խնդիրներ են՝ պահանջարկված և հեռնկարային: Նկ. 1-ում պատկերված է արդյունաբերական պայմաններում բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով ստացված և մեխանիկական եղանակով մանրացված ֆերոմոլիբդենի մակրոկառուցվածքը, որն ունի բեկորաձև տեսք:



Նկ. 1. Ֆերոմոլիբդենի մակրոկառուցվածքը (x50)

Համաձայն ԳՕՍՏ 4759-89-ի՝ ստացված ֆերոմոլիբդենն իր քիմիական բաղադրությամբ պետք է համապատասխանի աղ. 1-ում բերված պահանջներին [3]:

Ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի ջերմադինամիկական վերլուծությունը: Կատարվել է Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութից արտադրական պայմաններում բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիական գործընթացի ջերմադինամիկական հիմնավորումը, որի նպատակով վերականգնիչի ընտրության համար կատարվել են ջերմադինամիկական հաշվարկներ:

Համաձայն [1, 2] գրականության տվյալների՝ հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում ինքնատարածվող սինթեզի ընթացքի համար անհրաժեշտ է Գիբսի էներգիայի՝ (ΔG°)-ի փոքրացում:

Ֆերոմոլիբդենի քիմիական բաղադրությունը՝ ըստ ԳՕՍՍ 4759-89-ի [3]

Մականիշը	Mo, ոչ պակաս, %	W	Si	C	P	S	Cu
		ոչ ավելի, %					
ΦMo60(HK)	60	0,3	0,5	0,05	0,05	0,10	0,05
ΦMo60	60	0,3	0,8	0,05	0,05	0,10	0,05
ΦMo58(HK)	58	0,5	0,5	0,08	0,05	0,10	0,08
ΦMo58	58	0,5	1,0	0,08	0,05	0,12	0,08
ΦMo55	55	0,8	1,5	0,10	0,10	0,15	1,0
ΦMo50	50	-	3,0	0,50	0,10	0,50	2,0

Գիբսի էներգիայի արժեքի փոփոխությունը հնարավորություն է տալիս որոշել մոլիբդենի օքսիդի վերականգնման ռեակցիայի ընթացքի հավանականությունը: ΔG_T° –ի արժեքը որոշվել է հետևյալ բանաձևով [1, 2].

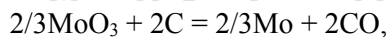
$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - T\Delta S_T^\circ,$$

որտեղ H_T° -ն վերականգնման ռեակցիայի էնտալպիայի փոփոխության անկումն է, իսկ S_T° -ն՝ էնտրոպիայի փոփոխության անկումը:

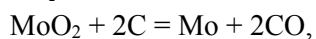
Ներքևում բերված են մոլիբդենի օքսիդների վերականգնման ռեակցիաները տարբեր վերականգնիչների մասնակցությամբ:

Հետազոտության արդյունքները: Հիմք ընդունելով ջերմադինամիկական ռեակցիաների ընթացքը, կատարվել է հետազոտության արդյունքների վերլուծություն:

Մոլիբդենն ունի համեմատաբար ոչ մեծ քիմիական խնամակցություն թթվածնի նկատմամբ: Այդ իսկ պատճառով այն կարող է վերականգնվել ածխածնով՝ բերված ռեակցիաների վրա ոչ մեծ էներգետիկ ծախսերի առկայության դեպքում.



$$\Delta G_T^\circ = 209210 - 309,97 T, \text{ Զ/մոլ},$$

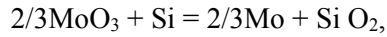


$$\Delta G_T^\circ = 335236 - 355,17 T, \text{ Զ/մոլ}:$$

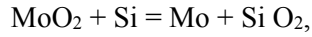
Միաժամանակ, մոլիբդենի օքսիդների վերականգնումն ածխածնով ուղեկցվում է Mo_2C և MoC_{1-x} կարբիդների առաջացումով: Բերված $2\text{Mo}_{(r)} + \text{C}_{(r)} = \text{Mo}_2\text{C}_{(r)}$ ռեակցիայի համար Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը նկարագրվում է $\Delta G_T^\circ = -47530 - 9,46 T, \text{ Զ/մոլ}$ արտահայտությամբ:

Հետևաբար, մոլիբդենի օքսիդների ածխաջերմային վերականգնումը հանգեցնում է ածխածնային ֆերոմոլիբդենի ստացմանը: Ֆերոմոլիբդենում ածխածնի քանակության սահմանափակման նպատակով ($C=0,05\dots0,5\%$) այն ստանում են մետաղաջերմային (սիլակալումինաջերմային) եղանակով [4]:

MoO_3 և MoO_2 փոխազդեցությունը սիլիցիումի հետ տեղի է ունենում ըստ հետևյալ ռեակցիաների.

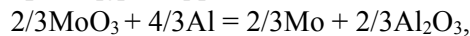


$$\Delta G_T^0 = 2/3469870 + 65,6 T, \text{ Զ/մոլ},$$

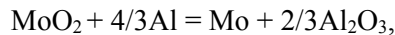


$$\Delta G_T^0 = -334040 + 19,5 T, \text{ Զ/մոլ}:$$

MoO₃-ը և MoO₂-ը ակտիվորեն փոխազդում են նաև ալյումինի հետ՝ ըստ հետևյալ ռեակցիաների.



$$\Delta G_T^0 = -683660 + 51,16 T, \text{ Զ/մոլ},$$



$$\Delta G_T^0 = -519140 + 5,15 T, \text{ Զ/մոլ}:$$

Արդյունաբերական պայմաններում ֆերոմոլիբդենը հալում են անվառարան պայմաններում սիլիկաալյումինաջերմային մեթոդով: 50...55% Mo պարունակող բովված մոլիբդենային խտանյութի մեջ վերնից տեղադրվում է բռնկիչը: Օգտագործվում է նաև ֆերոսիլիկաալյումինային մեթոդը (ՖՄՄ), որը պարունակում է 60...65% Si և 10...12% Al, ինչպես նաև ալյումինի մանրուք, երկաթի հանքաքար, պողպատյա տաշեղներ և կիր: Գործընթացն իրականացվում է որոշակի ծավալով բովախառնուրդում, որը նախօրոք լցվում է հրակայուն աղյուսով շարված հորանի մեջ: Հալված մետաղի հեռացման նպատակով հորանը տեղադրվում է որոշակի գոգավորությամբ ավազե հատակի վրա, որտեղ և լցվում է հալված մետաղը:

Գործընթացը տեղի է ունենում շնորհիվ այն ջերմության, որն անջատվում է ալյումինով և սիլիցիումով մոլիբդենի, երկաթի և այլ տարրերի օքսիդների վերականգնման ժամանակ: Վերականգնման ռեակցիաների ավարտից հետո տրվում է որոշակի ժամանակ՝ հեղուկ մետաղի հոսքի և այն գոգավոր փոսի մեջ լցվելու նպատակով, իսկ խարամը հեռացվում և լցվում է խարամավաննայի մեջ: Որպեսզի կանխարգելվի խարամի կոնտակտային շերտի հոսքը, որը գտնվում է մետաղի վրա և պարունակում է մեծ քանակությամբ մետաղական ներխառնուկներ, ձուլածոյի վրա խարամի շերտի հաստությունը թողնվում է ~ 200 մմ: Լրիվ պնդանալուց հետո ձուլվածքը վերնի խարամի հետ միասին հանվում է ավազե տակդիրից, սառեցվում է ջրով և մաքրվում: Ֆերոմոլիբդենի առաջացած թափոնները վերահալում են մետաղաջերմային խարամի հետ կամ էլեկտրաաղեղային վառարանում: Թափոնների քանակությունը ստացվում է ավելի մեծ, եթե մետաղաջերմային հալումը կատարվում է ցածրացված ջերմաստիճաններում (ԳՕՍՏ 4759-89) [5]:

Ֆերոմոլիբդենի ստացման անվառարան գործընթացը բաղկացած է երկու փուլից: Առաջին փուլի տևողությունը 10...20 րոպե է, որի ընթացքում տեղի են ունենում ինքնատարածվող ռեակցիաներ, որոնք ուղեկցվում են գազերի և բոցի անջատումով: Երկրորդ փուլում, որի տևողությունը 30...40 րոպե է, տեղի է ունենում ռեակցիայի արգասիքների՝ մետաղական հալույթի և խարամի տարանջատում: Առաջին փուլի տևողությունը կարգավորվում է բովախառնուրդի տեսա-

կարար ջերմանջատման (*կՋ/կգ* բովախառնուրդի համար) արժեքի փոփոխմամբ: Ջերմությունը, որն անջատվում է բովախառնուրդի ամբողջ ծավալից, հիմնականում օգտագործվում է հալված մետաղի և խարամի տաքացման վրա: Այն ակտիվացնում է ամբողջ գործընթացը, որի արդյունքում տեղի է ունենում ռեակցիայի արագության բաշխվածություն բովախառնուրդի բաղադրիչների փոխազդեցության միջև: Առաջին փուլի հալույթի ջերմաստիճանից են կախված երկրորդ փուլի և հալույթի վերջնական արդյունքները, քանի որ երկրորդ փուլում ջերմությունը, որն անջատվում է առաջին փուլի արդյունքում, օգտագործվում է շրջակա միջավայրին փոխանցված ջերմության քանակը կոմպենսացնելու համար, որը կատարվում է առաջին փուլում գերտաքացված հալույթի էնտալպիայի հաշվին:

Հետազոտության համար որպես ելանյութ ընտրվել են Հայաստանի Հանրապետության Թեղուտի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկայում արտադրվող մոլիբդենիտային (աղ. 2) [6, 7] և վերջինիս մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքում ստացված խտանյութերը (աղ. 3) [8, 9]:

Աղյուսակ 2

Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութի քիմիական բաղադրությունը, %

MoS ₂	Mo	Cu	S	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Zn	CaO	MgO
74,25	49,5	0,85	14,63	1,7	2,9	3,5	0,02	0,002	2,0	1,0
74,25	48...51	0,5...1,2	13...15,26	1,4...2,0	2,0...3,8	3...4	0,02	2,0	1,0	1,0

Աղյուսակ 3

Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութի քիմիական բաղադրությունը մեխանաքիմիական ակտիվացումից հետո, %

Քիմիական բաղադրությունը, %										
MoO ₃	Mo	Cu	S	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Zn	CaO	MgO
70,64	47,09	0,85	35,6	1,7	2,9	3,5	0,02	0,002	2,0	1,0
70,64	46...48,18	0,5...1,2	35...36	1,4...2,0	2,0...3,8	3...4	0,02	0,002	2,0	1,0

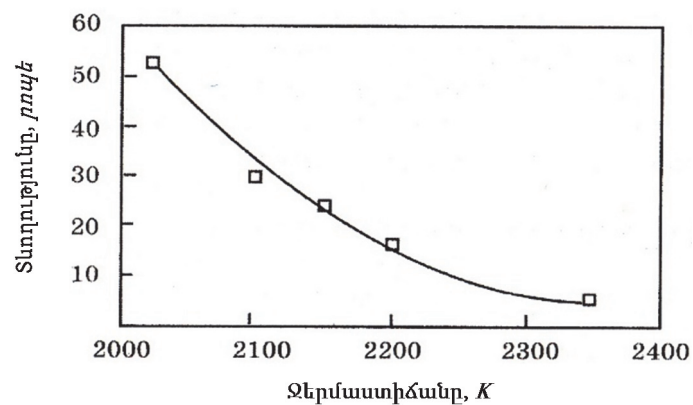
Որպես վերականգնիչ օգտագործվել է АПС-1А մականիշի ալյումինի փոշին: Երկաթով լեգիրման համար որպես ելանյութ վերցվել են ցածր ածխածնային պողպատի տաշեղներ կամ ջարդոն, իսկ որպես հարուցիչ՝ Ti-ի և C-ի խառնուրդը և քիմիապես մաքուր NaNO₃: Խարամագոյացման գործընթացին նպաստելու նպատակով ավելացվել է 100%-ոց CaO:

Ալյումինի փոշին (ГОСТ 10096-76) ստացվել է А6 (99,6% Al) մականիշից ոչ ցածր առաջնային ալյումինի մեխանիկական մանրացման ճանապարհով: Այն ունի գորշ գույն, իսկ ֆիզիկաքիմիական հատկությունները բերված են աղ. 4-ում:

ԱՄԸ-1Ա (ГОСТ 10096-76) մակնիշի ալյումինային փոշու ֆիզիկաքիմիական հատկությունները

Մակնիշը	Ալյումին, %	Ալյումինի օքսիդը, %	Ոչ ավել, %			Լցման խտությունը, գր/սմ ³	Հատիկաչափական կազմը, %	
			Fe	յուղ	խոնավություն		ցանցն ըստ ГОСТ 3581-73	ցանցում մնացորդը, ոչ ավել
ԱՄԸ-Ա	մնացածը	6...8	0,20	0,25	0,1	≥0,9	0,315...0,5	0,150...0,3

Արդյունաբերական պայմաններում Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութի վրա կատարված փորձերի արդյունքում առաջին փուլի տևողությունը որոշվել է առաջացած հալույթի ջերմաստիճանով, որի փոփոխությունը ցույց է տրված նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Ֆերոմոլիբդենի հալույթի առաջին փուլի տևողության կախվածությունը գործընթացի առավելագույն ջերմաստիճանից

Մետաղաջերմային եղանակով հալույթի ցածրջերմաստիճանային ստացումը մեծացնում է ֆերոմոլիբդենի մեջ ածխածնի պարունակությունը, որը հալույթի մեջ է անցնում բովախառնուրդի մետաղներից: Բովախառնուրդի տեսակարար ջերմանջատման բարձրացման համար նրա մեջ ավելացվում է որոշակի քանակի ֆերոսիլիկաալյումին կամ ալյումինի մանրուք՝ հետևյալ հաշվարկով. 1 կգ սիլիցիումը ստեխիոմետրիկ քանակով համարժեք է 1,286 կգ ալյումինին: MoO_3 -ի հետ փոխազդեցության մեջ մտնելու դեպքում 1 կգ սիլիցիումն անջատում է 14780 կՋ ջերմաքանակ, իսկ 1 կգ ալյումինը՝ 17271 կՋ, որը 17%-ով ավելի է:

Մեխանաքիմիական եղանակով ակտիվացված Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութից արդյունաբերական պայմաններում անվառարան եղանակով, ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի ջերմային և ջերմաստիճանային ռեժիմների

գնահատման համար, հաշվարկվել է նյութական և ջերմային հաշվեկշիռը (աղ. 5): Օգտվելով ստացված տվյալներից և ջերմաստիճանային չափումների արդյունքներից՝ հաշվարկվել է ջերմության քանակի մուտքի և ելքի լավագույն հարաբերակցությունը, որը հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու լավագույն բաղադրությամբ հալված ֆերոմոլիբդեն:

Աղյուսակ 5

Մեխանաքիմիական եղանակով ակտիվացրած Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութի նյութական և ջերմային հաշվեկշիռը

Բովախառնուրդի կոմպոնենտների փոխազդեցությունները	Ջերմային երևույթի համար, %
$2/3\text{MoO}_3 + \text{Si} = 2/3\text{Mo} + \text{Si O}_2$	51,67
$2/3\text{MoO}_3 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Mo} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	36,17
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Si} = 4\text{Fe} + \text{Si O}_2$	1,17
$2\text{FeO} + \text{Si} = 2\text{Fe} + \text{Si O}_2$	6,59
$\text{Fe} + \text{Mo} + \text{Si} = 2[\text{Fe}, \text{Mo}] \text{Si}$	0,40
$\text{FeO} + \text{Si O}_2 = \text{Fe Si O}_3$	0,87
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Si O}_2 = \text{Al}_2\text{SiO}_5$	3,81
$\text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{Ca}_2\text{SiO}_3$	2,57

Ջերմային հաշվեկշիռը կազմելու համար հաշվի են առնվել էկզոթերմիկ ռեակցիայի ընթացում անջատված ջերմաքանակը, որը բարձրացնում է բովախառնուրդի ջերմաստիճանը և միացությունների ջերմային դիսոցիման ժամանակ էնդոթերմիկ ռեակցիայի վրա ծախսված ջերմաքանակը, որը ցածրացնում է բովախառնուրդի ջերմաստիճանը (աղ. 6):

Աղյուսակ 6

Էկզոթերմիկ ռեակցիաներից անջատված ջերմաքանակի մուտքը

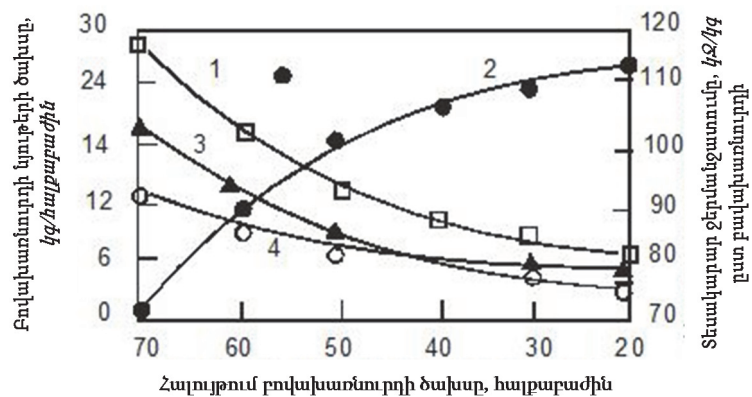
Ռեակցիայի տեսակը	Ջերմության մուտքը, %
CaCO_3 քայքայում	-0,29
FeSi դիսոցում	-3,22
$\text{FeO} \cdot \text{MoO}_3$ դիսոցում	-0,26
$\text{CaO} \cdot \text{MoO}_3$ դիսոցում	-1,37
$\text{MgO} \cdot \text{MoO}_3$ դիսոցում	-0,09
Գործընթացից գումարային ջերմության մուտքը	98,62
Բովախառնուրդի ֆիզիկական ջերմությունը	1,38
Ավելացված արդյունաբ. ջերմությունը 156317746 կՋ	100

Աղ. 7-ում բերված է ջերմության ծախսի հաշվեկշիռը՝ ըստ հողվածների, %:

Ջերմային հաշվեկշռի ծախսի հոդվածները

Ծախսի հոդվածները	Ջերմային բալանսը, %
Մետաղի էնտալպիան	17,76
Մետաղի էնտալպիան	0,53
Մետաղի էնտալպիան	61,06
Թափոնների հալումը	0
Ջերմության կոդմնակի ծախսերը	20,66
Ջերմության գումարային ծախսը 15631739 կՋ	100,00
Անհամապատասխանությունը	0

Բովախառնուրդի զանգվածի փոքրացումը (հալքաբաժինը 100 կգ բովախառնուրդում), որը պահանջվող ջերմաստիճանի պահպանման նպատակով (հալվածքի ստացման առաջին փուլի վերջում 2250 K) ծախսվում է մեկանգամյա հալույթի համար, պահանջում է բովախառնուրդի տեսակարար ջերմանջատման բարձրացում, հաշվի առնելով նաև մոլիբդենի ցածրակ խտանյութերը (40% Mo): Նշվածը հնարավոր է ՖՄԱ-բաղադրակազմի փոփոխմամբ ալյումինի մանրուքներով (նկ. 3): Բարձրացված զանգվածով հալույթի իրականացումը հնարավորություն է տալիս ֆերոմոլիբդենի արտադրության ժամանակ փոքրացնել ալյումինային մանրուքի տեսակարար ծախսը:



Նկ. 3. Մեկանգամյա հալույթի բովախառնուրդի (1), ՖՄԱ բովախառնուրդի (2), ալյումինի մանրվածքի (3) և պողպատյա տաշեղների (4) ծախսի ազդեցությունը բովախառնուրդի տեսակարար ջերմանջատման վրա, որը պահանջվում է հալույթի ստացման առաջին փուլի դեպքում՝ 2250 K ջերմաստիճանում

Ցածրորակ մոլիբդենի խտանյութ օգտագործելիս, հալման օպտիմալ ջերմաստիճանային ռեժիմը պահպանելու համար, հաշվարկվել է բովախառնուրդում ալյումինի և սիլիցիումի ծախսը: Քանի որ ցածրորակ հումքի վերամշակումը պա-

հանջում է այլումինի մանրուքների մեծ ծախս, այդ պատճառով արդյունաբերական պայմաններում ֆերոմոլիբդենի հալումը կատարվում է էլեկտրական վառարանում: Ծրագրի օգտագործումը, որը նախատեսված է մոլիբդենի ցածր պարունակությամբ խտանյութերից օպտիմալ լիցքավորման բաղադրությամբ տվյալ ջերմաստիճանում հալվածք ստանալու համար, հնարավորություն է տալիս կայունացնել անվառարան հալման գործընթացը և բարելավել ֆերոմոլիբդենի արտադրության արդյունավետությունը:

Եզրակացություն: Այսպիսով, արտադրական պայմաններում բովված մոլիբդենային խտանյութերից, որոնք պարունակում են 50...55% մոլիբդեն, ֆերոմոլիբդենի ստացման համար նպատակահարմար է կիրառել անվառարան սիլիկաայլումինաջերմային մեթոդը՝ վերին հարուցիչով:

Մոլիբդենի ցածրորակ խտանյութերից, որոնք պարունակում են 27...40% մոլիբդեն, արտադրական պայմաններում հալումը բնութագրվում է բովախառնուրդի կոմպոնենտների փոխազդեցության ձգձգմամբ, գործընթացի ջերմաստիճանի իջեցմամբ, խարամում մոլիբդենի բարձր պարունակությամբ (0,8...1,5%) և թափոնների մեծ քանակությամբ: Բովախառնուրդի տեսակարար ջերմանջատումը բարձրացնելու համար նրա բաղադրության մեջ ավելացվում է հաշվարկված քանակությամբ ֆերոսիլիկաայլումին կամ այլումինի մանրուք հետևյալ հաշվարկով. 1 կգ սիլիցիումը ստեխիոմետրիկ քանակությամբ համարժեք է 1,286 կգ այլումինին:

Ջերմադինամիկայի տեսանկյունից մոլիբդենի օքսիդների կարբոջերմային մեթոդով վերականգնման ռեակցիաներն ունեն դրական ազդեցություն էնտալպիայի և էնտրոպիայի վրա, որն արդյունք է CO-ի առաջացման: Արդյունքում Գիբսի էներգիայի փոփոխման արժեքը (ΔG_T^0) դառնում է ավելի քիչ բացասական, և ածխածնով վերականգնումն ընթանում է ոչ մեծ էներգետիկ ծախսերով:

Եվ հակառակը, այլումինաջերմային և սիլիկաջերմային մեթոդներով վերականգնելիս ռեակցիաներն ունեն խիստ արտահայտված բացասական արժեքներ, քանի որ այդ ռեակցիաները խիստ էկզոթերմիկ են, և այստեղ էնտրոպիայի գործոնը չի ազդում Գիբսի էներգիայի փոփոխման (ΔG_T^0) բացասական արժեքների վրա (բոլոր փոխազդող նյութերը և ստացվող արգասիքները գտնվում են պինդ վիճակում): Այդ պատճառով վերականգնման ռեակցիաներն ընթանում են տվյալ ռեակցիայի էկզոթերմիկության հաշվին և չեն պահանջում արտաքինից էներգետիկ ծախսեր, որը և հանդիսանում է տվյալ մեթոդի առավելությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Уйкс К.Е., Блок Ф.Е. Термодинамические свойства 65-и элементов, их окислов, галогенидов, карбидов и нитридов.- М.: Металлургия, 1965.— 350 с.
2. Владимиров Л.П. Термодинамические расчеты равновесий металлургических реакций.- М.: Металлургия, 1970.- 528 с.
3. ГОСТ4759-89. Технология получения ферромолибдена внепечным силикоалюмотермическим способом.- М.: Изд-во стандартов, 1989.

4. Проблемы технологического горения. Т.1: Кинетика и термодинамика, механизм и теория горения / **Отв. ред. А.Г. Мержанов**; АН СССР. Отделение орд. Ленина Института химфизики. - Черногловка, 1981.- 134 с.
5. Self-Propagating Higt-Temperature Synthesis of ferrites International / **P.V. Avakyan, V.G. Andreev, et al** // Journal of Self-Propagating Higt-Temperature Sunthesis. – USA, 2002. – Vol. 11, N3. - P. 299-306.
6. **Мартirosян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Минералогическое исследование шлаков металлургических заводов Армении // IV Международная конференция по химии и химической технологии, 14–18 сентября 2015г.- Ереван (Армения), 2015.- С. 127-130.
7. **Мартirosян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Получение ферросилиция из шлаков действующих металлургических заводов Армении // IV Международная конференция "Современные проблемы химической физики", 5-9 октября 2015г.- Ереван (Армения), 2015.- С. 185-186.
8. **Мартirosян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации // Вестник НПУА: Металлургия, материаловедение, недропользование.- Ереван, 2015.- №1.- С. 30-40. ISSN- 1829-3395.
9. **Мартirosян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации // IV Международная конференция по химии и химической технологии, 14–18 сентября 2015г.- Ереван (Армения), 2015.- С. 130-133.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 30.03.2022:

Э.Г. ЗАКАРЯН

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА ИЗ ТЕХУТСКОГО МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Проведены исследования процесса получения в промышленных условиях ферромолибдена из техутского молибденитового концентрата с использованием разных восстановительных материалов. Показано, что процесс восстановления оксида молибдена углеродом сопровождается образованием нежелательных карбидов Mo_2C и MoC_{1-x} . Из-за ограничения содержания углерода в ферромолибдене ($\leq 0,05 \dots 0,5\%$ С) его получают металлотермическим способом. В производстве ферромолибден выплавляют внепечным силикоалюминотермическим методом с верхним запалом из обожженного молибденового концентрата (50...55% Мо) и с применением ферросиликоалюминия, содержащего 60...65% Si и 10...12% Al, алюминиевой крупки, железной руды, стальной стружки и извести. Процесс протекает только за счет тепла, выделяющегося в результате реакций восстановления оксидов молибдена, железа и других элементов кремнием и алюминием.

С точки зрения термодинамики, реакции восстановления оксидов молибдена карботермическим методом имеют положительное значение энтальпии и энтропии (за счет образования CO), в результате чего значение изменения энергии Гиббса (ΔG_T^0) становится менее отрицательным, и восстановление углеродом протекает при небольших энергетических затратах. И наоборот, при восстановлении алюминотермическим и силикотермическим методами реакции имеют слишком отрицательное значение, так как они сильно экзотермичные, и здесь энтропийный фактор не влияет на отрицательную величину изменения энергии Гиббса (ΔG_T^0) (все реагирующие вещества и полученные продукты находятся в твердом состоянии). Поэтому реакции восстановления протекают за счет экзотермичности собственных реакций и не требуют энергетических расходов извне, что и является преимуществом данного метода.

Ключевые слова: термодинамический анализ, ферромolibден, силикоалюминотермический метод, оксиды молибдена и железа, металлический слиток, шлак.

E.G. ZAKARYAN

SUBSTANTIATING THE PROCESS OF PRODUCTION OF FERROMOLYBDENUM FROM TEGHUT MOLYBDENITE CONCENTRATE UNDER PRODUCTION CONDITIONS

Studies of the production process of ferromolybdenum under industrial conditions from Teghut molybdenite concentrate by using different reducing materials are carried out. Molybdenum can be reduced by carbon at low energy costs. However, the reduction of molybdenum oxides with carbon is accompanied by the formation of undesirable carbides Mo₂C and MoC_x. Due to the limitation of the carbon content in ferromolybdenum ($\leq 0.05 \dots 0.5\%$ C), it is obtained by the metallothermic method. In production, ferromolybdenum is smelted by the out-of-furnace silicoaluminothermic method with an upper fuse from fired molybdenum concentrate (50.% Mo) and the use of ferro-silicon-aluminum (FSA) containing 60...65% Si and 10...12% Al, aluminum grains, iron ore, steel shavings and lime. The process takes place only due to the heat released by the reduction reactions of molybdenum, iron and other elements oxides with silicon and aluminum.

From the standpoint of thermodynamics, the reduction reaction of molybdenum oxides by the carbothermal method has a positive value of enthalpy and entropy (due to the formation of CO), the total value of the change in Gibbs energy (ΔG_T^0) remains negative and becomes smaller in absolute terms. That is why carbohydride recovery requires external energy expenditure. On the contrary, when reducing by the aluminothermic and silicothermic methods, the reactions are too negative, since these reactions are highly exothermic, and here the entropy factor does not affect the negative value of the change in Gibbs energy (ΔG_T^0) (all reactants and the resulting products are in solid form), therefore the reactions are recovered due to the exothermicity of their own reactions and do not require external energy costs, which is the potential advantage of this method.

Keywords: thermodynamic analysis, ferromolybdenum, silicon-aluminum-thermal method, oxides of molybdenum, iron, metal ingot, slag.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Տ.Ն. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ա.Ս. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ

**ԲԱՐՁՐ ՏԵՍԱԿԱՐԱՐ ԱՄՐՈՒԹՅԱՄԲ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐՎԱԾ
ԴԵՖՈՐՄԱՑՎՈՂ ՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ մետաղական թել-
քերով ամրանավորված ալյումինային կոմպոզիտային նյութերից առավել մեծ հետաքրքրու-
թյուն են ներկայացնում պողպատյա թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերը,
որոնք խիստ սահմանափակ են լուծվում ալյումինում: Չուլման եղանակով կոմպոզիտա-
յին նյութերի ստացման դեպքում նախապատրաստվածքի տաք արտամղումը և հետագա
ջերմային մշակումը հանդիսանում են կառուցվածքագոյացման հիմնական գործընթաց-
ները, որոնք հնարավորություն են տալիս՝ ստանալու ոչ միայն անծակտկեն կառուցվածք,
այլև փոքրացնելու թելքերի տրամագիծը՝ ըստ պահանջվող չափի ու դիսպերս կարծրացման,
և ամրացման մեխանիզմներով կառուցվածքը դարձնել մանրահատիկ՝ ապահովելով բարձր
մեխանիկական հատկություններ: Կատարվել է ալյումինի հիմքով Al-Cu-Fe-Si համակարգի
դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող ու պողպատյա
թելքերով ամրանավորված բարձր տեսակարար ամրությամբ ալյումինային դեֆորմացվող
համաձուլվածքների ստացման գործընթացի տեսական և տեխնոլոգիական հիմնավորում:
Արդյունքում ցույց է տրված, որ կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները կախված են
մեծ թվով գործոններից, որոնց ճիշտ ընտրությունը թույլ կտա ստանալ տրված մեխանի-
կական հատկություններով օժտված մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզի-
տային նյութեր:

Առանցքային բառեր. համաձուլվածք, ամրանավորում, ձուլում, տաք արտամղում,
ջերմամշակում, կոմպոզիտային նյութ, տեսակարար ամրություն, մետաղական թելքեր:

Ներածություն. Բարձր տեսակարար ամրությամբ, հրամրությամբ, պլաստի-
կությամբ և այլ արժեքավոր հատկություններով օժտված նոր նյութերի ստեղծման
բնագավառում մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում մետաղական թելքերով
ամրանավորված ալյումինային կոմպոզիտային նյութերը [1-3], որոնք հիմնակա-
նում օգտագործվում են ինքնաթիռաշինության և տիեզերական սարքաշինության
մեջ: Այս նյութերում մետաղական թելքերի տրամագիծը տատանվում է մեկ *մկմ*-
ի մասերից մինչև մի քանի տասնյակ և հարյուր *մկմ*, իսկ ծավալային պարու-
նակությունը՝ մի քանի %-ից մինչև 70 *ծավ. %* և ավելի:

Թելքավոր կոմպոզիտային նյութերի ստացման ցանկացած եղանակ պետք է ապահովի. արտադրատեսակի պահանջվող ձևի ստացում, թելքերի ներմուծում մայրակի մեջ՝ առանց քայքայման, մայրակի և թելքի միջև տեխնոլոգիական փոխազդեցության բացակայություն, բաժանման սահմանում ամուր կապի առկայություն, բավարար քանակությամբ թելքերի մատուցման հնարավորություն և մայրակում թելքերի հավասարաչափ կողմնորոշում, իսկ այս նյութերի ստացման տեխնոլոգիական գործընթացը պետք է ներառի՝ բաղադրիչների նախապատրաստում, կոմպոզիցիայի հավաքում, բաղադրիչների միավորում և վերջնական գործընթացների իրականացում (տաք արտամղում և ջերմամշակում):

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման եղանակներից առավել տարածվածը ձուլման եղանակն է՝ հեղուկ մետաղով թելքերի տոգորումը [4], որը կիրառում են, երբ բացակայում է մայրակի և թելքի միջև փոխազդեցությունը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Աշխատանքի նպատակն է տեսականորեն հիմնավորել անընդհատ թելքերով ամրանավորված ալյումինի հիմքով կոմպոզիտային նյութերի ձուլման, տաք արտամղման և ջերմային մշակման մեթոդներով ստացման եղանակը:

Սկզբում մայրակի նյութից, որը ներկայացնում է Al-Cu-Fe-Si համակարգի համաձուլվածք, ձուլվել է հոծ գլան, այնուհետև նրա վրա փաթաթվել են պողպատյա թելքեր կամ թելքերից գործած ցանց, և կատարվել է արտաքին շերտի ձուլում՝ նույն մայրակի համաձուլվածքից: Ձուլումից հետո նախապատրաստվածքը տաքացվել և ենթարկվել է տաք արտամղման և ջերմամշակման: Խնդրի լուծման համար որպես մայրակի նյութ ընտրվել է A5E մակնիշի ալյումինը, որը լեգիրվել է M0 մակնիշի պղնձով, իսկ որպես ամրանավորող թելքեր օգտագործվել են «պողպատ-40» մակնիշի մինչև 0,2 մմ/տրամագծով լարեր: Կոմպոզիտային նյութերի ստացման ժամանակ տաք արտամղումը հանդիսանում է կառուցվածքագոյացման հիմնական գործընթացը, որը հնարավորություն է տալիս՝ ստանալու ոչ միայն անծակոտկեն կառուցվածք, այլև փոքրացնելու թելքերի տրամագիծն ըստ պահանջվող չափի և հետագա ջերմամշակմամբ կառուցվածքը դարձնելու մանրահատիկ՝ ապահովելով բարձր մեխանիկական հատկություններ [5-7]:

Ինչպես կոմպոզիտային նյութերի մեծ մասը, այնպես էլ ալյումինային կոմպոզիտային նյութերը, հանդիսանում են թերմոդինամիկորեն անհավասարակշռված համակարգեր, որոնցում առկա են բաղադրիչների բաժանման հարթություններ և քիմիական պոտենցիալների գրադիենտ: Քիմիական պոտենցիալների գրադիենտը հանդիսանում է միջֆազային փոխազդեցության, մասնավորապես՝ փոխադարձ դիֆուզիայի և քիմիական ռեակցիաների շարժիչ ուժ: Սահմանափակ տիրույթում այդպիսի փոխազդեցություններն անհրաժեշտ են լավարկված հատկություններով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար, սակայն փոխազդե-

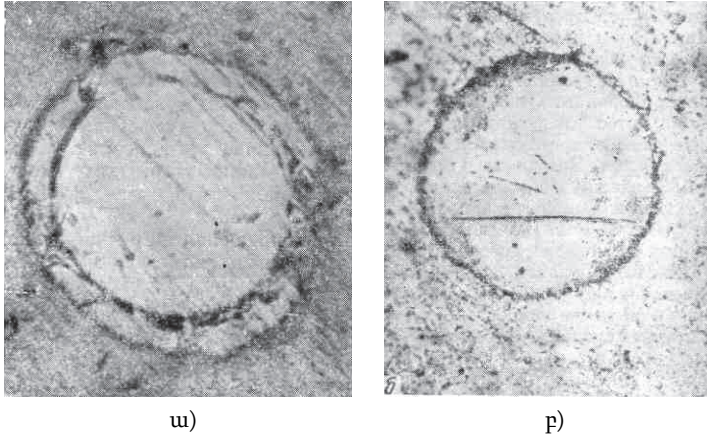
ցությունների ինտեսիվացումը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութի մեխանիկական հատկությունների վատացման [4, 6, 8]:

Քիմիական փոխազդեցությունը կարող է տեղի ունենալ ինչպես կոմպոզիտային նյութի ստացման, այնպես էլ շահագործման ժամանակ: Կայուն հատկություններով կոմպոզիտային նյութերում կոմպոնենտները պետք լինեն քիմիապես համակցելի [9], ներկայացնեն թերմոդինամիկ և կինետիկ համակցությունները [10]: Թերմոդինամիկապես անհամակցելի բաղադրիչները որոշակի ջերմաստիճանա-ժամանակային տիրույթում կարող են լինել կինետիկապես համակցից և հաջողությամբ շահագործվել կոնստրուկցիաներում [6]: Քիմիական համակցության հետ մեկտեղ պետք է ապահովվի նաև բաղադրիչների մեխանիկական համակցությունը, քանի որ վերջինիս առկայության պայմաններում է հնարավոր բաժանման հարթությամբ լարումների արդյունավետ փոխանցումը [4, 11]:

«Al – պողպատ» կոմպոզիտային նյութերի ստացման, ինչպես նաև շահագործման ժամանակ բաղադրիչների միջև ֆիզիկաքիմիական փոխազդեցությունների հետևանքով միջանկյալ շերտում կարող են առաջանալ փխրուն ինտերմետաղական ֆազեր՝ Fe_2Al_5 և $FeAl_3$ [10, 11]: «Al- չժանգոտվող պողպատ» կոմպոզիցիաների դեպքում կարող են առաջանալ նաև քրոմ, նիկել և կոբալտ պարունակող ինտերմետաղական ֆազեր:

Ռեակցիոն գոտու առկայությունը հանգեցնում է կոմպոզիտային նյութերի հատկությունների կտրուկ վատացման: Սակայն ցանկացած ջերմաստիճանում գոյություն ունի որոշակի ժամանակահատված, որի դեպքում ինտերմետաղական ֆազեր ընդհանրապես չեն առաջանում [6, 11-14], որը, այսպես կոչված, լաթենտային ժամանակահատվածն է և ունի շատ կարևոր տեխնոլոգիական նշանակություն: Փոխազդեցության սկզբում ինտերմետաղական ֆազերը հպման տեղամասում անջատվում են առանձին կղզյակների ձևով, ջերմաստիճանի բարձրացման կամ պահման տևողության մեծացման հետևանքով ինտերմետաղական ֆազերով հարուստ շերտի հաստությունն աճում է: Կոմպոզիտային նյութի ստացման լավարկված ջերմաստիճանի դեպքում ապահովվում են բաղադրիչների միջև ամուր կապը և միջանկյալ, ինտերմետաղական ֆազերով հարուստ շերտի նվազագույն հաստությունը (նկ. 1) [15, 16]: Պողպատյա թելքերով ամրանավորված ալյումինային համաձուլվածքներում պահպանվում է բավարար պլաստիկություն [17]: Ամրանավորման հետևանքով զգալիորեն աճում են բացարձակ և տեսակարար ամրություններն ու հրամրությունը [11]:

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման ժամանակ մեծ նշանակություն ունի մայրակի նյութի ընտրությունը: Այն իրին տալիս է ձև, դարձնում միաձուլ, ամրակցում թելքերը, պաշտպանում վերջիններիս մեխանիկական վնասվածքներից և օքսիդացումից: Մայրակի դերը նաև արտաքին բեռնվածքն իր վրա կրելը և թելքերին փոխանցելն է:



Նկ. 1. «Al– չժանգոտվող պողպատյա ցանց» կոմպոզիտային նյութի բաժանման հարթության միկրոկառուցվածքը. ա - 560°C, P=15 ՄՆ/մ², τ = 60 րոպե, բ- 460°C, P=15 ՄՆ/մ², τ = 60 րոպե

Առավել կարևոր նշանակություն ունի բաժանման հարթությունը, քանի որ դրանից է կախված բաղադրիչների միջև կապը: Բաղադրիչների միջև բավարար կապի առկայության դեպքում հնարավոր կլինի օգտագործել ամրանավորող թելքի ամբողջ ամրությունը՝ դրանով իսկ հասնելով կոմպոզիտային նյութի տեսական ամրությանը: Բաղադրիչների ընտրության ժամանակ պետք է հաշվի առնել բազմաթիվ գործոններ, այդ թվում՝ բաղադրիչներում ընթացող ֆազային փոխակերպությունները, դրանց միջև փոխադարձ դիֆուզիան և այլն: Մայրակը պետք է թրջի, բայց չլուծի թելքը: Այդ է պատճառը, որ հիմնարար հետազոտությունների ժամանակ կիրառվել են փոխադարձ չլուծվող բաղադրիչներ:

Այլումինի և նրա համաձուլվածքների հատկություններին ներկայացվող հիմնական պահանջներն են՝ ամրանավորող թելքերի հետ համակցությունը կոմպոզիցիայի ստացման և շահագործման ջերմաստիճաններում, սենյակային և բարձր ջերմաստիճաններում ամրության և պլաստիկության բարձր ցուցանիշները, տեխնոլոգիական հատկություններն ու կոռոզիակայունությունը:

Տեխնիկական մաքրությամբ այլումինային համաձուլվածքները հաճախ կիրառում են ինչպես հեղուկ, այնպես էլ պինդֆազային մեթոդներով կոմպոզիտային նյութերի ստացման համար: Կոմպոզիտային նյութերը հիմնականում ամրանավորվում են վոլֆրամի, մոլիբդենի, բերիլիումի, տիտանի, նիոբիումի և պողպատի թելքերով:

Կոմպոզիտային նյութերի ամրանավորման համար առավել հաճախ օգտագործում են 20...1500 մկմ տրամագիծ ունեցող բարձրաձխածնային և ցածր լեգիրված, չժանգոտվող ու մարտենսիտային ծերացող պողպատյա լարեր: Բարձրամուր չժանգոտվող պողպատի թելքերն առավել տարածված ամրանավորող թել-

քերն են կոմպոզիտային նյութերում, սակայն կոմպոզիտի ստացման և շահագործման բարձր ջերմաստիճանների դեպքում պողպատում առկա Cr-ը և Ni-ը քիմիապես փոխազդում են ալյումինային մայրակի հետ, որի արդյունքում թելքի հարթ գլանական մակերևույթը դառնում է խորդուբորդ: Արդյունքում նվազում է թելքի և, հետևաբար նաև, ամբողջ կոմպոզիտային նյութի ամրությունը:

Հետազոտության արդյունքները. Բարձրամուր ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքի ստացման համար ընտրվել է «Al - պողպատյա թելք» կոմպոզիցիան: Որպես մայրակի նյութ ընտրվել է A5E մակնիշի ալյումինային համաձուլվածքը (Al=99,5 %, Fe=0,35 %, Si=0,12 %, Cu=0,02 %, Zn=0,04 %, Ti=0,01 %, ալտարեր - 0,02 %), իսկ որպես ամրանավորող տարր՝ «պողպատ 40»-ից պատրաստված ամրանավորող լարերը: A5E մակնիշի համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունները լավացնելու նպատակով այն լեգիրվել է M0 մակնիշի պղնձով:

Կոմպոզիտային նյութերի (ԿՆ) հիմնական հատկությունները գլխավորապես կախված են թելքերի հատկություններից և «թելք-մայրակ» սահմանում կապի ուժերից: Հայտնի է [18], որ տրված տրամագծով թելքի և դրա որոշակի ծավալային պարունակության դեպքում դիսկրետ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրությունն այնքան ավելի բարձր է, որքան երկար է թելքը, սակայն այն չի գերազանցում անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության 90%-ին:

Որպես ամրանավորող նյութ՝ թելքերը պետք է օժտված լինեն հետևյալ հատկություններով՝ հալման բարձր ջերմաստիճան, ցածր տեսակարար կշիռ, բանվորական ջերմաստիճանների ամբողջ միջակայքում բարձր ամրություն, մայրակի մեջ փոքր լուծվելիություն, բավարար քիմիական կայունություն, բանվորական ջերմաստիճանների միջակայքում ֆազային փոխակերպությունների, ինչպես նաև պատրաստման և շահագործման ընթացքում թունավորության բացակայություն:

Թելքերով ամրանավորման գլխավոր նպատակը լարումներն իրենց վրա կրելն է, իսկ մայրակը փոխանցում է լարումները թելքերին և բաշխում դրանց միջև: Եթե մայրակը և թելքերը դեֆորմացվում են առաձգականության տիրույթում, ապա մայրակի դեֆորմացիայի կապը թելքերի դեֆորմացիայի հետ որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\varepsilon_{y\alpha} = \varepsilon_{y\theta} \left[\frac{2V_{\theta}}{V_{\theta} + 0,8} \left(\frac{E_{\alpha}}{E_{\theta}} - 1 \right) + 1 \right]^{-1}, \quad (1)$$

որտեղ $\varepsilon_{y\alpha}$ -ը և $\varepsilon_{y\theta}$ -ը մայրակի և թելքերի հարաբերական դեֆորմացիաներն են ձգման ժամանակ y առանցքի ուղղությամբ, V_{θ} -ն՝ ամրանավորող թելքերի ծավալային մասնաբաժինը, իսկ E_{α} և E_{θ} -ը՝ մայրակի և թելքերի Յունգի մոդուլները:

Ինչպես երևում է բանաձևից, մայրակի դեֆորմացիայի մեծությունը կախված է մայրակի և թելքերի առաձգականության մոդուլների հարաբերությունից և թելքերի ծավալային մասնաբաժնից (V_p): Սահմանային դեպքում, երբ $V_p \rightarrow 1$, ապա մայրակի դեֆորմացիան պետք է գերազանցի ընդհանուր կոմպոզիտային նյութի դեֆորմացիային E_d/E_p անգամ:

Ամրավորված կոմպոզիտային նյութերի միատարրության ապահովման համար անհրաժեշտ են այնպիսի մայրակներ, որոնց հարաբերական երկարացումը մի քանի անգամ կարող է գերազանցել կոմպոզիտային նյութի միջին դեֆորմացմանը: Բարձրացնելով թելքերի V_p -ն՝ կարելի է ստանալ կոմպոզիտային նյութերի առավելագույն ամրություն: Սակայն, ինչպես ցույց է տալիս (1) բանաձևը, եթե մայրակի երկարացումը սահմանափակ է, ապա V_p -ի մեծ արժեքի դեպքում կարող է խախտվել համակարգի միասնությունը: Ուստի նյութի օպտիմալ կազմի ընտրության ժամանակ պետք է հաշվի առնել կոմպոզիտային նյութի ամրության նվազեցումը թելքերի ծավալային պարունակության սահմանափակման հետևանքով, ինչպես նաև բացասական երևույթները (շերտավորում, ճաքագոյացում), որոնք կարող են ի հայտ գալ թելքերի չափազանց խիտ դասավորության դեպքում: Դրանցից կարելի է խուսափել՝ օգտվելով թելքերի միջև մայրակի δ շերտի հաստության, թելքի d_p տրամագծի, քայքայման ժամանակ թելքերի ε_p և մայրակի ε_d հարաբերական երկարացումների միջև եղած կապից՝

$$\delta \geq \frac{d_p}{\frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_p} - 1} : \quad (2)$$

Անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի ամրության սահմանը որոշվել է թելքերի և թելքերի կտրման ժամանակ մայրակի ամրության սահմանների գումարով [4]: Ձգման փորձարկման դեպքում երկբաղադրիչ կոմպոզիտային նյութի ամրության սահմանը մաթեմատիկորեն կարելի է արտահայտել հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_{d,kn} = \sigma_{d,p} V_p + \sigma'_d (1 - V_p), \quad (3)$$

որտեղ $\sigma_{d,kn}$ և $\sigma_{d,p}$ -ն համապատասխանաբար կոմպոզիտային նյութի և թելքերի ամրության սահմաններն են, σ'_d -ը՝ մայրակի մեջ լարումը թելքերի խզման պահին, իսկ V_p -ն՝ թելքերի ծավալային բաժնեմասը:

Այս դեպքում ընդունվել է, որ՝

- մայրակը և թելքերը դեֆորմացվում են միևնույն մեծությամբ, այսինքն լարման և դեֆորմացման կապը ենթարկվում է Հուկի օրենքին,

- թելքերը տեղակայված են ձգման առանցքին զուգահեռ և չեն հպվում իրար,

- արտաքին բեռնվածքը փոխանցվում է թելքերին շոշափող լարումների միջոցով բաժանման հարթությամբ,

- բոլոր թելքերն օժտված են հավասար ամրությամբ, ունեն նույն չափսն ու ձևը և ամուր կցորդված են մայրակին,

- լարումները որոշվում են վերջիններիս դեֆորմացիայի և առաձգականության մոդուլի արժեքներից,

- կոմպոզիտային նյութը կազմող բաղադրիչների մեխանիկական հատկությունները չեն փոխվում վերջիններիս համատեղ դեֆորմացիայի արդյունքում [4]:

Պրակտիկայում վերը նշվածն անհնար է ապահովել, այդ իսկ պատճառով հավասարման մեջ ներմուծվել են համապատասխան գործակիցներ, համաձայն որոնց՝ (3) հավասարումը ստացել է հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma_{d,կն} = \sigma_{d,թ} V_{թ} K_{թ} + \sigma'_{ս}(1 - V_{թ}) K_{ս}, \quad (4)$$

որտեղ $K_{թ}$ և $K_{ս}$ կոմպոզիտային նյութում համապատասխանաբար թելքի ու մայրակի աշխատանքային պայմանները հաշվի առնող գործակիցներ են, որոնք որոշվել են փորձնական ճանապարհով: (4) ադիտիվության բանաձևը հաշվի է առնում թելքերի և մայրակի միջև բոլոր տեսակի փոխազդեցություններն ամբողջական տեսքով, սակայն հաշվի չի առնում կոմպոզիտային նյութի քայքայման մեխանիզմը:

Երբ կոմպոզիտային նյութում մայրակն ավելի պլաստիկ է, քան թելքերը, ապա առաջանում է թելքերի նվազագույն կոնցենտրացիայի որոշման խնդիր: Այս դեպքում, երբ կոմպոզիտային նյութում թելքերի ծավալային բաժնեմասը ($V_{թ}$) փոքր է որոշակի նվազագույն արժեքից՝ $V_{թ} < V_{min}$, ապա դեֆորմացման ժամանակ թելքերի խզմամբ ամբողջ կոմպոզիտային նյութը չի քայքայվում, քանի որ չքայքայված մայրակն իր վրա է վերցնում այդ լարումները: Լարումների հետագա մեծացումը հանգեցնում է թելքերի կտրտման փոքր մասերի [19], այսինքն տեղի է ունենում բազմակի քայքայում: Երբ $V_{թ} > V_{min}$, ապա արտաքին լարումների ազդեցությամբ, երբ դրանք հավասարվում են թելքերի ամրությանը և շարունակում են աճել, տեղի է ունենում թելքերի խզում: Այս դեպքում թելքերի վրա ազդող լարումները, վերաբաշխվելով մայրակում, որի ամրությունը բավարար չէ ազդող լարումներին դիմադրելու համար, առաջացնում են կոմպոզիտային նյութի շատ արագ քայքայում: Բոլոր թելքերը և մայրակը քայքայվում են միանգամից: Կոմպոզիտային նյութում թելքերի նվազագույն ծավալային բաժնեմասը որոշվել է

$$\sigma_{d,թ} V_{min} + \sigma'_{ս}(1 - V_{min}) = \sigma_{d,ս}(1 - V_{min})$$

պայմանից և հավասար է՝

$$V_{\min} = \frac{\sigma_{\text{d.}\text{u}} - \sigma'_{\text{u}}}{\sigma_{\text{d.}\text{p}} + \sigma_{\text{d.}\text{u}} - \sigma'_{\text{u}}} : \quad (5)$$

Թելքերի ծավալային կրիտիկական քանակ ($V_{\text{կր}}$) կոչվում է թելքերի ծավալային այն բաժնեմասը, որի դեպքում կոմպոզիտային նյութի ամրությունը հավասարվում է չամրանալիորված մայրակի ամրությանը և որոշվում է

$$\sigma_{\text{d.}\text{p}} V_{\text{կր}} + \sigma'_{\text{u}} (1 - V_{\text{կր}}) = \sigma_{\text{d.}\text{u}}$$

պայմանից և հավասար է՝

$$V_{\text{կր}} = \frac{\sigma_{\text{d.}\text{u}} - \sigma'_{\text{u}}}{\sigma_{\text{d.}\text{p}} - \sigma'_{\text{u}}} : \quad (6)$$

Երբ թելքերն օժտված են ավելի բարձր պլաստիկությամբ, քան մայրակը, ապա անցումը միանգամյա քայքայումից բազմակի քայքայման տեղի է ունենում թելքերի $V'_{\text{թ}}$ ծավալային պարունակության դեպքում, որը որոշվել է

$$\sigma_{\text{d.}\text{p}} V'_{\text{թ}} = \sigma_{\text{d.}\text{u}} (1 - V'_{\text{թ}}) + \sigma'_{\text{p}} V'_{\text{թ}}$$

պայմանից և հավասար է՝

$$V'_{\text{թ}} = \frac{\sigma_{\text{d.}\text{u}}}{\sigma_{\text{d.}\text{p}} + \sigma_{\text{d.}\text{u}} - \sigma'_{\text{p}}} , \quad (7)$$

որտեղ σ'_{p} -ը թելքում լարումն է մայրակի դեֆորմացման ժամանակ նրա քայքայման պահին: Պլաստիկ մայրակով կոմպոզիտային նյութերը քայքայվում են միանգամյա քայքայման մեխանիզմով թելքերի բարձր կոնցենտրացիայի դեպքում, իսկ փխրուն մայրակով կոմպոզիտային նյութերը՝ թելքերի փոքր կոնցենտրացիայի դեպքում:

Թելքերի քայքայման մեխանիզմով է բացատրվում կոմպոզիտային նյութի ձգման դիագրամի սղոցանման տեսքը: Երբ մայրակը պլաստիկ է, իսկ թելքը՝ փխրուն, ապա տարբեր կտրվածքներում թելքերի խզման դեպքում լարումները, որոնք կրում է թելքը, փոխանցվում են մայրակին, իսկ ձգման դիագրամի վրա առաջանում է ատամ, որի մեծությունը համեմատական է այդ լարումներին (նկ. 2): Հետագա դեֆորմացման ժամանակ մայրակում տեղի է ունենում տեղային կոփում, և լարումը մեծանում է այնքան, մինչև որ այն առաջացնի նոր քայքայում մեկ այլ կտրվածքում:

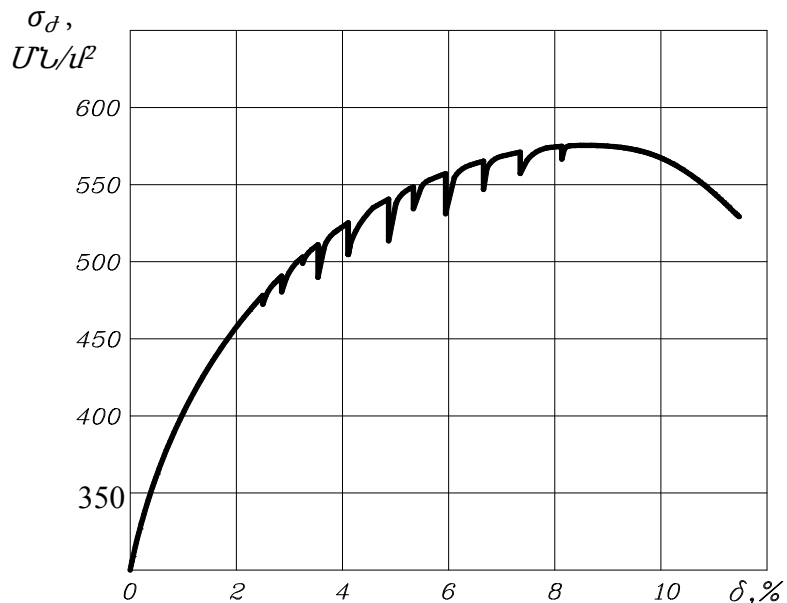
Միակողմանի ուղղորդված թելքերով կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը երկարության ուղղությամբ, երբ $V_p > V_{min}$, որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_{տես} = \frac{[\sigma'_{\delta} + (\sigma_{\delta,p} - \sigma'_{\delta})V_p]}{[\gamma_{\delta} + (\gamma_p - \gamma_{\delta})V_p]}, \quad (8)$$

որտեղ γ_{δ} և γ_p համապատասխանաբար մայրակի և թելքի խտություններն են: Երբ $V_p < V_{min}$, ապա կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը հավասար է՝

$$\sigma_{տես} = \frac{\sigma_{\delta,\delta} (1 - V_p)}{[\gamma_{\delta} + (\gamma_p - \gamma_{\delta})V_p]}: \quad (9)$$

V_{min} -ը կախված չէ մայրակի և թելքի խտություններից և որոշվել է (5) բանաձևով:



Նկ. 2. «Al – պողպատյա թելք» կոմպոզիտային նյութի ձգման դիագրամը

Կոմպոզիտային նյութերում թելքերի կրիտիկական տեսակարար ծավալային բաժնեմասը ($V_{կր.տես}$), երբ ձգման ժամանակ նրա տեսակարար ամրությունը հավասարվում է չամրանալու մայրակի տեսակարար ամրությանը, ի տարբերություն V_{min} -ի, կախված է ոչ միայն բաղադրիչների ամրային բնութագրերից, այլև նրանց խտությունից և որոշվել է հետևյալ հարաբերությամբ՝

$$V_{\text{կր.տես}} = \left[1 + \frac{\sigma_{\text{ժ.թ}} - \frac{\sigma_{\text{ժ.ձ}} \gamma_{\text{թ}}}{\gamma_{\text{ձ}}}}{\sigma_{\text{ժ.ձ}} - \sigma'_{\text{ձ}}} \right]^{-1} : \quad (10)$$

$\gamma_{\text{թ}} \neq \gamma_{\text{ձ}}$ դեպքում $V_{\text{կր.տես}}$ -ն աճում է $\gamma_{\text{թ}} / \gamma_{\text{ձ}}$ հարաբերության մեծացմանը զուգընթաց, իսկ $\gamma_{\text{թ}}/\gamma_{\text{ձ}}=1$ դեպքում՝ $V_{\text{կր.տես}} = V_{\text{կր}}$, որը որոշվել է (6) բանաձևով: Այն դեպքում, երբ մայրակը և թելքն ունեն նույն տեսակարար ամրությունը, ապա $V_{\text{կր.տես}}=1$ ՝ $V_{\text{թ}}$ -ի ցանկացած արժեքների դեպքում, և կոմպոզիտային նյութի տեսակարար ամրությունը չի կարող գերազանցել մայրակի տեսակարար ամրությանը: Երբ $\gamma_{\text{թ}} < \gamma_{\text{ձ}}$, (10) հավասարումը կորցնում է իր ֆիզիկական իմաստը:

Ընդհատ թելքերով ամրանավորման ժամանակ մեծ նշանակություն ունի թելքի երկարությունը: Ինչպես հայտնի է [5], կոմպոզիտային նյութերում արտաքին բեռնվածքը մայրակից թելքին է փոխանցվում շոշափող լարումների միջոցով թելքի և մայրակի բաժանման հարթությունում: Գոյություն ունի թելքի որոշակի կրիտիկական երկարություն ($\ell_{\text{կր}}$), որից փոքրի դեպքում՝ $\ell_{\text{թ}} < \ell_{\text{կր}}$, կիրառված ձգող լարումները բավարար չեն թելքի խզման համար, և այս դեպքում թելքը ձգվում և դուրս է գալիս մայրակից, որի հետևանքով ամբողջությամբ չի օգտագործվում նրա ամրությունը: Երբ $\ell_{\text{թ}} > \ell_{\text{կր}}$, ապա արտաքին ձգող լարումների ազդեցության տակ թելքերը խզվում են, ընդ որում՝ $\ell_{\text{թ}}$ -ի մեծացմանը զուգընթաց կոմպոզիտային նյութի ամրությունն աճում է: Կոմպոզիտային նյութում թելքի կրիտիկական երկարությունը ($\ell_{\text{կր}}$) այն ամենափոքր երկարությունն է, որի դեպքում տեղի է ունենում թելքի խզում և որոշվում է հետևյալ բանաձևով [18].

$$\frac{\ell_{\text{կր}}}{d} = \frac{\sigma_{\text{ժ.թ}}}{2\tau_u}, \quad \ell_{\text{կր}} = \frac{\sigma_{\text{ժ.թ}} d}{2\tau_u}, \quad (11)$$

որտեղ d -ն թելքի տրամագիծն է, τ_u -ն՝ «թելք – մայրակ» բաժանման սահմանի ամրությունը սահքի ժամանակ: τ_u -ի փոքրացմանը և $\sigma_{\text{ժ.թ}}$ մեծացմանը զուգընթաց $\ell_{\text{կր}}$ -ը մեծանում է:

Զուգահեռ դասավորված ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի ամրությունը ($\sigma'_{\text{ժ.թ}}$) որոշվել է ադիտիվության հավասարումներով՝ հաշվի առնելով թելքերի ծայրամասերում լարումների կոնցենտրացիան: Երբ $\ell < \ell_{\text{կր}}$, ապա կոմպոզիտային նյութի քայքայումն ուղեկցվում է մայրակից թելքերի դուրս գալով, իսկ ամրությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\sigma'_{d,p} = \left(\frac{\tau_u \ell}{d} \right) V_p + \sigma_{d,u} (1 - V_p): \quad (12)$$

Այսպիսի կոմպոզիտային նյութերի ամրությունը, V_p -ի, τ_u -ի և ℓ/d -ի մեծացմանը զուգընթաց, աճում է՝ մնալով փոքր՝ անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության համեմատ: $\ell_p > \ell_{up}$ դեպքում՝

$$\sigma'_{d,p} = \sigma_{d,p} \left[1 - (1 - k) \frac{\ell_{up}}{\ell} \right] V_p + \sigma'_u (1 - V_p), \quad (13)$$

որտեղ k -ն 1-ից փոքր գործակից է [18]: $k \approx 0,5$ միջին արժեքի դեպքում ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության հարաբերությունը անընդհատ թելքերով կոմպոզիտային նյութի ամրությանը որոշվել է հետևյալ կախվածությամբ.

$$\frac{\sigma'_{d,p}}{\sigma_{d,p}} = 1 - \frac{1}{\frac{2\ell}{\ell_{up}} \left[1 + \frac{\sigma'_u}{\sigma_{d,p}} \left(\frac{1}{V_p} - 1 \right) \right]}: \quad (14)$$

Փորձերը ցույց են տալիս, որ $\ell/\ell_{up} > 10$ դեպքում ընդհատ թելքերով կոմպոզիտային նյութի ամրությունը կարող է հասնել անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի ամրության մոտավորապես 90%-ին:

Ընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերում թելքերի կրիտիկական բաժնեմասը (V'_{up}) որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$V'_{up} = \frac{\sigma_{d,u} - \sigma'_u}{\sigma_{d,p} \left[1 - (1 - k) \frac{\ell}{\ell_{up}} \right] - \sigma'_u}, \quad (15)$$

որը միշտ մեծ է անընդհատ թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութի թելքերի կրիտիկական բաժնեմասից:

Եզրակացություն. Կատարվել է ալյումինի հիմքով դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող ու պողպատյա թելքերով ամրանավորված բարձր տեսակարար ամրությամբ ալյումինային դեֆորմացվող համաձուլվածքների ստացման գործընթացի տեսական և տեխնոլոգիական հիմնավորում: Արդյունքում հիմնավորվել է, որ կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները կախված են մեծ թվով գործոններից, որոնց ճիշտ ընտրությունը թույլ կտա

ստանալ տրված մեխանիկական հատկություններով օժտված մետաղական թելքերով ամրանալորված կոմպոզիտային նյութեր:

Հետազոտությունները կատարվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բաժանի գիտահետազոտական լաբորատորիայում կատարվող գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Портной К.И.** Важнейшие свойства и области применения композиционных материалов // В кн.: Композиционные металлические материалы.- М.: ОНТИ, 1972.- С. 7-14.
2. **Кутыинов В.Ф., Андриенко В.М., Сухобокова Г.П., Рубина А.Л.** Применение композиционных материалов в силовых конструкциях летательных аппаратов// В кн.: Композиционные металлические материалы.- М.: ОНТИ, 1972.- С. 15-40.
3. Применение композиционных материалов в технике.- Т. 3: Композиционные материалы / Пер. с англ.; Под ред. **С.Е. Салибекова**.- М.: Машиностроение, 1978.- 507 с.
4. **Иванова В.С., Копьев И.М.** Упрочнение металлов волокнами: Монография.- М.: Наука, 1973.- 207 с.
5. **Агбалин С.Г.** Теоретические и технологические основы формования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33с.
6. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей / Под ред. **М.Х. Шоршорова**. - М.: Машиностроение, 1981.- 272 с.
7. **Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р., Фефер В.Я.** Энергетические затраты при свободной ковке металлических армированных композиций // Порошковая металлургия.- 1975.- № 6.- С. 20-26.
8. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1979.- 312 с.
9. **Портной К.И., Заболоцкий А.А., Турченков В.А.** К оценке взаимодействия и совместимости компонентов в волокнистых композиционных материалах // Порошковая металлургия.- 1978.- N 10.- С. 64-71.
10. Композиционные материалы с металлической матрицей.-Т. 4: Композиционные материалы / Пер. с англ.; Под ред. **К.И. Портного**.- М.: Машиностроение, 1978.- 502 с.
11. Композиционные материалы: Справочник / Под ред. **Д.М. Карпиноса**.- Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.
12. **Карпинос Д.М., Зильберберг В.Г., Кадыров В.Х.** Исследование условий получения композиционного материала на основе алюминия, армированного стальными волокнами с использованием метода плазменного напыления // Порошковая металлургия.- 1974.- N 8.- С. 41-44.

13. Композиционный материал на основе алюминия, армированный проволокой из стали ВНС-9 / **И.Н. Фридляндер, В.П. Северденко, С.А. Юдина и др.** // В кн.: Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы.- М.: Наука, 1976.- С. 128-132.
14. **Patinaik A., Lowley A.** Effect of elevated temperature exposure on the structure, stability and mechanical behavior of aluminum-stainless steel composites // Met. Trans.- 1974.- V. 5, N 1.- P. 111-122.
15. **Zhang L.P., Zhao Y.Y.** Mechanical Response of Al Matrix Syntactic Foams Produced by Pressure Infiltration Casting // Journal of Composite Materials.- 2007.- V. 41, N 17.- P. 2105-2117.
16. **Shuhua Liang, Zhikang Fan, and Liang Fang.** Effect of Powder Characteristic on Al Internal Oxidation to Prepare Al_2O_3 -Cu Composite // Journal of Composite Materials.- 2004.- V.38, N1.- P.31-39.
17. **Jae-Do Kwon, Jeong-Ju Ahn, Sang-Tae Kim, and Hitoshi Ishii.** The Fatigue Life Prediction of SiC Whisker Reinforced Al6061 Alloy Composite by Monte-Carlo Simulation // Journal of Composite Materials.- 1998.- V. 32, N10.- P. 910-928.
18. Современные композиционные материалы / Под ред. **Л. Браутмана, Р. Крока.** - М.: Мир, 1970.- 676 с.
19. **Портной К.И.** Волокнистые композиционные материалы // В кн.: Волокнистые и дисперсноупрочненные композиционные материалы.- М.: Наука, 1976.- С. 106-110.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.01.2022:

**С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, Т.Н. САФАРЯН, А.С. АГБАЛЯН,
Т.А. ДЕМИРЧЯН**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АРМИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ

Анализ литературных данных показал, что из алюминиевых композиционных материалов, армированных металлическими волокнами, наибольший интерес представляют материалы, армированные стальными волокнами, поскольку последние обладают ограниченной растворимостью в алюминии. Горячая экструзия и дальнейшая термическая обработка заготовки, полученной методом литья, являются основными факторами структурообразования в производстве композиционных материалов. Это позволяет не только получить беспористую структуру, но и уменьшить диаметр волокон до требуемого размера, а также получить мелкозернистую структуру посредством механизмов дисперсионного твердения и упрочнения, обеспечивая высокие механические свойства. Проведено теоретическое и технологическое обоснование процесса получения высокопрочных алюминиевых деформируемых сплавов

системы Al-Cu-Fe-Si, дисперсионно–твердеющих, дисперсионно–упрочненных и армированных стальными волокнами. Показано, что свойства композиционных материалов зависят от большого количества факторов, правильный выбор которых позволит получить композиционные материалы, армированные металлическими волокнами с заданными механическими свойствами.

Ключевые слова: сплав, армирование, литье, горячая экструзия, термообработка, композиционный материал, удельная прочность, металлические волокна.

**S.G. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN, T.N. SAFARYAN, A.S. AGHBALYAN,
T.A. DEMIRCHYAN**

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF HIGH-STRENGTH REINFORCED ALUMINUM DEFORMABLE ALLOYS

The analysis of literature has shown that of the aluminum composite materials reinforced with metal fibers, the most interesting are composite materials reinforced with steel fibers, since the latter have a very limited solubility in aluminum. Hot extrusion and further heat treatment of the billet obtained by the casting method are the main factors of structure formation during the production of composite materials. This makes it possible to obtain not only a non-porous structure, but also to reduce the fiber diameter to the required size, through precipitation hardening and hardening mechanisms to obtain a fine-grained structure, providing high mechanical properties. The theoretical and technological substantiation of the process of obtaining high-strength aluminum wrought alloys of the Al-Cu-Fe-Si system, precipitation-hardening, dispersion-hardened and reinforced with steel fibers has been carried out. It is shown that the properties of composite materials depend on a large number of factors, the correct choice of which will make it possible to obtain composite materials reinforced with metal fibers with specified mechanical properties.

Keywords: alloy, reinforcement, casting, hot extrusion, heat treatment, composite material, specific strength, metal fibers.

Ռ.Ս. ՊԱՊՈՅԱՆ

XTC ՄԱԿՆԻՇԻ ՊՈՂՊԱՏՅԱ ԳՆԴԵՐԻ ՄԽՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ, ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՄԽՄԱՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ

Աշխատանքի նպատակն է մշակել XTC մակնիշի պողպատյա գնդերի միմյան գործընթացի ալգորիթմ և ծրագիր, որոնք հնարավորություն կտան գնդի շառավղի երկարությամբ ստանալ պահանջվող կառուցվածքներ և համապատասխան մեխանիկական հատկություններ: Նշված նպատակին հասնելու համար ուսումնասիրվել են արհեստական բանականության և տվյալների մշակման առանձնահատկությունները՝ մետաղագիտության և ջերմամշակման գործընթացում ներդնելու նպատակով:

Գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ, համաձայն ГОСТ 7524-89 և ГОСТ 5950-2000-ի, XTC մակնիշի պողպատը մեծ կիրառություն է գտել զունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդերի պատրաստման գործընթացում: Կատարվել են փորձարարական աշխատանքներ XTC մակնիշի պողպատից պատրաստված գնդերի միմյան նպատակով՝ հանքային յուղի փոխարեն նոր սառեցնող միջավայր մշակելու համար: Ցույց է տրվել, որ նշված մակնիշի պողպատի միմյան համար նախիրտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթը հանդիսանում է այլընտրանք, որն ապահովում է պահանջվող հատկությունների ստացումը:

Ուսումնասիրությունների արդյունքում որպես ծրագրավորման լեզու ընտրվել է «python»-ը: Ստեղծվել է տվյալների բազա, որտեղ ներմուծվել են XTC մակնիշի պողպատյա գնդերի միմյան համար ներկայումս կիրառվող հայտնի տվյալները: Տվյալների մշակման համար ստեղծվել է ալգորիթմ, որի միջոցով դուրս է բերվել համապատասխան համաձուլվածքի համար ամենաարդիական միմյան միջավայրը՝ ելնելով ներմուծված վերջնական ցանկալի արդյունքներից: Ծրագրի փորձարկման արդյունքում 120 մմ տրամագծով գնդի մակերևութային շերտում կարծրությունը ստացվել է HRC64 միավոր, իսկ միջուկում՝ HRC45 միավոր:

Առանցքային բառեր. պողպատ, գունդ, միսում, C-աձև կորեր, ալգորիթմ, միմյան միջավայր, սառեցման արագություն, կարծրություն, կառուցվածք:

Ներածություն: Ժամանակակից աշխարհում գիտության և տեխնիկայի արագ զարգացումը պահանջում է նորագույն տեխնոլոգիաների մշակում ու ներդրում արտադրության մեջ: Դրանցից կարելի է առանձնացնել գիտական երկու ուղղություն՝ տվյալների մշակումը և արհեստական բանականությունը, որոնք հնարավորություն են տալիս միմյանց հետ կապել գիտության տարբեր ճյուղերը: Նյութագիտության, այդ թվում՝ մետաղագիտության ոլորտներում տվյալների մշակման

և այնուհետև դրանք արհեստական բանականության մեջ ինտեգրելու համար անհրաժեշտ է հավաքագրել տվյալների մեծ բազա և ունենալ այդ տվյալների օգտագործման կարգավորված մեխանիզմ:

Գրականության վերլուծության արդյունքում [1-7] պարզվել է, որ ինչպես անցյալում, այնպես էլ հիմա ուսումնասիրվել և ուսումնասիրվում են պողպատների և համաձուլվածքների թրծման, միմյան և արձակման գործընթացները՝ պահանջվող հատկություններով արտադրատեսակներ ստանալու նպատակով: Մշակվել են տարբեր GOCT-եր [8, 9], և գրվել տեղեկատուներ [1-4], որոնց միջոցով հնարավորություն է ստեղծվում ցանկացած հատկություններով արտադրատեսակի համար ճիշտ ընտրել պողպատի կամ համաձուլվածքի մակնիշը, ջերմամշակման ռեժիմները և դրանք իրականացնել համապատասխան տեխնոլոգիայով: Ինչ վերաբերում է նոր մշակված պողպատների, համաձուլվածքների կամ ֆունկցիոնալ հատկություններով արտադրատեսակների, այդ թվում՝ մետաղական հիմքով կոմպոզիտային նյութերի ջերմային մշակմանը, ապա խնդիրը դառնում է բավականին բարդ և պահանջում է գիտական նոր մոտեցումներ: Այս տեսակետից ներկայացված աշխատանքն արդիական է և պահանջարկված, քանի որ այն վերաբերում է գունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդերի ջերմային մշակմանը՝ բարձր արտադրողականությամբ գնդերի ստացման նպատակով: Աշխատանքն առավել արդիական է Հայաստանի Հանրապետության համար, որտեղ մեծ ծավալով շահագործվում են գունավոր մետաղների հանքավայրերը, իսկ մանրացնող պողպատյա գնդերը հիմնականում արտադրվում են տեղական ձեռնարկություններում:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդի հիմնավորումը: Աշխատանքի նպատակն է մշակել XTC մակնիշի պողպատյա գնդերի միմյան գործընթացի ալգորիթմ և ծրագիր, որոնք հնարավորություն կտան գնդի շառավղի երկարությամբ՝ մակերևույթից դեպի կենտրոն, ստանալ պահանջվող կառուցվածք և համապատասխան մեխանիկական հատկություններ: Անհրաժեշտ է մշակել այնպիսի միմյան միջավայր, որը կապահովի գնդի մակերևութային շերտում՝ մինչև 0,5R խորությամբ, բարձր կարծրություն՝ HRC64 միավոր, իսկ միջուկում՝ HRC45 միավոր: Այսինքն պետք է ստացվեն մակերևութային շերտում մարտենսիտային, իսկ միջուկում՝ տրոստիտային կառուցվածքներ: Նշված կառուցվածքները, հետևապես և պահանջվող հատկություններն ապահովելու համար խնդիր է դրվել XTC մակնիշի 120 մ/տրամագծով պողպատյա գնդերի միմյան գործընթացի արդյունքում ստացված տվյալների բազայի հիման վրա մշակել նոր միմյան միջավայրի որոշման ալգորիթմ և իրականացման ծրագիր, որոնք կապահովեն պահանջվող կառուցվածքի և հատկությունների ստացումը:

Որպեսզի ալգորիթմը լինի ճշգրիտ, իսկ արդյունքները՝ հավաստի, անհրաժեշտ է ուսումնասիրել XTC մակնիշի պողպատյա գնդերի կարծրության կախվածությունը միմյան գործընթացից և այն օգտագործել ալգորիթմը մշակելու ու համապատասխան ծրագիր կազմելու համար:

Տվյալ դեպքում անհրաժեշտ է ուսումնասիրել XTC մակնիշի 120 *մմ* տրամագծով պողպատյա գնդերի համար նախատեսված միմյան միջավայրերը և ընտրել այն միջավայրը, որը հնարավորություն կտա գնդի մակերևութային շերտում ստանալ անհրաժեշտ մարտենսիտային կառուցվածք, իսկ միջուկում՝ տրոստիտային:

Հետազոտությունների արդյունքները: Աղ. 1-ում բերված է XTC մակնիշի պողպատի քիմիական բաղադրությունը, որից, ինչպես նաև մշակման եղանակից են կախված պողպատի կառուցվածքը և ստացվող հատկությունները:

Աղյուսակ 1

XTC մակնիշի պողպատի քիմիական բաղադրությունը [2]

Պողպատի մակնիշը	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	W, %	V, %	Mo, %	P, %	S, %	Cu, %
XTC	0,95...1,05	0,40...0,70	0,85...1,25	1,30...1,65	≤0,4	≤0,2	≤0,15	≤0,2	≤0,03	≤0,03	≤0,3

Մետաղագիտական հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ 840 ± 20 °C ջերմաստիճանում թրծումից հետո պողպատի կարծրությունը HB=2400...2420 *ՄՊա* է, իսկ կարբիդային ֆազը բաշխված է հավասարաչափ, ինչը պայմանավորված է ածխածնի պարունակությամբ (0,95...1,05%): Կարբիդային անհամասեռությունը չի գերազանցում 1-ից 2 բալլ: XTC մակնիշի պողպատը գերտաքացման նկատմամբ ունի ոչ մեծ զգայնություն. Si-ը, դժվարացնելով ինքնադիֆուզիան, օժանդակում է մանրահատիկության ստացմանը: Ցածր ջերմաստիճանային արձակումից հետո XTC մակնիշի պողպատն աչքի է ընկնում մնացորդային աուստենիտի փոքր պարունակությամբ (6...8%):

Ներկայումս XTC մակնիշի պողպատների համար որպես միմյան միջավայր օգտագործում են հանքային յուղերը: 840 ± 20 °C ջերմաստիճանից յուղում միևնույն հետո 120 *մմ* տրամագծով գնդերի կարծրությունը մակերևութային շերտում ստացվում է HRC 63...64 միավոր, իսկ 180°C ջերմաստիճանում արձակումից հետո՝ HRC=62...63 միավոր: Մինչդեռ միջուկում այն չի գերազանցում միտումից հետո HRC=30...32 միավորները, որոնք պահպանվում են նաև արձակումից հետո. այսինքն միմյան ժամանակ տեղի է ունենում ինքնարձակում:

Ստացված տվյալների համալրման և հետազայում ալգորիթմում կիրառելու նպատակով կատարվել է XTC մակնիշի պողպատի միում նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթում: Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ մինչև մարտենսիտային փոխակերպության սկիզբը ($M_u = 200^{\circ}C$) նախապատրաստվածքի սառեցման արագությունը $175^{\circ}C/վ$ է, իսկ փոխակերպությունից հետո մինչև սենյակային ջերմաստիճանը՝ $50^{\circ}C/վ$ (աղ. 2): Մինչդեռ հանքային յուղի միջավայրում սառեցնելիս նախապատրաստվածքի սառեցման արագությունը կազմում է $125^{\circ}C/վ$ (աղ. 2): Ելնելով վերը նշվածից՝ կարելի է հիմնավորել, որ երկու միջավայրերն էլ նպատակահարմար են միմյան համար, քանի որ նշված սառեցման արագությունները գերազանցում են տվյալ համաձուլվածքի սառեցման կրիտիկական արագությանը [10-14]:

Աղյուսակ 2

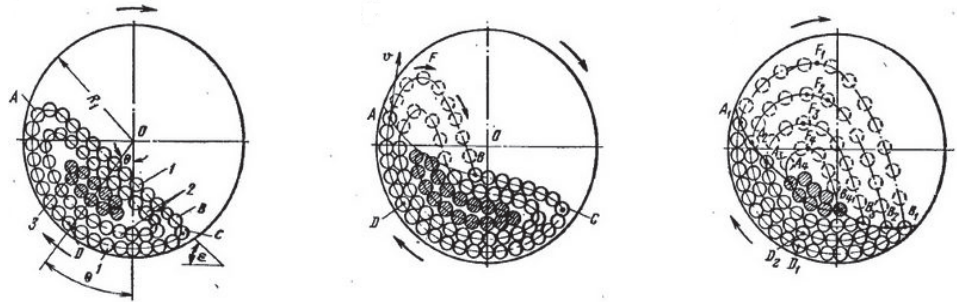
Սառեցման արագությունները

N	Միջավայր	Սառեցման արագություններն ըստ ջերմաստիճանի, $^{\circ}C/վ$		Առավելագույն արագությունը, $^{\circ}C/վ$	Առավելագույն արագության ջերմաստիճանը, $^{\circ}C$
		550...450	450...200		
1	Հանքային յուղ	125	45	140	450
2	Նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթ	175	30	320	650

Ծրագրի ամբողջական լինելու համար անհրաժեշտ է որպես մուտքային պարամետրեր ընդգրկել ինչպես արտադրատեսակի միմյան միջավայրի տվյալները, այնպես էլ պողպատի քիմիական բաղադրության առանձնահատկությունները՝ ջերմամշակված դետալից պահանջվող հատկությունների ստացման նպատակով: Բացի վերոհիշյալ պարամետրերից, անհրաժեշտ է նաև հաշվի առնել պողպատի լիամիսվելիությունը և դետալի միջուկի միկրոկառուցվածքը [14]:

Տվյալ դեպքում, քանի որ ուսումնասիրվող դետալը ներկայացնում է գունդ, հետևապես այն պետք է ունենա համապատասխան մեխանիկական և ֆիզիկական հատկություններ, որպեսզի արդյունավետ աշխատի գնդադաշններում: Գնդադաշններում հանքաքարերի մանրացման համար նախատեսված գնդերի աշխատանքի սկզբունքը ներկայացված է նկ. 1-ում: Գնդադաշնի թմբուկի պտտման ժամանակ գնդերը կենտրոնախույս ուժի ազդեցության տակ, հանքաքարերի հետ մեկտեղ հավելով գնդադաշնի պատերին, բարձրանում են վեր և ծանրության ուժի ազդեցության տակ թափվում ցած, որի ընթացքում տեղի է ունենում հանքաքարի

մանրացումը [15]: Գնդերը աշխատում են հարվածային և քերամաշման պայմաններում: Նշված պայմաններում արդյունավետ աշխատելու համար գնդերը պետք է ունենան մակերևութային շերտի բարձր կարծրություն (ավելի բարձր, քան հանքաքարերը), բավարար ամրություն, հարվածային մածուցիկություն և առաձգականություն:

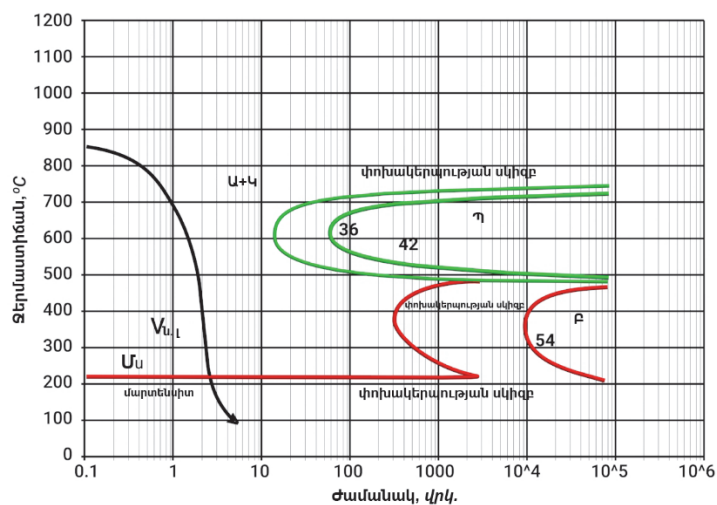


Նկ. 1. Հանքաքարերի մանրացումը գնդաղացներում

Հարվածային մածուցիկությունն ապահովում է հարվածների տակ աշխատելու գնդերի երկարակեցությունը, իսկ առաձգականությունն անհրաժեշտ է հանքաքարի մանրացման ժամանակ, երբ գնդերը վերին մեռյալ կետից ընկնում են ցած՝ հարվածների թիվը շատացնելու համար: Բարձր կարծրությունն անհրաժեշտ է գնդերի մաշակայունությունը բարձրացնելու համար: Շփման ժամանակ գնդի մակերևութային շերտը ենթարկվում է քերամաշման և պոկվում է գնդից, ինչի արդյունքում գունդը փոքրանում է, այսինքն տեղի է ունենում զանգվածի փոքրացում, որի հետևանքով գնդաղացի պտտման ժամանակ գնդերը հպվում են գնդաղացի պատին և կենտրոնախույս ուժի ազդեցության տակ գնդաղացի հետ մեկտեղ կատարում են ամբողջական պտույտ՝ առանց ցած ընկնելու. արդյունքում հանքաքարը չի մանրացվում: Գնդերից պահանջվող վերը նշված հատկություններն անհրաժեշտ է ստանալ պողպատի ջերմային մշակման միջոցով [16, 17]:

Նշվածից հետևում է, որ գնդաղացներում գունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդերի անհրաժեշտ հատկությունների ամբողջական փաթեթը ստանալու համար պետք է հաշվի առնել գնդերի մակերևութային շերտի և միջուկի կարծրությունները, այսինքն կարծրության փոփոխությունը շառավղի ուղղությամբ դեպի գնդի կենտրոն, ինչպես նաև դրանց միկրոկառուցվածքները: Գնդի միջուկի կարծրությունը ջերմային մշակման գործընթացի ավարտից հետո պետք է լինի 45..50HRC, իսկ միկրոկառուցվածքը՝ տրոստիտային: Այս փաթեթը հնարավոր է ստանալ, եթե միսման ժամանակ բարձր ջերմաստիճաններում դետալի սառեցման արագությունը բավականին բարձր է, իսկ ցածր ջերմաստիճաններում՝ ցածր [18]:

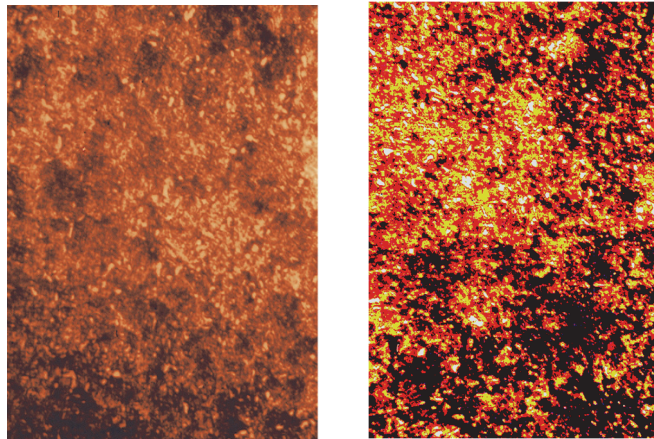
Որպեսզի հնարավոր լինի վերոնշյալը ստանալ ծրագրի միջոցով, անհրաժեշտ է ունենալ բոլոր փորձարարական տվյալները: Քանի որ հանքային յուղում միսման փորձարարական տվյալները հայտնի են (հանքային յուղը ներկայումս ընդունված է համարել լեգիրված պողպատների միսման հիմնական միջավայր), կատարվել են փորձարարական աշխատանքներ՝ նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթներում գնդերի միսման տվյալները ստանալու համար: Այս փուլում հատուկ ուշադրություն է դարձվել ցածր ջերմաստիճաններում սառեցման արագությանը, ինչպես նաև XTC մակնիշի պողպատի C-աձև կորերին (նկ. 2) [19]:



Նկ. 2. XTC մակնիշի պողպատի C-աձև կորերը և սառեցման դինամիկան

Նկ. 2-ում ցույց է տրված XTC մակնիշի 120 մմ տրամագծով պողպատյա գնդի սառեցման արագությունը նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթում: Ինչպես երևում է սառեցման արագության կորից, բարձր ջերմաստիճաններում սառեցումը տեղի է ունենում շատ արագ, իսկ ցածր ջերմաստիճաններում արագությունը կտրուկ նվազում է: Այս երևույթը բացատրվում է նրանով, որ 350°C ցածր ջերմաստիճաններում գնդի մակերևույթում առաջանում է պոլիմերային թաղանթ, որը և զգալիորեն իջեցնում է սառեցման արագությունը, ընդ որում, թաղանթի հաստությունը կախված է սառեցնող միջավայրի կոնցենտրացիայից: Թաղանթը, ցածրացնելով գնդի ջերմահաղորդականությունը, միջուկում սառեցման արագությունը դարձնում է բավականին ցածր՝ համեմատած մակերևութային շերտի սառեցման արագության հետ: Որպես հետևանք՝ միջուկում ստացվում է տրոստիտային կառուցվածք (նկ. 3բ): Համապատասխանաբար մակերևութային շերտում, սառեցման բարձր արագության շնորհիվ, ստացվում է մարտենսիտային կառուցվածք (նկ. 3ա):

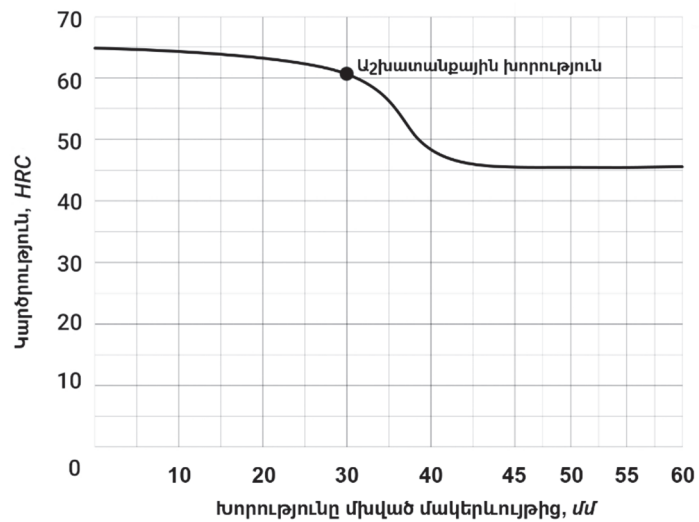
Միսման գործընթացից հետո չափվել է գնդի լիամիսելիությունը, որը պետք է բավարարի գունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդերի՝ 0,5R խորությամբ միաված շերտի առկայության պայմանը (նկ. 4):



ա)

բ)

Նկ. 3. XTC մակնիշի պողպատից պատրաստված 120 մմ տրամագծով գնդի միկրոկառուցվածքը նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթում միսումից հետո՝
ա – մակերևութային շերտ, բ – միջուկ



Նկ. 4. Կարծրության փոփոխությունը՝ կախված խորությունից

Համաձայն փորձարարական տվյալների՝ միսման գործընթացից հետո 30 մմ խորության սահմաններում պողպատի կարծրությունը կազմում է HRC43...47 միավոր:

Փորձերի արդյունքում ստացված տվյալները ներմուծվել են տվյալների բազա: Տվյալների բազա են ներմուծվել նաև լրացուցիչ փորձերով ստացված և տեղեկատվությունում առկա տվյալները [11]:

Ծրագրի մեկնարկից հետո ներմուծվել են պողպատի մակնիշը, պահանջվող մակերևութային և միջուկի կարծրությունները, որոնք պետք է ստացվեն միումից հետո: Անհրաժեշտ արժեքների ներմուծումից հետո ծրագիրն այդ ներմուծված արժեքները համեմատում է տվյալների բազայում առկա տվյալների հետ: Եթե համեմատության արդյունքում ներմուծված արժեքները չհամապատասխանեն տվյալների բազայի արժեքներին, որոնք ծրագրում նկարագրված են միմյան գործընթացից հետո որպես կարծրության ստացման հնարավոր արժեքներ, ապա ծրագիրը պահանջում է ներմուծել նոր տվյալներ: Տվյալների բազայում ներմուծված արժեքների առկա լինելու դեպքում ծրագիրը վերցնում է ներմուծված մակնիշի պողպատի միմյան ջերմաստիճանը, այդ մակնիշի պողպատի միմյան կրիտիկական արագությունը և համեմատում է տվյալների բազայում առկա որպես սառեցման միջավայր ընդունված միջավայրերի սառեցման արագությունների հետ: Եթե միջավայրի սառեցման արագությունն ավելի բարձր է, քան տվյալ մակնիշի պողպատի սառեցման կրիտիկական արագությունը, ապա ծրագիրն այդ միջավայրերը պահպանում է ընթացիկ հիշողության մեջ՝ որպես համապատասխանող սառեցման միջավայր (տվյալ ցանկի մեջ կարող են մտնել ինչպես մեկ, այնպես էլ մի քանի սառեցման միջավայրեր): Այս ամենից հետո ծրագիրը պահպանված միմյան միջավայրերը ֆիլտրում է՝ ըստ ցածր ջերմաստիճաններում ամենացածր սառեցման արագության: Սա կատարվում է՝ ելնելով այն պայմանից, որ ինչքան դանդաղ սառեցվի (միսի) պողպատյա իրը, տվյալ դեպքում՝ գնդերը, այնքան ցածր կլինեն ներքին լարումները, և համապատասխանաբար ավելի բարձր կլինի երկարակեցությունը: Մակայն մարտենսիտային կառուցվածք ստանալու համար միմյան սառեցման արագությունը միշտ պետք է բարձր լինի միմյան կրիտիկական արագությունից: Բացի նշված պայմանից, անհրաժեշտ է ապահովել գնդի միջուկից պահանջվող կարծրությունը (HRC45 միավոր), որը հնարավոր է ստանալ միջուկի սառեցման արագության փոքրացման միջոցով: Արդյունքում՝ ծրագիրը հաշվարկում է սառեցման միջին արագությունը և պահպանում է այդ տվյալը ընթացիկ հիշողության մեջ: Այս տվյալը անհրաժեշտ է, որպեսզի համեմատվի միմյան գործընթացի տևողությունը՝ C-աձև կորերի կրիտիկական արագության ժամանակային տվյալի հետ:

Ծրագրի աշխատանքային և հաշվարկային գործընթացի ավարտին այն վերադարձնում է տեքստային ֆայլ, որտեղ անցկացված են հաշվարկային գործընթացի արդյունքները: Այդ տվյալներն իրենց հերթին որպես լրացուցիչ տեղեկատվություն ներմուծվում են տվյալների բազա և հնարավորություն են տալիս բարելավելու ծրագրի աշխատանքը՝ այն դարձնելով ավելի ճշգրիտ:

Նկ. 5-ում ներկայացված է ծրագրից մի հատված, որն իրականացնում է վերոնշյալ գործողությունները:

```
critical_velo_cel_sec = steels_dict[steel_model]["critical_velo_cel_sec"]

envs_with_higher_velo = {}

for env in quenching_env_freeze_velo:
    if quenching_env_freeze_velo[env]["freezing_velo"] >= critical_velo_cel_sec:
        envs_with_higher_velo[env] = quenching_env_freeze_velo[env].copy()

envs_with_higher_velo_list_sorted = sorted(envs_with_higher_velo, key=lambda x: (
    envs_with_higher_velo[x]["lower_temp"] is None, envs_with_higher_velo[x]["lower_temp"]))

min_env_key = envs_with_higher_velo_list_sorted[0]
min_temperature = envs_with_higher_velo[min_env_key]["lower_temp"]

quenching_temp = steels_dict[steel_model]["quenching_temp"]
env_time = (quenching_temp / min_temperature)
env_time += (quenching_temp / quenching_env_freeze_velo[min_env_key]["freezing_velo"])
env_time /= 2

hardness_after_quench = steels_dict[steel_model]["hardness_after_quech"]
```

Նկ. 5. Հատված ծրագրից (կոդից), որը պատասխանատու է անհրաժեշտ տվյալների դուրսբերման համար

Ներկայումս XTC մակնիշի պողպատյա գնդերի միսման համար որպես սառեցման միջավայր ընդունված է հանքային յուղը [8, 9]: Սակայն սառեցման փոքր արագության պատճառով հանքային յուղերը չեն ապահովում պահանջվող հատկությունները: Ոստի աշխատանքում փորձ է արվել՝ հիմնավորելու նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթը՝ որպես աշխատունակ միսման միջավայր, որը կարող է ապահովել գնդերի անհրաժեշտ հատկությունները: Նշվածն իրականացնելու համար գրված ծրագիրը գործարկվել է հետևյալ մուտքային տվյալներով: Որպես մուտքային տվյալներ ներմուծվել են պողպատի մակնիշը և քիմիական բաղադրությունը, միսման գործընթացից հետո պահանջվող մակերևութային (HRC64...65 միավոր) և միջուկի (HRC45 միավոր) կարծրությունները: Ծրագիրը որպես միսման ջերմաստիճան վերցրել է 840°C: Որպես միսման միջավայրեր դիտարկվել են ջուրը, հանքային յուղը և նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթը: Միջավայրերի սառեցման արագությունները ծրագիրը վերցրել է տվյալների բազայից և որպես արդյունք վերադարձրել է հետևյալ տվյալները.

1. ամենահարմար միսման միջավայրը՝ նաիրիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթ,
2. մակերևութային շերտի ցանկալի կարծրությունը՝ HRC 65 միավոր,
3. մակերևութային շերտի արդյունավետ կարծրությունը՝ HRC64 միավոր,
4. միջուկի ցանկալի կարծրությունը՝ HRC45 միավոր,
5. միջուկի արդյունավետ կարծրությունը՝ HRC45 միավոր:

Եզրակացություն: Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է ծրագիր, որը հնարավորություն է տալիս նախիտային լատեքսի 1,5%-ոց ջրային լուծույթն օգտագործել XTC մակնիշի պողպատից պատրաստված 120 մմ տրամագծով գնդերի միմյան համար, որոնք կարող են օգտագործվել գունավոր մետաղների հանքաքարերը մանրացնող գնդադացներում: Տվյալների վերամշակումը և արհեստական բանականությունը հանդիսանում են ժամանակակից գիտության շարժիչ ուժը, հետևապես՝ մշակված ալգորիթմը և նրա հիմքով գրված ծրագիրը հնարավորություն են տալիս մետաղների ջերմային մշակման գործընթացն իրականացնել ծրագրավորման տեխնոլոգիաներով՝ այն բարձրացնելով մեկ այլ մակարդակի: Նախագծված ալգորիթմը ժամանակի ընթացքում կբարելավվի, ավելի կմեծանա տվյալների բազան, ինչը հնարավորություն կտա՝ ստանալու տվյալ պողպատից պատրաստված իրից պահանջվող հատկություններ, շատ արագ որոշելու ջերմային մշակման ռեժիմները և միմյան միջավայրը: Նշված գիտական ուղղությունը ապագայում կարող է հանգեցնել ջերմամշակման տեսական նորարարությունների, որոնք կհիմնավորվեն (կամ կհերքվեն) գործնական փորձերի միջոցով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Справочник металлиста. В 5-и т.- Т. 2 / Под ред. А.Г. Рахштада и В.А. Брострема.- М.: Машиностроение, 1976.- 720с.
2. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштада.- М.: Машиностроение, 1980.- 783 с.
3. Журавлев В.И., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник.- Изд. 3-е.- М.: Машиностроение, 1981.- 391 с.
4. Гуляев А.П., Малинина К.А., Саверина С.М. Инструментальные стали: Справочник.- Изд. 2-е.- М.: Машиностроение, 1975.- 272 с.
5. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов.- 6-е изд.- М.: Металлургия, 1986.- 544 с.
6. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали: Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1985.- 408 с.
7. Աղբալյան Ս.Գ., Մալոխիովա Ե.Ս. Հատուկ պողպատներ և համաձուլվածքներ: Ուսումնական ձեռնարկ.- Երևան: ՀՊՃՀ, 2003.- 260 էջ:
8. ГОСТ 7524-89. Межгосударственный стандарт. Шары стальные мелющие для шаровых мельниц.-М.: Изд-во стандартов, 1989.- 5 с.
9. ГОСТ 5950-2000. Межгосударственный стандарт. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали.- Минск: Изд-во стандартов, 2001.- 37 с .
10. Приходько В.С., Самойленко Г.Н. Тенденции развития термической обработки.- М.: НИИМАШ, 1981.- 56 с.
11. Эйсмонтт Ю.Г. Исследование охлаждающих сред, альтернативных закалочным маслам // Металловедение и термическая обработка металлов.- 2000.- N 11.- С. 32-29.

12. Бочвар А.А. Металловедение.- М.: Металлургия, 1974.- 404 с.
13. Кашенко Г.А. Основы металловедения.- М.: Машгиз, 1959.- 395 с.
14. Օհանյան Ա.Ռ. Նաիրիտային լատերսի հիմքով միսման միջավայրի մշակումը և հետազոտումը. Թեկնածուական ատենախոսության սեղմագիր.- Երևան, 1998.- 19 էջ:
15. Հովսեփյան Ս.Գ., Հովսեփյան Գ.Ս. Հանքավայրերի բաց մշակումը և շրջակա միջավայրը.- Երևան: Լուսակն, 2008.- 130 էջ:
16. Свидинович Н.А., Куис Д.В., Окатова Г.П. Материаловедение. Термическая обработка.- Минск: БГТУ, 2014.- 66 с.
17. Гуляев А.П. Термическая обработка стали.- Изд. 2-е.- М.: Машиностроение, 1960.- 496 с.
18. Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению.- Изд. 2-е, переработ. и допол.- М.: Машиностроение, 1971.- 184 с.
19. Попов А.А., Попова Л.Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: Справочник термиста.- М.: Металлургия, 1965.- 496 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.04.2022:

Р.С. ПАПОЯН

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ СТАЛЬНЫХ ШАРОВ МАРКИ ХГС, ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ВЫБОР ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ

Целью работы является разработка алгоритма и программы процесса закалки стальных шаров марки ХГС, что позволит получить нужную структуру и механические свойства по длине радиуса шаров. Исследованы методы работы искусственного интеллекта и обработки данных для их внедрения в процессы металловедения и термической обработки.

Из анализа литературы выявлено, что согласно ГОСТ 7524-89 и ГОСТ 5950-2000, сталь марки ХГС получила широкое применение при изготовлении шаров для измельчения руд цветных металлов. Проведены эксперименты с шарами, изготовленными из стали марки ХГС, с целью получения новой закалочной среды вместо минеральных масел. Показано, что наиритовый латекс с концентрацией 1,5% является альтернативной закалочной средой для вышеупомянутой марки стали, которая обеспечивает получение нужных свойств.

После проведенных исследований для написания программы был выбран язык программирования “Python”. Создана база данных и введены применяемые ныне данные закалки шаров из стали марки ХГС. Для обработки данных создан алгоритм, с помощью которого выведена самая актуальная закалочная среда для определенного сплава, исходя из введенных желаемых конечных данных. После тестирования программы для шаров с диаметром 120 мм на поверхности было получено HRC 64 единицы, а в сердцевине - HRC 45.

Ключевые слова: сталь, шар, закалка, С-образные кривые, алгоритм, закалочная среда, скорость закалки, твердость, структура.

R.S. PAPOYAN

**DEVELOPING AN ALGORITHM FOR QUENCHING XFC GRADE STEEL
BALLS, PROGRAMMING AND SELECTING THE HARDENING
ENVIRONMENT**

The goal of the work is to develop an algorithm for the process of quenching XFC grade steel balls and develop a program that will allow obtaining the given structure and mechanical properties along the length of the radius of the balls. In order to achieve the goal, the AI features and data processing methods have been studied to implement them in the processes of metallurgy and heat treatment.

The literature analysis has shown that according to ГОСТ 7524-89 and ГОСТ 5950-2000, the XFC grade steel is widely used for non-ferrous metal ore grinding balls. Experiments were carried out with balls made of the XFC grade steel to obtain a new quenching medium instead of mineral oils. Nairite latex at 1.5% concentration is an alternative quenching medium for the above-stated steel grade that provides the desired properties.

As a result of the research, the programming language “Python” was chosen. A database was created, which imports the currently known data for the quenching of the XFC steel balls. For data processing, an algorithm is developed by which the most up-to-date quenching medium for a particular alloy is derived, based on the desired final data entered. As a result of testing the program, for the balls of a diameter of 120 mm, on the surface, HRC 64 units is obtained and in the core - HRC 45 units.

Keywords: steel, ball, quenching, C-shaped curves, algorithm, quenching medium, cooling velocity, hardness, structure.

Լ.Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Վ.Վ. ՀՈՎԱԿԻՄՅԱՆ

**ԲՆԱԿԱՆ ԼԵՌՆԱԼԱՆՁՈՎ ԲԵՌՆՎԱԾ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԲԱՑԱՀԱՆՔԻ ԿՈՂՈՒՄ
ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԵՌԱԶՍՓ
ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՍՏԵՆԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Լեռնային բացահանքի մերկացած կողում, դրա վերին նիշից տարածվող բնական լեռնալանջի բեռնվածքից առաջացած լրացուցիչ լարվածային ուժերի տեղաբաշխման օրինաչափություններն ուսումնասիրելու համար, մշակվել է լարվածությունների գրանցման ֆիզիկական մոդելավորման ծավալային ստենդի կոնստրուկցիա: Այն կարող է կիրառվել նաև բարդ ռելիեֆային պայմաններում և սակավաթեք տարածքների վրա ձևավորվող ապարային բազմաստիճան լցակույտերում լարվածային ուժերի տեղաբաշխման և դրա հետ կապված՝ լցակույտերի ռացիոնալ պարամետրերի երկրամեխանիկական հիմնավորման աշխատանքներում:

Ներկայացված ֆիզիկական ծավալային մոդելային ստենդի համար ստացվել է ՀՀ արտոնագիր:

Առանցքային բառեր. բնական լեռնալանջ, բացահանքի բեռնված կող, ֆիզիկական ծավալային մոդելավորման ստենդ, ապարային բազմաստիճան լցակույտ, շարժական և անշարժ պրիզմաներ:

Ներածություն. Բարդ ռելիեֆային պայմաններում տեղադրված լեռնային բացահանքերի կողերի կայունության հիմնավորումը մնում է որպես կարևոր և արդիական խնդիր: Նման երկրամեխանիկական միջավայրում նախագծային լուծումների հիմնական հարցերից մեկը բնական լեռնալանջի բեռնվածքից առաջացած բացահանքի կողի կայունության երկրամեխանիկական հիմնավորումն է: Բնական լեռնալանջում տարածվող լեռնային ապարային զանգվածը, նախքան բացահանքի բացումն ու էքսկավացիոն աշխատանքների մեկնարկը, գտնվում է չբեռնված 3D լարվածային հավասարակշիռ վիճակում [1]: Հանքաքարի արդյունահանման ու հանութաբարձման աշխատանքների հետագա կատարումը հանգեցնում է բացահանքի միջկողային լեռնային ապարային զանգվածում բնական լեռնալանջի բեռնվածքից առաջացող երկրամեխանիկական միջավայրի ձևավորմանը, որն էլ իր հերթին հանգեցնում է բացահանքի կողի լեռնային ապարներում լարվածային դաշտի վերաբաշխմանն ու փոփոխմանը [2, 3]:

Ներկայումս հայտնի են բացահանքերի մերկացված կողերից վեր տարածվող բնական լեռնալանջերի ազդեցության նվազեցման մի շարք եղանակներ:

Պրոֆ. Է.Լ. Գալուստյանի կողմից առաջարկած տեխնիկական լուծման համաձայն, հեռացնելով բնական լեռնալանջը, հնարավոր կլինի ապահովել բացահանքի կողի վրա ազդող լարվածային ուժերի ընդհանուր բալանսում հավասարակշռությունը՝ ի հաշիվ տանող պրիզմայի զանգվածի նվազեցման, ինչի շնորհիվ բացահանքի կողը ձեռք կբերի հավելյալ կայունության պաշար [4]: Այս տեխնիկական լուծման թերությունն այն է, որ, բացի լրացուցիչ ծախսերի կատարումից, բացահանքի բեռնված կողի վերին եզրագծից և բնական լեռնալանջից հեռացված ապարային շերտերը կարող են հանգեցնել բացահանքի կողում առկա տեկտոնական խզվածքի մարմնի բացմանը, որտեղ կարող են ներհուսել ձնհալից և անձրևաջրերից առաջացած ջրերը [4]:

Հայտնի է նաև լեռնալանջերի ու թեք հարթությունների վրա կազմավորվող հարթ շեպերով լցակույտերի աստիճանների մոդելավորման համար մշակված ստենդի կառուցվածքը [5]: Հայտնի տեխնիկական լուծման համաձայն՝ շեպերի մոդելավորումը կատարվում է երկու տարբերակով. պտտվող և անշարժ ստենդների վրա, որտեղ համարժեք նյութի ֆիզիկա-մեխանիկական բնութագրիչների տվյալներով ձևավորված շեպերի սահքի հարթության կառուցումն իրագործվում է օրդինատաչափի միջոցով: Պտտվող տիպի մոդելավորման ստենդում մոդելավորվող շեպի հարկադրական փլուզումը կատարվում է իր լայնական առանցքի շուրջը ստենդի պտտման միջոցով: Մոդելավորման ստենդի անշարժ տարբերակի համար շեպի թեքության անկյան մեծացումը կատարվում է շեպի երկայնքով համարժեք նյութի զանգվածի բարակ շերտերով հեռացման (քերման) միջոցով: Վերոնշյալ մոդելավորման ստենդի թերությունն այն է, որ վերջինս հնարավորություն չի ընձեռում՝ որոշելու բացահանքային մերկացված թեքությունների միջկողային լեռնային ապարային զանգվածի լարվածային դաշտի վրա բացահանքի վերին նիշից տարածվող բնական անխախտ լեռնալանջերի անմիջական ազդեցությունը:

Հանրահայտ են Ռուսաստանի Դաշնության լեռնային երկրամեխանիկայի և մարկշեյդերական գործի գիտահետազոտական ինստիտուտում (ВНИМИ) համարժեք նյութերի օգտագործմամբ բացահանքերի կողերի կայունության գնահատման ուղղությամբ կատարված հետազոտությունները: Մոդելավորման արդյունքները համեմատվել են պրոֆ. Գ.Լ. Ֆիսենկոյի կողմից մշակված՝ բացահանքի կողերի կայունության որոշման հաշվարկային մեթոդով ստացված տվյալների հետ [6]: Այստեղ կատարված ֆիզիկական մոդելավորման փորձերի արդյունքում դիտարկվում են մոդելում բացահանքի կողի հնարավոր փլուզման և հաշվարկային մակերևույթները, ինչպես նաև մոդելի կրիտիկական թեքման այն անկյան որոշմամբ, երբ մոդելավորվող կողը մնում է կայուն: Բարձր գնահատելով այս մոդելային ստենդի կիրառությունը տարբեր երկրամեխանիկական կառուցվածքների կայունության հետազոտման հարցերում, պետք է նշել, սակայն, որ դրա ֆիզիկա-

կան մոդելավորմամբ հնարավոր չէ հայտնաբերել ու հետազոտել բացահանքի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջի զանգվածից բացահանքի կողում առաջացող լրացուցիչ լարվածային ուժերի տեղաբաշխումը:

Տեխնիկական հայտնի գրականության, գյուտերի և այլ ինժեներական առաջարկությունների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ առկա մոդելային ստենդների միջոցով հնարավոր չէ հայտնաբերել ու որոշել բացահանքի կողի վերին նիշից տարածվող բնական լեռնալանջի բեռնվածքից առաջացած լրացուցիչ լարվածային ուժերի տեղաբաշխման օրինաչափությունները, ինչը պայմանավորված է ներկայումս հայտնի մոդելային ստենդների կառուցվածքով:

Բացահանքի կողերի ապարային զանգվածում, դեֆորմացիաների նվազեցման և կայունության բարձրացման նպատակով, լեռնային գործի հայտնի մասնագետների կողմից առաջարկվել են տեխնիկական տարբեր լուծումներ բացահանքերում կողերի և երկրատեխնիկական այլ կառուցվածքների կայունության պահպանման ուղղությամբ: Լայնորեն հայտնի են Վ.Վ. Ռժեսկու կողմից մշակված բացահանքերի թուլացած բեռնված կամ չբեռնված կողերի կայունության կառավարման հայտնի միջոցառումները [5]: Բացահանքի կողի կայունության պահպանման միջոցառումներից է նաև պրոֆ. Է. Գալուստյանի կողմից մշակված տեխնիկական այն առաջարկությունը, համաձայն որի բացահանքերում երկայնական ընթացքներով տեղադրված ներքին լցակույտերը հանդես են գալիս որպես բացահանքի մերկացած կողի կայունության բարձրացման գործոն: Այս առաջարկության հիմքում ընկած է այն գաղափարը, որ ներքին լցակույտերի ձևավորումը կհանգեցնի բացահանքային կողի պահող պրիզմայի ծավալի մեծացմանը, ինչը հավասարակշռության համար անհրաժեշտ ուժերի ընդհանուր բալանսում հանգեցնում է բացահանքի կողի կայունության ապահովմանը [4]:

Անհրաժեշտ է նշել, որ բացահանքի թուլացած կողի պահող ուժերի մեծացման այս տեխնիկական եղանակի կիրառումը օգտակար է բացահանքի ոչ աշխատանքային կողերի պահպանման դեպքում և աննպատակահարմար է բացահանքի աշխատանքային կողերի կայունության կառավարման հարցերում:

Ուշադրության են արժանի ժամանակակից հետազոտողների՝ Չենգի և ուրիշների կողմից [1] բացահանքի կողի թեքության կայունության վրա դրա վերին եզրագծով տարածվող ներքին լցակույտի ազդեցության 3D մաթեմատիկական մոդելավորման միջոցով ստացված արդյունքները: Հեղինակները հանգել են այն եզրակացությանը, որ «լցակույտի կողմից կողի բեռնված լարվածային դաշտը, որը կազմված է լցակույտի կողմից բեռնված միջավայրից (սեղմող լարվածություն) և լեռնային ապարային զանգվածի սեփական քաշից ձևավորված չբեռնված միջավայրից (ձգման լարումներ), նպաստում է ձգման լարումներից առաջացած ճեղքերի լեռնային ապարային զանգվածում հետագա ներթափանցմանը, զար-

գացմանն ու անկանոն կերպով տարածմանը» [1]: Այս հետազոտության հեղինակները բեռնված երկրամեխանիկական միջավայրում հաշվի են առել ներքին լցակույտերի անմիջական ազդեցությունը բացահանքային թեքության կայունության վրա՝ գնահատելով լեռնային ապարային զանգվածի ամրության վրա վերաբաշխված լարվածային դաշտի առավելագույն սեղմող և ձգող լարվածությունները: Նշված աշխատանքի հեղինակները 3D մաթեմատիկական մոդելավորմամբ ստացել են ուշագրավ արդյունքներ, սակայն, եռաչափ մաթեմատիկական մոդելավորումից ստացված տեսական արդյունքները հիմնավորված չեն բացահանքի կողի լարվածային դաշտի փոփոխության կոնկրետ չափումներով:

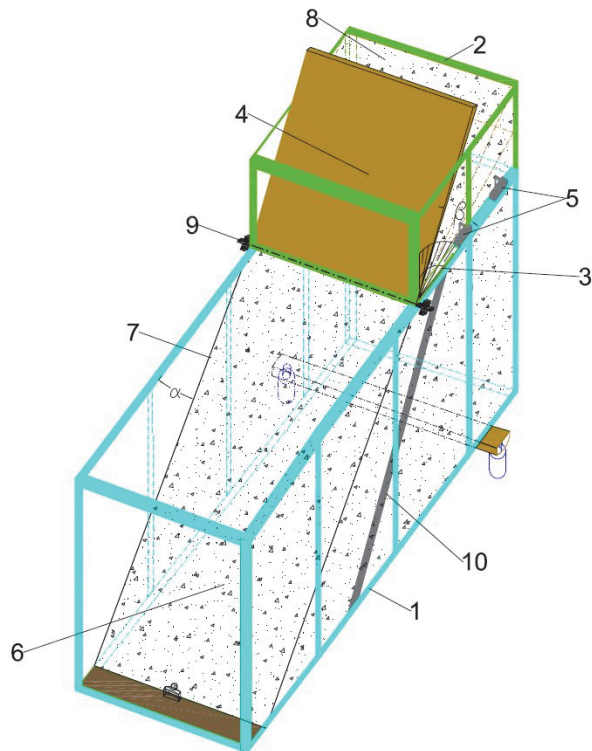
Կատարված վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ներկայումս հայտնի չեն մոդելավորման այնպիսի ստենդներ, որոնց հիման վրա հնարավոր լինի գնահատել բացահանքերի կողերի վերին նիշից տարածվող բնական լեռնալանջի զանգվածից այդ կողերում առաջացող լրացուցիչ լարվածային վիճակի փոփոխությունների օրինաչափությունները: Լեռնային բացահանքերի պայմաններում բնական լեռնալանջի ազդեցությունից բացահանքի մերկացած կողի ապարային զանգվածի լարվածային դաշտի փոփոխության գնահատումը համարվում է արդիական և կարևոր խնդիր:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Մշակել եռառանցք ֆիզիկական մոդելավորման ստենդ, որը հնարավորություն կտա՝ գնահատելու լեռնային բացահանքի կողի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջի զանգվածից բացահանքի կողի ապարային զանգվածի մեջ խորությունից կախված՝ լրացուցիչ լարվածային ուժերի բաշխվածությունը և բարձրացնել կայունության վրա վերջիններիս հետագա ազդեցության գնահատականը:

Ֆիզիկական ծավալային մոդելավորման ստենդը: Մոդելավորման ստենդը ցույց է տրված նկ. 1-ում: Այն բաղկացած է մետաղական պրոֆիլներից պատրաստված ուղղանկյուն պրիզմայի տեսքով հիմնականախքից (1) և շարժական պրիզմայից (2): Հիմնականախքն ունի ամբարձիկների միջոցով իր երկայնական առանցքի նկատմամբ թեքվելու հնարավորություն: Հիմնականախքի (1) և շարժական պրիզմայի (2) վերին և դիմացի նիստերը բաց են, հիմնականախքի (1) հիմքը և կողերը ներսի կողմից փակված են անշարժ պատերով, հետևի պատը նույնպես անշարժ է, ընդ որում, վերջինիս հորիզոնական չափը մոտավորապես 3 անգամ մեծ է ստորին հիմնականախքի (1) բարձրությունից: Վերին շարժական պրիզմայի (2) ետին պատը փակ է, իսկ հիմքը շարժական է:

Մոդելի վերին շարժական պրիզմայի (2) հիմքի պրոֆիլի և հիմնականախքի (1) վերին պրոֆիլի վրա, համապատասխանաբար, ամրացված և՛ մետաղական թերթերով հիմնականախքը (1), և՛ վերին շարժական (2) պրիզմաները աշխատանքային դիրքում միմյանց հետ անշարժ միանում են սևեռիչների միջոցով (5): Վե-

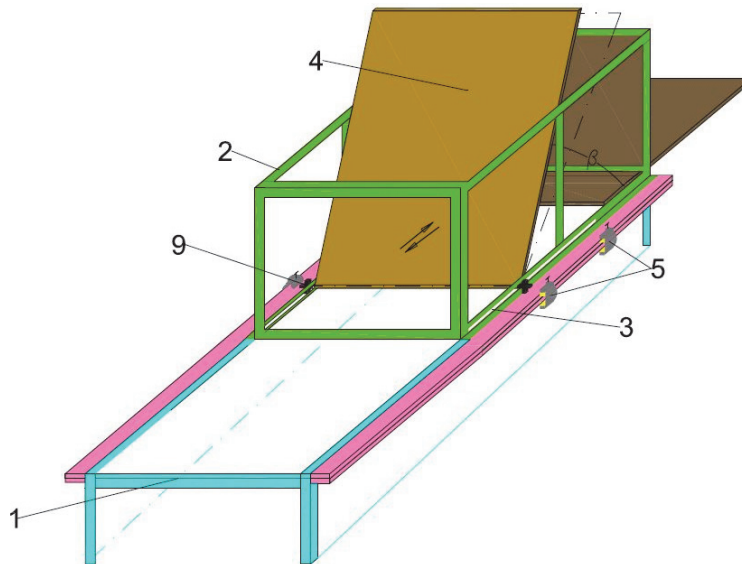
րին շարժական պրիզմայի (2) անկյունագծային հարթությամբ և տարբեր անկյունների տակ հորիզոնական ուղղությամբ տեղաշարժվելու համար ամրացված է բնական լեռնալանջի (8) հորիզոնի նկատմամբ թեքությունը սևեռող դռնակ (4), որը հողակապով վերին շարժական պրիզմայի (2) երկարությամբ տեղաշարժվում է շարժական պրիզմայի (2) հիմքի մետաղական պրոֆիլներում բացված ճեղքերով և, անհրաժեշտության դեպքում, ամրացվում հողակապի ծայրերում տեղակայված սևեռիչներով (9) (նկ. 1):



Նկ. 1 Բնական լեռնալանջով բեռնված բացահանքի կողում լարվածությունների գրանցման մոդելավորման ստենդ. 1- ստորին անշարժ պրիզմա, 2- վերին շարժական պրիզմա, 3- անկյունակ, 4- դռնակ, 5- սևեռիչներ, 6- համարժեք նյութ, 7- բացահանքի կող, 8- բնական լեռնալանջ, 9- հողակապ սևեռիչներով, 10- տեկտոնական խզվածք

Մոդելավորման ստենդի ստորին հիմնականախքի (1) հիմքի և հետին պատի կողմնային պատերով, ինչպես նաև վերին շարժական պրիզմայի (2) հետին պատի շարժական հիմքի ու կողմնային պատերով ձևավորված ծավալները լցվում են համարժեք նյութով (6), ձևավորում են բացահանքի կողը (7) և տեկտոնական խզվածքը (10), որոնց մեջ զետեղվում են լարվածությունների գրանցման տվիչները: Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, շարժական վերին պրիզմայի (2) շարժական հիմքի տեղաշարժ-

ման միջոցով կարգավորվում է ստորին հիմնակմախքի (1) մեջ բացահանքի կողում (7) մոդելի վերին եզրի վրա «նստած» բնական լեռնալանջի (8) երկրաչափական պատկերի բնութագրիչների ստացումը (թեքության անկյուն, լայնություն, բարձրություն):



Նկ. 2. Ստորին անշարժ պրիզմայի (1) նկատմամբ վերին շարժական պրիզմայում (2) լեռնալանջի (4) տարբեր թեքման անկյունների դեպքում տեղադիրքը. 3- անկյունակ, 4- դռնակ, 5- սևեռիչներ, 9- հողակապ սևեռիչներով

Մեր կողմից մշակված ծավալային ֆիզիկական մոդելավորման ստենդը (նկ.1) հայտնի մոդելավորման ստենդներից տարբերվում է նրանով, որ ստորին հիմնակմախքի (1) վրա, նրա հետ սևեռման հնարավորությամբ, տեղադրված է նույն լայնական կտրվածքով և հիմնակմախքի երկարությամբ տեղաշարժվող և բնական լեռնալանջի պարամետրերով զանգվածի ձևավորման շարժական հիմքով ուղղանկյուն պրիզմա (2), որի անկյունագծային հարթությամբ տարբեր անկյան տակ (3) տեղադրված բնական լեռնալանջի թեքությունը սևեռող դռնակը (4) ունի հիմքի երկարությամբ մետաղական պրոֆիլներում բացված ճեղքերով հողակապի (5) միջոցով հորիզոնական ուղղությամբ տեղաշարժման հնարավորություն, ինչը ցույց է տրված նկ. 1 և 2-ում:

Բնական լեռնալանջի (8) զանգվածով պայմանավորված՝ բեռնված բացահանքի կողում (7) գրունտների լարվածային վիճակի փոփոխության օրինաչափությունների մոդելային հետազոտություններն իրականացվում են՝ պահպանելով դրանց ներկայացվող հայտնի պահանջները: Վերջիններիս հետ կապված՝ կարևոր նշանակություն ունի համաթեք նյութի ամրության ցուցանիշների ընտրումը՝

մողեւային հետազոտություններում օգտագործելով հաստատուն չափամասերով ավազի և տեխնիկական վազելինի, պարաֆինի կամ տրանսֆորմատորային յուղերի խառնուրդները [5]: Մողեւավորման ստենդի ստորին և վերին պրիզմաներում համարժեք նյութը տեղադրվում է որոշակի բեռնվածքով և խտացվում է 15...20 սմ հաստությամբ առանձին շերտերով:

Չափումների բավարար ճշտությամբ տվյալների ստացումը պայմանավորված է մողելում համարժեք նյութի ամրապնդման պրոցեսի ավարտով: Մողեւավորման ստենդում, լարումների տեղաբաշխման կայունացման պրոցեսի ավարտից հետո, կատարվում է կողում տեղադրված տվիչների դիմադրությունների փաստացի արժեքների չափում և ստուգաճշտում:

Քաջարանի բացահանքի պայմաններում հարավարևմտյան կողի վերին եզրից տարածվող բնական լեռնալանջի ազդեցությունից (8) կողի (7) ապարային զանգվածում, ինչպես նաև վերջինիս մեջ պարփակված տեկտոնական խզվածքում (10) լարվածային վիճակի փոփոխության որոշման համար մողեւային հետազոտությունների դեպքում, սկզբում ստորին հիմնակմախքի (1) մեջ կատարվում է համարժեք նյութից (6) բացահանքի կողի ձևավորում (7): Համարժեք նյութի (6) ամրապնդման ավարտից հետո ստորին հիմնակմախքում (1) (պրիզմայում) կատարվում է բացահանքի կողի (7) մողելում և տեկտոնական խզվածքում (10) տեղադրված տվիչների փաստացի դիմադրությունների գրանցում (նկ. 1):

Մողեւավորման ստենդի վերին շարժական պրիզմայում բնական լեռնալանջի (8) մողելի ձևավորմանը զուգահեռ կատարվում է ստենդի ստորին հիմնակմախքի (1) մեջ բացահանքի կողի (7) մողելում համարժեք նյութի (6) տարբեր մակարդակներում, ինչպես նաև տեկտոնական խզվածքում (10) տեղադրված տվիչների փաստացի դիմադրությունների ցուցմունքների գրանցում, որոնց միջոցով որոշվում են լարվածությունների մեծությունները:

Մողեւավորման ստենդում տվիչների փաստացի դիմադրությունների ցուցմունքների գրանցումը շարունակվում է այնքան ժամանակ, մինչև մողելի վերին շարժական պրիզմայում (2) կոնկրետ տվյալներով ձևավորված լեռնալանջի (8) զանգվածից ստենդի ստորին հիմնակմախքի (1) մեջ համարժեք նյութից (6) ձևավորված բացահանքի կողում (7), ինչպես նաև վերջինիս մեջ պարփակված տեկտոնական խզվածքում (10) տեղադրված տվիչներին փոխանցվող ուժերը կայունանում են, և տեղի է ունենում տվիչների դիմադրությունների փաստացի արժեքների փոփոխության դադարում:

Վերևում նկարագրված հերթականությամբ կատարվում է մողեւային ստենդի ստորին հիմնակմախքում (1) համարժեք նյութից (6) ձևավորված բացահանքի կողում (7), ինչպես նաև վերջինիս մեջ պարփակված տեկտոնական խզվածքում (10) տեղադրված տվիչների ցուցանիշների գրանցում՝ մողելի վերին շարժական

պրիզմայում (2) համարժեք նյութից (6) ձևավորված բնական լեռնալանջի (8)՝ հորիզոնի նկատմամբ տարբեր թեքությունների, երկարությունների և բարձրությունների դեպքում (նկ. 2):

Վերը նկարագրված ֆիզիկական մոդելավորման աշխատանքների կատարման արդյունքում որոշվում են մոդելի վերին շարժական պրիզմայում ձևավորվող տարբեր երկրաչափական կառուցվածքներով բնական լեռնալանջի ազդեցությունից բացահանքի կողի մոդելի տարբեր շերտերում, ինչպես նաև և դրա մեջ պարփակված տեկտոնական լարվածությունների փոփոխության օրինաչափությունները: Դա հնարավորություն է տալիս՝ բարձրացնելու լեռնային բացահանքի կողում բնական լեռնալանջի ազդեցությունից լարվածությունների տեղաբաշխման օրինաչափությունների որոշման արժանահավատությունը և դրա հետ կապված՝ բացահանքի կողի կայունության որոշման հայտնի հաշվարկային մեթոդների ճշտությունը:

Մշակված ֆիզիկական մոդելավորման եռաչափ ստենդի համար 2022 թ-ին ստացվել է ՀՀ արտոնագիր № 713 Y [7]:

Եզրակացություններ.

- Մշակվել է ծավալային ֆիզիկական մոդելավորման եռաչափ ստենդ, որի միջոցով հնարավորություն է ստեղծվում՝ լեռնային բացահանքերի պայմաններում լուծելու արդիական խնդիր՝ կապված բնական լեռնալանջով բեռնված բացահանքի կողում լարվածությունների տեղաբաշխման օրինաչափությունների որոշման, գնահատման և կողի կայունության հիմնավորման մեթոդի ճշտության բարձրացման հետ:

- Ֆիզիկական մոդելավորման նոր ստենդը կարող է կիրառվել նաև սակավաթեք տարածքների վրա ձևավորվող ապարային բազմաստիճան լցակույտերում լարվածային ուժերի տեղաբաշխման և դրա հետ կապված՝ լցակույտերի ռացիոնալ պարամետրերի երկրամեխանիկական հիմնավորման աշխատանքներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Effects of the loading and unloading conditions on crack propagation in high composite slope of deep open-pit mine / **Zhiguo Chang, Qingxiang Cai Wei Zhou, et al** // Advances in Civil Engineering.- 2019.- Article ID 3168481.-11 p.
2. **Hovakimyan V.V.** Upland quarry slope stability analysis under loading effect // Forum-Contest for Young Researchers “Topical Issues of Rational Use of Natural Resources”.-St. Petersburg, Mining University, 2020.-Vol. 1.-P.341-343.
3. **Hovakimyan V.V.** In Tectonically Stressed Rock Mass the Unloading Effect on Open Pit Slope Stability// Forum-Contest for Young Researchers “Topical Issues of Rational Use of Natural Resources”.-St. Petersburg, Mining University, 2021.-Vol. 1.-P.201-203.

4. **Галустян Э.Л.** Устойчивость бортов и отвалов нагорных карьеров// Горный журнал.- 1991.- N8.-С. 27-31.
5. **Ржевский В.В., Истомин В.В., Гальперин А.М.** Геомеханика отвальных работ на карьерах.- Панюков: Недра, 1972.-124 с.
6. **Фисенко Г.Л.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов.- М.: Недра. 1965.-378 с.
7. Արտոնագիր № 713 Կ, ՀՀ, ՄԱԴ E21C 39/00 G01N 33/00 G01N 3/00. Բնական լեռնալանջով բեռնված բացահանքի կողում լարվածությունների գրանցման մոդելավորման ստեղծ/ **Լ.Ա. Մանուկյան, Վ.Վ. Հովակիմյան և Տ.Լ. Մանուկյան.**- Ե., 2022:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 04.05.2022:

Լ.Ա. МАНУКЯН, В.В. ОВАКИМЯН

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ТРЕХМЕРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГИСТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В НАГРУЖЕННОМ ЕСТЕСТВЕННЫМ СКЛОНОМ БОРТУ НАГОРНОГО КАРЬЕРА

Разработана конструкция стенда объемного физического моделирования для изучения закономерностей распределения напряжений в борту нагорного карьера, вызванного естественным склоном горы распространяющегося выше верхней бровки нагорно-высотного карьера. Стенд может быть также использован для определения напряжений в многоярусном породном отвале, сформированном на слабонаклонном основании местности, что позволяет геомеханически обосновать рациональные параметры отвала.

Получен патент РА за № 713 Կ за разработанный стенд объемного физического моделирования регистрации напряжений в борту нагорного карьера.

Ключевые слова: естественный склон горы, нагруженный борт карьера, стенд физического объемного моделирования, породный многоярусный отвал, подвижная и неподвижная призмы.

L.A. MANUKYAN, V.V. HOVAKIMYAN

DEVELOPING A 3D PHYSICAL MODELING STAND TO RECORD STRESSES IN NATURAL-MOUNTAIN-LOADED OPIN-PIT WALL

A 3D physical modeling stand has been developed to study the redistributed stress field and pattern consistency of the stresses in the exposed open-pit wall on the mountain terrain due to natural unexposed slope of the mountain above the crest of the wall under loading conditions. In such a geotechnical analysis, the modeling stand can also be used to determine the rational parameters of the multistage waste rock dumps or stockpile structures constructed on shallow terrain, as well as in hard topographical conditions, based on the assessments of the redistributed stress field due to each depositing layers.

The above-mentioned 3D physical modeling stand to define the stresses in natural-mountain-loaded open-pit wall have been certified as a patent by RA Intellectual Property Agency of № 713 Կ.

Keywords: natural mountain slope, open-pit wall in loading conditions, 3D physical modeling stand, multistage waste rock dump and stockpile, mobile and immobile prisms.

Գ.Ա. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ

ԲԱՑԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ԶԱՆԳՎԱԾԱՅԻՆ ՊԱՅԹԵՑՄԱՆ ԲԱՑԱՍԱԿԱՆ
ՆԵՐԳՈՐԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

Բացահանքերում ապարների նախապատրաստումը՝ հանույթի պայթեցմամբ, մշտապես ուղեկցվում է այնպիսի բացասական երևույթներով, ինչպիսինք են գազի և փոշու գոյացումը, օդային և սեյսմային ալիքների առաջացումը, ինչպես նաև պայթեցված ապարների առանձին կտորների անկառավարելի թռիչքը: Այս կապակցությամբ բացահանքերում զանգվածային պայթեցումներ իրականացնելիս պահանջվում է հանքավայրի շրջանում սահմանափակել պայթեցման վերը թվարկված ներգործությունները: Առաջարկվել է պայթեցման բացասական ներգործությունների նվազեցման նոր տեխնոլոգիա՝ լիցքի խոռոչի պատին պայթուցիկ նյութի գազագոյացման արգասիքի սահմանային ճնշման փոքրացման ճանապարհով: Արամուսի բացահանքի օրինակով դիտարկվել է ապարի մանրացվածության աստիճանի կարգավորման և պայթեցման բացասական ներգործության նվազեցման հնարավորությունը:

Առանցքային բառեր. բացահանք, սեյսմային ալիք, պայթեցման գազագոյացման արգասիք, ապարի թռիչք:

Ներածություն: Լեռնային արդյունաբերության զարգացման հիմքում ընկած է օգտակար հանածոյի հանույթի ծավալների մեծացումը: Պինդ օգտակար հանածոյի հանքավայրերի բաց եղանակով մշակումն ապահովում է հանույթի մեծ ծավալներ, ինչը պայմանավորված է բացահանքերում լեռնային ապարները զանգվածային պայթեցմամբ հանույթը նախապատրաստելու, հանութաբարձիչ հզոր սարքավորումները և բեռնափոխադրող տրանսպորտային միջոցները համալիր կիրառելու լայն հնարավորություններով:

Մակայն բացահանքերում պինդ լեռնային ապարների զանգվածային պայթեցումներն ուղեկցվում են բացահանքի և նրան հարող տարածքների վրա բացասական ներգործություններով:

Ակնհայտ է, որ բացասական ներգործության հիմնական գործոնը կիրառվող պայթուցիկ նյութի (ՊՆ) լիցքի քանակն է: Հայաստանի Հանրապետությունում շինանյութի՝ բացահանքերում զանգվածային պայթեցման դեպքում կիրառվող ՊՆ-ի քանակը հասնում է մոտավորապես մեկ և ավելի տասնյակ տոննաների, իսկ մետաղական բացահանքերում՝ 80 և ավելի տոննայի: Պայթեցման աշխատանքների փորձը ցույց է տվել, որ 1 տ ՊՆ-ի պայթեցման դեպքում առաջացած

մինչև 0...150 *մկմ* հատիկայնությամբ փոշու քանակը, կախված պայթեցման պարամետրերից, տատանվում է 40...250 *կգ* սահմաններում:

Արդյունքում բացահանքերում զանգվածային պայթեցումներն ուղեկցվում են հսկայական քանակով գազի և փոշու արտանետմամբ, սեյսմային, օդային հարվածային ալիքի ներգործությամբ, պայթեցված ապարների առանձին կտորների շարժմամբ:

ՀՀ բացահանքերում իրականացվող զանգվածային պայթեցման դեպքում պայթեցման ծավալները, կիրառվող ՊՆ-ի, արտանետվող գազի և փոշու քանակները տատանվում են աղ. 1-ում բերված սահմաններում:

Աղյուսակ 1

Զանգվածային պայթեցման դեպքում ՊՆ-ի և արտանետվող գազի և փոշու քանակները

Բացահանքեր	ՊՆ-ի քանակը	Հանույթի ծավալները	Արտանետվող գազի և փոշու քանակը
Մետաղական	50...100 <i>տ</i>	200 000... 400 000 <i>տ</i>	7,0...13,0 <i>տ</i>
Ոչ մետաղական	5...20 <i>տ</i>	10 000...40 000 <i>մ³</i>	0,6...1,5 <i>տ</i>

Շինանյութերի՝ բացահանքերում իրականացվող զանգվածային պայթեցման միջին ճեղքավորվածության, $f = 8...10$ ամրությամբ ապարներում, 5...10 *տ* ՊՆ-ի լիցքի զանգվածային պայթեցման դեպքում, կախված օդերևութաբանական պայմաններից, փոշեգազային ամպը տարածվում է 15...20 *քառակուսի մետր*, որում թունավոր գազային խառնուրդի պարունակությունը կազմում է 5...10% [1]: Փոշեգազային ամպի բարձրությունը կազմում է մոտավորապես 30...60 *մ*, իսկ տարածման հեռավորությունը՝ 200...400 *մ*: Հաստատվել է, որ ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի մեծացման հետ մեծանում է մթնոլորտ արտանետվող թունավոր գազերի ծավալը [2]:

Հանքաքարային հանքավայրերի բաց եղանակով մշակման դեպքում բացասական ներգործությունները պայմանավորված են ոչ միայն պայթեցման հետևանքով առաջացող փոշեգազային արտանետումներով, այլև հողային ռեսուրսների խախտմամբ: Օրինակ, 1 *մլն տ* հանքաքարի արդյունահանման դեպքում խախտվում է ավելի քան 500 *հազ. հա* հողային ռեսուրս [3, 4]:

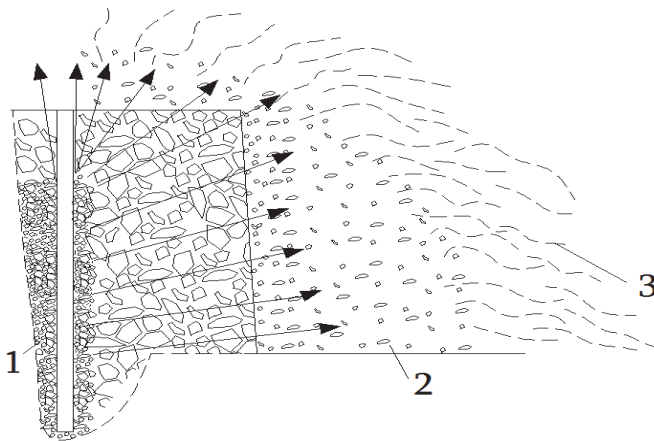
Խախտված հողերի մակերեսների կրճատումը հնարավոր է բացահանքի աշխատանքային հրապարակի լայնքի սահմանափակմամբ՝ ի հաշիվ պայթեցված զանգվածի փլվածքի լայնքի նվազեցման [5]: Վերջինիս նվազեցումը հնարավոր է ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի փոքրացման դեպքում [4]:

Դժվար չէ նկատել, որ զանգվածային պայթեցման բացասական ազդեցությունը շրջակա միջավայրի վրա կախված է ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի մեծությունից, որի նվազեցումը չի կարող ապահովել պայթեցման որակ, ինչը կնվազեցնի

հանությային աշխատանքների տնտեսական արդյունավետությունը: Անհրաժեշտ է ՊՆ-ի նվազագույն տեսակարար ծախսով ապահովել պայթեցման որակ, որը կպահանջի պայթեցման էներգիայի կարգավորման նոր տեխնոլոգիայի մշակում:

Ուստի բացահանքերում զանգվածային պայթեցումների դեպքում պայթեցման էներգիայի կարգավորման նոր տեխնոլոգիայի մշակումը, որը թույլ կտա ՊՆ-ի նվազագույն տեսակարար ծախսով բացահանքի աշխատանքային հրապարակում ապահովել անհրաժեշտ մանրացվածությամբ պայթեցված զանգվածի կոմպակտ փլվածք և սահմանափակել պայթեցման բացասական ազդեցությունը բացահանքի շրջանում, հանդիսանում է արդիական խնդիր:

Խնդրի դրվածքը և հետազոտության մեթոդները: Փոշու և գազի առաջացման գործընթացը որոշվում է գազառաջացման արգասիքի ճնշման մեծությամբ: Պայթեցման սկզբնական փուլում գազազոյացման արգասիքի ճնշումը, մոտավորապես 100 անգամ գերազանցելով ապարի ամրության սահմանը, ՊՆ-ի լիցքի շուրջ առաջացնում է պայթեցման էներգիայի ցրումային գազերի տեսքով և զանգվածի որոշակի ծավալով գերմանրացում, որը հանդիսանում է փոշու առաջացման աղբյուր: Իսկ ՊՆ-ի լիցքից որոշակի հեռավորության վրա տեղի է ունենում պայթեցված զանգվածի կանոնակարգված մանրացում: Կանոնակարգված մանրացման գործընթացն ավարտվում է, երբ գազազոյացման արգասիքի ճնշումը դառնում է ավելի փոքր, քան ապարի ամրության սահմանը, և սկսվում է պայթեցված հանքաստիճանի առանձին տարրերի տեղաշարժման և փլվածքի ձևավորման գործընթացը, որն ուղեկցվում է փոշու զգալի քանակի արտանետմամբ (նկ. 1):



Նկ. 1. Պայթեցված զանգվածի՝ դեպի ազատ մակերևույթ տեղաշարժման և փլվածքի ձևավորման գործընթացը.

1 - գերմանրացման գոտի, 2 - մանրացված ապարներ, 3 - փոշեգազային ամպ

Վերը շարադրվածից հետևում է, որ առաջադրված խնդրի լուծման գլխավոր նպատակն է նվազեցնել ապարների գերմանրացման վրա ծախսվող և ցրումային կորուսների էներգիան: Սա նշանակում է մեծացնել պայթեցման էներգիայի ակտիվ գործունեության տևողությունը ապարի կանոնակարգված մանրացման համար:

Պայթեցման ժամանակ զագագոյացման արգասիքի ճնշման և ապարի գերմանրացման գոտու շառավղի մեծությունները կախված են ՊՆ-ի դետոնացման արագությունից և խտությունից և որոշվում են համապատասխանաբար հետևյալ արտահայտություններով [6].

$$P_0 = \frac{1}{8} \rho_{\text{բբ}} D_{\text{բբ}}^2, \quad \eta w, \quad (1)$$

$$R_n = d_{\text{ԿԿ}} D_{\text{բբ}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{բբ}} K_n}{8 \sigma_{\text{ԿՃ}}}}, \quad u, \quad (2)$$

որտեղ $D_{\text{բբ}}$ -ն ՊՆ-ի դետոնացման արագությունն է, u/u_0 ; $\sigma_{\text{ԿՃ}}$ -ն՝ ապարի ամրության սահմանը սեղմման դեպքում, ηw ; $\rho_{\text{բբ}}$ -ն՝ ՊՆ-ի խտությունը, $h q/u^2$; K_n -ն՝ հարվածային ալիքի բեկման գործակիցը լիցքի խոռոչից ապարի անցման միջակայքում; $d_{\text{ԿԿ}}$ -ն՝ հորատանցքի տրամագիծը, u :

(1) և (2) արտահայտություններից երևում է, որ պայթեցման դեպքում արտանետվող փոշու քանակի և ապարի գերմանրացման գոտու շառավղի սահմանափակումը կախված է ՊՆ-ի դետոնացման արագությունից և խտությունից:

Պայթեցման գործընթացի կարգավորումը զանգվածային պայթեցման դեպքում բնութագրվում է պայթեցման էներգետիկ և տեխնոլոգիական պարամետրերով.

Պայթեցման էներգետիկ պարամետրերն են.

- պայթեցման իմպուլսի մեծությունը,
- ապարի քայքայման վրա պայթեցման էներգիայի գործունեության տևողությունը:

Պայթեցման տեխնոլոգիական պարամետրերն են.

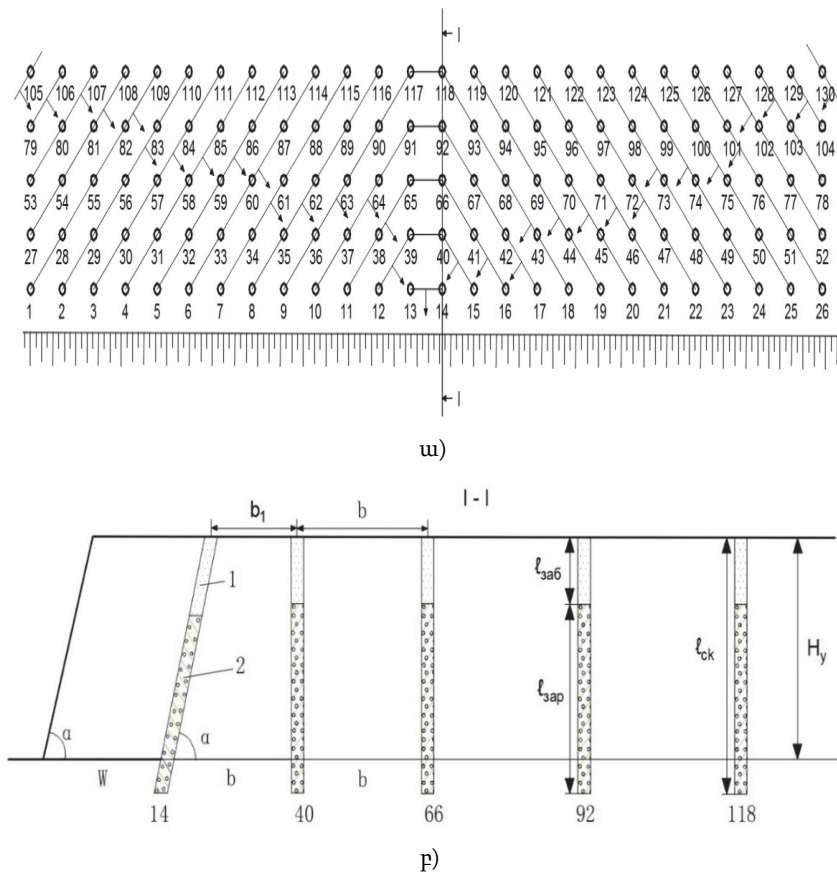
- ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի մեծությունը՝ արտահայտված պայթեցվող բլոկում հորատանցքային ցանցի պարամետրերով և ՊՆ-ի լիցքի երկարությամբ (պայթեցվող բլոկում ՊՆ-ի լիցքի բաշխվածությամբ),

- պայթեցման սխեմայի ընտրությունը (միաժամանակ պայթող լիցքերի դասավորությունը հանքաստիճանի ազատ մակերևույթի նկատմամբ):

Պայթեցման իմպուլսը հորատանցքի պատին ստեղծում է զագագոյացման արգասիքի հզոր ճնշում, որը նվազում է ակնթարթորեն, և ապարի քայքայման վրա պայթեցման էներգիայի գործունեության տևողությունը դառնում է անհամեմատ

փոքր: Այսինքն ապարի քայքայման վրա պայթեցման էներգիայի գործունեության տևողության մեծացումը հանդիսանում է ոչ պակաս կարևոր գործընթաց ապարների կանոնակարգված քայքայման դեպքում, որի մեծացումը հնարավոր է ՊՆ-ի գազագոյացման արգասիքի սահմանային ճնշման կարգավորմամբ:

Իսկ հորատանցքային ցանցի պարամետրերի ընտրությունը կախված է պայթեցման էներգետիկ պարամետրերից և արտահայտվում է պայթեցման էներգիայի դիսիպացիոն կորուստների և գերմանրացման գոտու շառավղի նվազեցմամբ, որը իր հերթին կախված է ՊՆ-ի գազագոյացման արգասիքի սահմանային ճնշման օպտիմալ մեծությունից: Վերը շարադրվածից հետևում է, որ պայթեցման տեխնոլոգիական պարամետրերի ընտրումը խիստ կախված է պայթեցման էներգետիկ պարամետրերի մեծությունից (նկ. 2):



Նկ. 2. Հանքաստիճանային բլոկի պայթեցման առաջարկվող տեխնոլոգիան.
ա) հորատանցքերի դասավորությունը և պայթեցման սխեման՝ 1,2,3...130 - պայթեցվող հորատանցքերի համարները, բ) ՊՆ-ի հորատանցքային լիցքի կառուցվածքը և դրա դասավորությունը պայթեցվող բլոկում՝ 1 - խցանյութ, 2 - անֆո+ՓՊ

ՊՆ-ի գազագոյացման արգասիքի սահմանային ճնշման մեծությունը որոշվում է հետևյալ պայմանից.

$$10^{\sigma_{c\pi c}} < P_0 > \sigma_{c\pi c} : \quad (3)$$

Նշված միջակայքում մեծանում է ապարի քայքայման վրա ծախսվող էներգիան: Ուստի պայթեցման էներգիայի կարգավորման նոր տեխնոլոգիայի մշակումը, որը պայթեցման նվազագույն բացասական ներգործության սահմաններում կապահովի անհրաժեշտ մանրացվածությամբ կոմպակտ փլվածքով պայթեցված լեռնային զանգված, պահանջում է [7].

- մշակել ՊՆ-ի լիցքի նոր կառուցվածք՝ փոքր դետոնացման արագությամբ և խտությամբ օժտված պայթուցիկ նյութերի կիրառմամբ, որը կապահովի ՊՆ-ի գազագոյացման արգասիքի սահմանային ճնշում նշված միջակայքում,

- համաձայն մշակված ՊՆ-ի լիցքի նոր կառուցվածքի՝ որոշել ՊՆ-ի լիցքի բաշխվածությունը պայթեցվող բլոկում (ըստ հորատանցքային ցանցի պարամետրերի և խցանյութի երկարության),

- ընտրել կարճ դանդաղեցմամբ պայթեցման սխեման:

ՊՆ-ի լիցքի նոր կառուցվածքում կիրառվում է անֆոյի (NH_4NO_3 +դիզ.վառելիք) և գնդիկավոր փրփրապոլիստիրոլի (ՓՊ) խառնուրդ, որը թույլ է տալիս ապահովել հորատանցքում ՊՆ-ի լիցքի անհրաժեշտ երկարություն՝ ի հաշիվ փրփրապոլիստիրոլի փոքր ծավալային կշռի:

ՓՊ-ի քանակը խառնուրդում հաշվարկվում է $\Phi\Pi/\text{Անֆո} = 0.0085$ հարաբերությամբ:

ՊՆ-ի և խառնուրդի տեխնիկական բնութագիրը բերված է աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

ՊՆ-ի և խառնուրդի տեխնիկական բնութագրերը

Փրփրապոլիստիրոլի ֆիզիկամեխանիկական հատկություններ				
Ծավալային կշիռը, կգ/մ ³	Ամրության սահմանը՝ ըստ սեղմման, կգ/սմ ²	Օդի պարունակությունը, %	Հատիկայնությունը, մմ	Ամրության սահմանը՝ ըստ ստատիկ ծռման, կգ/սմ ²
15...20	2,3	98	3...10	2,0...2,5
Պայթուցիկ նյութի և խառնուրդի տեխնիկական բնութագիրը				
Պայթուցիկ նյութ	Խտությունը, կգ/մ ³	Դետոնացման արագությունը, մ/վ	Գազագոյացման արգասիքի ճնշումը, ՄՊա	
Անֆո	820	3000...3600	1184,9	
Անֆո+ՓՊ	620	2800...3200	697,5	

Գնդիկավոր ՓՊ-ի առկայությունը (օդային բացակների առկայությունը) խառնուրդում փոքրացնում է ՊՆ-ի խտությունը, որի փոքրացմանը զուգընթաց նվազում է ՊՆ-ի դետոնացման արագությունը: Արդյունքում նվազում է պայթեցման զագագոյացման արգասիքի ճնշումը, որը մեծացնում է պայթեցման էներգիայի գործունեության տևողությունը ապարի մանրացման վրա և խցանյութի գոտում ապահովում է պայթեցված զանգվածի առանձին կտորների նվազագույն թոփը [4]:

Պայթեցման պարամետրերի ընտրությունն իրականացվում է հետևյալ սկզբունքով: Պայթեցվող հանքաստիճանային բլոկի ելակետային ցուցանիշներին և կիրառվող ՊՆ-ի տեխնիկական պարամետրերին համապատասխան (աղ. 3), կատարվում է հորատապայթեցման աշխատանքների պարամետրերի հաշվարկ (աղ. 4), համաձայն [8, 9]-ի: Ըստ հաշվարկված հորատանցքային ցանցի պարամետրերի՝ կատարվում է հորատանցքերի հորատում ուղղանկյունաձև դասավորությամբ, ընդ որում, առաջին շարքի հորատանցքերը հորատվում են հանքաստիճանի շեպի թեքությանը զուգահեռ, իսկ երկրորդ և մյուս շարքերում՝ մակերևույթի նկատմամբ ուղղահայաց դասավորվածությամբ:

Աղյուսակ 3

Պայթեցվող հանքաստիճանային բլոկի ելակետային ցուցանիշները և կիրառվող ՊՆ-ի տեխնիկական պարամետրերը

Պայթեցվող միջավայրի և կիրառվող ՊՆ-ի տեխնիկական բնութագիրը	
Զանգվածի ճեղքավորվածության աստիճանը հաշվի առնող գործակիցը	K_T
Ապարի ամրությունը՝ ըստ Մ.Մ. Պրոտոդյակոնովի	f
Երկայնական ալիքի տարածման արագությունը ապարում, u/l	$V_{այ}, u/l$
Պայթեցվող բլոկի ակուստիկ կոշտությունը, kq/u^2l	$\sqrt{A}(\gamma_n \times v_n)$
Ապարի ծավալային կշիռը, kq/u^3	γ_n
Ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ սեղմման, $U_{\text{Պա}}$	$\sigma_{\text{сж}}$
Ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ ձգման, $U_{\text{Պա}}$	$\sigma_{\text{раc}}$
Պուասոնի գործակիցը	μ
Յունգի մոդուլը, Պա	$E = \frac{\gamma_d^2}{1 - \mu} (1 - 2\mu)(1 + \mu)\gamma_d$
Հանքաստիճանի բարձրությունը, l	H_y
Հանքաստիճանի թեքման անկյունը, աստ.	φ
Անվտանգության գոտի	c
ՊՆ-ի դետոնացման արագությունը, u/l	D_{BB}
ՊՆ-ի խտությունը, kq/u^3	ρ_{BB}
Խցանյութի հատիկայնությունը հաշվի առնող գործակիցը	K
Բզդենտրոպի գործակիցը	$\gamma_{\text{нз}}$

Հորատանցքերը լիցքավորվում են պայթուցիկ նյութի և փրփրապոլիստիրոլի խառնուրդով: Հորատանցքերի չլիցքավորված մասը ծածկվում է խցանյութով՝ 10...20% խոնավության կավային կամ ավազակավային ապարներով:

ՊՆ-ով հորատանցքային լիցքերի պայթեցումն իրականացվում է սեպաձև ներհատումով կարճ դանդաղեցմամբ պայթեցման սխեմայով:

Աղյուսակ 4

Հորատապայթեցման աշխատանքների պարամետրերի հաշվարկը

Հորատապայթեցման պարամետրերը	Հաշվարկման բանաձևերը
Հորատանցքի տրամագիծը, u	$d_{\text{CK}} = \frac{H_y \text{ ctg } \alpha + c}{53 K_m} \sqrt{\frac{\gamma_n}{\rho_{\text{եթ}}}}$
ՊՆ-ի գազագոյացման արգասիքի սկզբնական ճնշումը հորատանցքի պատին, $U_{\text{Պա}}$	$P_0 = \frac{1}{8} \rho_{\text{եթ}} D_{\text{եթ}}^2$
Հանքաստիճանի հիմքի դիմադրության գիծը, u	$w = 53 K_{\text{ն}} d_{\text{ն}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ալ}}}{\gamma_d}}$
Հորատանցքային ցանցի պարամետրերը, u	$a = b = 2 d_{\text{CK}} \sqrt{\frac{\rho_o}{k_m \sigma_{\text{pac}}}}$ $k_m = 1 + (2 \gamma_{\text{uz}} P_o) \frac{1 + \mu}{E}$
Հորատանցքի երկարությունը, u	$l_{\text{CK}} = 1,1 \cdot H_y$
Խցանյութի երկարությունը, u	$l_{\text{աճ}} = \frac{K_3 d_{\text{CK}} H_y}{a \sqrt[3]{f}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{BB}} D_{\text{BB}}}{2 \sigma_{\text{pac}}}}$
ՊՆ-ի լիցքի երկարությունը, u	$l_{\text{աբ}} = l_{\text{CK}} - l_{\text{աճ}}$
ՊՆ-ի լիցքի քանակը, q	$Q = 0,785 l_{\text{աբ}} d_{\text{CK}}^2 \rho_{\text{եթ}}$
Պայթեցման դանդաղեցումների տևողությունը, $u/լ$	$\tau_3 = \frac{a^2 \gamma_{\text{II}}}{2,5 d_{\text{CK}} \rho_{\text{BB}} D_{\text{BB}}}$
ՊՆ-ի տեսակարար ծախսը, $q/ւ^3$	$q = \frac{Q}{awHy}$
Պայթեցված զանգվածի ծավալը 1 u հորատանցքի պայթեցման դեպքում, $ւ^3/ւ$	$V_{\text{r.m.}} = \frac{a \cdot Hy (W + a (np - 1))}{np l_{\text{CK}}}$
Գազի և փոշու արտանետման հեռավորությունը, u	$R_z = 160 \sqrt[3]{\frac{Q}{\sigma_{\text{ու}}}} (1 + 0,5 V_{\text{ե}})$ $V_{\text{ե}}$ -քամու արագությունը, $ւ/լ$
Մեյսմային ներգործության անվտանգ հեռավորությունը, u	$R_c = 10 \sqrt[3]{\frac{Q \sigma_{\text{ու}}}{N}}$ N -դանդաղեցումների թիվը
Մթնոլորտ արտանետվող թունավոր գազերի քանակը, $լ/կգ$	$C = \frac{C_o}{1 + \frac{0,27}{q}}$ C_o -թունավոր գազերի տեսակարար ծավալը; անֆոյի պայթեցման դեպքում $C_o = 60...70 լ/կգ$

Սեղանաձև պայթեցման սխեման թույլ է տալիս ունենալ պայթեցման այն-պիսի ուղղվածություն, որը հատում է հանքաստիճանի ազատ մակերևույթը որոշակի անկյան տակ, որի մեծության փոփոխությունը նվազեցնում է պայթեցված ապարի թռիչքը դեպի հանքաստիճանի ազատ մակերևույթ՝ արդյունքում ապահովելով սահմանափակ լայնքով պայթեցված զանգվածի փլվածք:

Հետազոտության արդյունքները: Առաջարկված տեխնոլոգիան կիրառվել է Արամուսի բացահանքում՝ ներկայացված $f = 10 \dots 12$ ամրության, $\gamma_n = 2,550 \dots 2,850$ տ/մ³ ծավալային կշռով միջին ճեղքավորվածության բազալտներով: Որպես պայթուցիկ նյութ կիրառվել է անֆո+ՓՊ խառնուրդը, որի տեխնիկական բնութագիրը բերված է աղ. 1-ում:

Հորատապայթեցման աշխատանքների պարամետրերը հաշվարկվել են՝ համաձայն աղ. 3-ում բերված պայթեցման հաշվարկային բանաձևերի: Հաշվարկման համար ելակետային ցուցանիշներն են հանդիսացել պայթեցվող բլոկի երկրամեխանիկական հատկությունները, ամրության բնութագիրը և կառուցվածքային առանձնահատկությունները: Հանքաստիճանային բլոկի պայթեցման առաջադրված տեխնոլոգիան բերված է նկ. 2-ում: ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքը և դրա դասավորությունը հանքաստիճանային բլոկում կատարվել են՝ համաձայն նկ. 2բ-ի: Ի տարբերություն գործող տեխնոլոգիայի՝ հորատանցքերի առաջին շարքը հորատվել է հանքաստիճանի շեպի թեքությանը զուգահեռ (նկ. 2բ), որի դասավորությունը հանքաստիճանային բլոկում կատարվել է՝ համաձայն աղ. 4-ի: Ընտրվել է սեղանաձև ներհատումով պայթեցման սխեման (նկ. 2ա):

Որպես պայթեցման արդյունքների գնահատման չափանիշներ ընդունվել են պայթեցման փաստացի տեխնոլոգիական և հաշվարկային էկոլոգիական ցուցանիշները (աղ. 5):

Պայթեցման փաստացի տեխնոլոգիական ցուցանիշներն են. պայթեցված զանգվածի փլվածքի պարամետրերը (փլվածքի լայնքը, բարձրությունը), պայթեցված զանգվածի կոնդիցիոն ($d = 20 \dots 800$ մմ) և ոչ կոնդիցիոն չափաբաժինների ելքը ($d < 20$ մմ, $d > 800$ մմ):

Պայթեցման հաշվարկային էկոլոգիական ցուցանիշներն են.

գազի և փոշու արտանետման հեռավորությունը, սեյսմային ներգործության անվտանգ հեռավորությունը, մթնոլորտ արտանետվող փոշեգազային ամպի, թունավոր գազի ծավալները:

Պայթեցված զանգվածի ոչ կոնդիցիոն չափաբաժինների ելքը որոշվել է ֆոտոգծային եղանակով, իսկ պայթեցված զանգվածի փլվածքի պարամետրերը՝ մարկշեյդերական չափագրման միջոցով:

Պայթեցման արդյունքների վերլուծությունը վկայում է, որ առաջարկված պայթեցման տեխնոլոգիան հնարավորություն է տալիս.

- նվազեցնել պայթեցված ապարների թռիչքի հեռավորությունը և կարգավորել պայթեցված զանգվածի փլվածքի լայնքը,
- նվազեցնել ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի մեծությունը, որն իր հերթին ապահովում է պայթեցումից առաջացած փոշեգազային ամպի և մթնոլորտ արտանետվող թունավոր գազերի թուլատրելի քանակները,
- փոքրացնել ոչ կոնդիցիոն չափաբաժինների ելքը (արտաչափս կտորների ելքը նվազում է 2,2 անգամ, գերմանրացված զանգվածի ելքը՝ 1,75 անգամ):

Աղյուսակ 5

Հորատապայթեցման պարամետրերը և պայթեցման արդյունքները Արամուսի բացահանքի պայմաններում

Պայթեցվող միջավայրի և կիրառվող ՊՆ-ի տեխնիկական բնութագրերը			
Ճեղքավորվածության աստիճանը.			միջին ճեղքավորվածությունը
K _τ	Զանգվածի ճեղքավորվածությունը բնութագրող գործակիցը	1,0	
f	Ապարի ամրությունը՝ ըստ Մ.Մ. Պրոտոդյակոնովի	10...12	
V	Երկայնական ալիքի տարածման արագությունը ապարում, մ/վ	3800	
C	Պայթեցվող բլոկի ակուստիկ կոշտությունը, կգ/մ ² վ	5,2*10 ⁶	
γ _π	Ապարի ծավալային կշիռը, կգ/մ ³	2600	
σ _c	Ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ սեղմման, ՄՊա	70...90	
σ _p	Ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ ձգման, ՄՊա	12...23	
μ	Պուասոնի գործակիցը	0,23	
E	Յունգի մոդուլը, Պա	3,4*10 ¹⁰	
H _y	Հանքաստիճանի բարձրությունը, մ	10	
α	Հանքաստիճանի թեքման անկյունը, աստ.	75...80	
	Կիրառվող ՊՆ-ի տեսակը	Անֆո	Անֆո+ՓՊ
ρ _κ	Պայթուցիկ նյութի խտությունը, կգ/մ ³	820	620
Po	ՊՆ-ի լիցքի գազագոյացման արգասիքի ճնշումը, ՄՊա	1184, 9	697,5
K ₃	Խցանյութի տեսակը հաշվի առնող գործակից	1,0...1,3	
Պայթեցման հաշվարկային պարամետրերը և պայթեցման արդյունքները			Պայթեցման տեխնոլոգիան
			Գործող Առաջարկվող
D _{св}	Հորատանցքի տրամագիծը, մ	0,140	0,140
axb	Հորատանցքային ցանցի պարամետրերը, մ	3,2x 3,2	3,2x 3,2
W	Հիմքի դիմադրության գիծը, մ	4,5	4,0
b ₁	I և II շարքերի միջև եղած հեռավորությունը, մ	-	0,6

Աղյուսակ 5-ի շարունակությունը

$I_{\text{заб}}$	Խցանյութի երկարությունը, մ	3,2	2,7
L_{CKB}	Հորատանցքի երկարությունը, մ	11	11
$I_{\text{зап}}$	ՊՆ-ի լիցքի երկարությունը հորատանցքում, մ	7,8	8,3
Q	ՊՆ-ի լիցքի քանակը հորատանցքում, կգ	98,4	79,2
Պայթեցման սխեման		Սեպաձև ներհատումով	Սեպաձև ներհատումով
τ_3	Դանդաղեցման տևողությունը, մվ	17	42
q_{BB}	ՊՆ-ի տեսակարար ծախսը, կգ/մ^3	0,90	0,76
q_{nn}	ՓՊ-ի տեսակարար ծախսը, կգ/մ^3	-	0,0065
n_{CK}	Հորատանցքերի թիվը	130	130
n_p	Շարքերի թիվը	5	5
$Q_{\text{сбл}}$	ՊՆ-ի ընդհանուր քանակը, կգ	12800	10,300
$V_{\text{г.м.}}$	Պայթեցված զանգվածի ծավալը 1 մ հորատանցքի պայթեցման դեպքում, $\text{մ}^3/\text{մ}$	10,1	9,8
Պայթեցման փաստացի տեխնոլոգիական ցուցանիշները			
Պայթեցված զանգվածի ելքը՝ ըստ չափաբաժինների, %		Գործող	Առաջարկվող
	Գերմանրացված զանգվածը՝ $d < 50 \text{ մմ}$	21,5	12,3
	Արտաչափս կտորները՝ $d > 800 \text{ մմ}$	11,8	5,3
B_p	Պայթեցված զանգվածի փլվածքի լայնքը, մ	36,0	28,0
H_p	Պայթեցված զանգվածի փլվածքի բարձրությունը, մ	5,5	7,0
Պայթեցման հաշվարկային էկոլոգիական ցուցանիշները			
R_r	Գազի և փոշու արտանետման հեռավորությունը, մ : Քամու առկայության դեպքում՝ $V_B = 2 \text{ մ/վ}$:	370	340
$Q_{\text{п.г}}$	Մթնոլորտ արտանետվող գազի և փոշու քանակը, կգ : Փոշու և գազի արտանետման թույլատրելի նորմը:	740	680
		965	772
		900	
R_c	Սեյսմային ներգործության անվտանգ հեռավորությունը, մ	90	84
c	Մթնոլորտ արտանետվող թունավոր գազի քանակը, լ/կգ : Թունավոր գազի արտանետման թույլատրելի նորմը:	52	46
		50	

Եզրակացություն.

1. ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքի փոփոխությունը թույլ է տալիս կարգավորել պայթեցման գազագոյացման արգասիքի ճնշումը ապարի սահմանային ամրության անհրաժեշտ միջակայքում, որը մեծացնում է պայթեցման գործընթացի տևողությունը ապարի կանոնակարգված մանրացման դեպքում, նվազեցնում է պայթեցման էներգիայի դիսիպացիոն կորուստները և կրճատում գերմանրացման գոտու շառավիղը:

2. Հորատանցքային ցանցի պարամետրերի ընտրությունը կախված է պայթեցման էներգետիկ մեծություններից, որոնց կարգավորումը հնարավոր է իրականացնել հորատանցքային լիցքի կառուցվածքի փոփոխմամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Дубнов Л.И., Бахаревич Н.С., Романов А.И.** Промышленные взрывчатые вещества.– 2-е изд., перераб. доп.– М.: Недра, 1982.- 327с.
2. **Блейман И.Л., Гунченко А.И., Кантор В.Х., Смирнов В.В.** Расчет газоопасных зон при взрывах зарядов выброса // Сб. АН Киргизской ССР / Институт физики и механики горных пород.- Фрунзе, 1980.- С. 97-104.
3. **Мосинец В.Н., Абрамов А.В.** Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород.- М.: Недра, 1982.- 248 с.
4. **Анистратов Ю.И.** Технология открытой добычи руд редких и радиоактивных металлов.- М.: Недра, 1988.- 430 с.
5. **Агаронян Г.А., Агаронян А.Г.** Моделирование процесса перемещения и формирования развала взорванной горной массы при взрыве в трещиноватой среде // Вестник Национального политехнического университета Армении: Металлургия, материаловедение, недропользование.- Ереван, 2018.– N1.- С.84-95.
6. **Ефремов Э.И.** Управление размерами зон переизмельчения горных пород при их взрывном разрушении // Вестник КТУ: Сб. наук. Праць.- Кривой Рог, 2007.– Вып. 18.- С. 36-39.
7. **Агаронян Г.А., Акопян Л.С., Агаронян А.Г.** Регулирование степени дробления взорванной горной массы при разработке месторождений нерудных строительных материалов // Известия НАН Армении и НПУА. Серия “Технические науки”.- 2019.– Т.72, N1.- С. 26-36.
8. **Крюков Г.М., Докутович М.И., Жаровонко С.Н.** Степень дробления и выхода негабарита при взрывном рыхлении горных пород на карьерах // ГИАБ.- 2011.- N5.- С. 347-351.
9. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности.– М.: Недра, 1972.- 240 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.01.2022:

Г.А. АГАРОНЯН

ТЕХНОЛОГИЯ УМЕНЬШЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА КАРЬЕРАХ

Взрывная подготовка горной породы к выемке на карьере всегда сопровождается такими негативными явлениями, как выделение пыли и газов, образование воздушной и сейсмической волн, а также неуправляемый разлет отдельных кусков взорванной породы. В этой связи при проведении массовых взрывов на карьере требуется ограничить вышеперечисленные негативные воздействия взрыва в районе месторождения. Предложена новая технология по снижению негативного воздействия взрыва путем уменьшения предельного давления газообразных продуктов взрывчатых веществ на

стенке зарядной полости. На примере Арамусского карьера рассмотрена возможность регулирования степени дробления породы и снижения негативного воздействия взрыва.

Ключевые слова: карьер, сейсмическая волна, газообразные продукты взрыва, разлет породы.

G.A. AHARONYAN

A TECHNOLOGY TO REDUCE THE NEGATIVE EFFECT OF A MASS EXPLOSION ON OPEN PITS

The explosive preparation of rock for excavation at the open pit is always accompanied by such negative phenomena as the release of dust and gases, the formation of air and seismic waves, as well as the uncontrolled scattering of separate pieces of exploded rock. In this regard, when carrying out mass explosions at an open pit, it is necessary to limit the on above-mentioned negative effects of an explosion in the field area. A new technology of detonation is proposed to reduce the negative impact of an explosion by reducing the limiting pressure of gaseous products of explosives on the wall of the charging cavity. Using the example of the Aramus open pit, the possibility of regulating the degree of rock crushing and reducing the negative impact of the explosion is considered.

Keywords: open pit, seismic wave, gaseous products of explosion, rock scattering.

А.В. ХАХАНОВА, В. АБДУЛЛАЕВ, В.И. ХАХАНОВ, С.В. ЧУМАЧЕНКО,
Е.И. ЛИТВИНОВА, И.В. ХАХАНОВ

ДЕДУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВЕКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЛОГИЧЕСКИХ
ФУНКЦИЙ И СОЦИАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Предлагается модель хог–отношений между логическими функциями цифровых схем, которая сворачивается в ноль–пространство, что дает возможность решать задачи технической диагностики, генеративного машинного обучения, поиска сходства–различия между процессами и явлениями. Вводится метрика failure-driven management $T \oplus F \oplus L = 0$, которая формализует все известные процессы создания компьютеринга, включая design and test, cyberphysical и cybersocial, а также федеративный и генеративный ML–computing. Определяются достоинства векторной универсальной модели для компактного описания процессов, явлений, функций и структур. Предлагается векторно–дедуктивный метод синтеза формул для транспортирования входных списков (данных) неисправностей, которая имеет квадратичную вычислительную сложность регистровых операций. Предложены граф–логические модели, которые описывают адекватно социальные процессы и явления, включая логику управления при демократии, диктатуре и анархии.

Ключевые слова: векторная форма логики, матрица и таблица, аналитическая форма структур, дедуктивно–векторный метод анализа, цифровая схема, векторная модель дефектов и функций, логика социального управления.

Состояние вопроса. Вопросам киберуправления обществом и гражданами для достижения качества жизни и сохранения экологии планеты посвящено мало работ. Тем не менее некоторые публикации по этой теме имеются. Предложены методы дедуктивного моделирования [1], которые начинают работать с заранее определенных гипотез, чтобы прийти к логически обоснованным выводам. “Цифровая трансформация” [2] звучит безобидно, учитывая, что взрыв объемов данных, вычислительной мощности и искусственного интеллекта (ИИ) привел человечество и весь мир к точке невозврата. После автоматизации заводов и создания беспилотных автомобилей наступает очередь автоматизации общества, цифровой демократии, аспектов трансгуманизма. Человечество идет к цифровому рабству или к свободе. Киберфизические–социальные системы (CPSS) [3] обеспечивают идеальную парадигму для проектирования и построения организации киберуправления и контроля. Состояние научно–технических тен-

денций в мире, как правило, грамотно и компетентно определяется экспертами из компании Gartner. Последний прогноз этой компании показывает 12 трендов, которые ожидаются в разработке учёных и ведущих компаний планеты в 2022 году [4].

Gartner прогнозирует, что умные пространства, гомоморфное шифрование, генеративный ИИ, графические технологии и метавселенная могут разрушить и трансформировать целые рынки [5]. В [6] исследуется ИИ следующего поколения, основанный на симбиозе между людьми, машинами и природой. Термин “вычисления для человеческого опыта” (CHE) отражает роль технологий, ориентированную на человека [7]. Быстрое развитие приложений ИИ в социальных вычислениях привело к появлению области, известной как искусственный социальный интеллект (ИСИ), который может решить проблему взрыва социальных отношений [8] путем использования социально ориентированного машинного глубокого обучения.

Логика киберсоциального компьютинга. Киберфизическая система Cyber Physical System (CPS) – совокупность коммуникационно-связанных адресуемых виртуальных и реальных компонентов в оцифрованном пространстве с функциями метрического мониторинга и оптимального cloud-edge управления в реальном масштабе времени для достижения поставленных целей.

Киберсоциальный компьютинг (рис. 1) – отрасль знаний, которая занимается развитием теории и практики оцифровывания нравственных социальных отношений для оптимального cloud-edge управления общественными процессами и каждым человеком на основе исчерпывающего онлайн-мониторинга поведения граждан в целях повышения качества жизни людей и сохранения экологии планеты. Метрика первой логической хог-функции – любой проект-предложение не требует никаких условий для его реализации, кроме научной новизны, вторая метрика and-функции требует максимального количества внешних активных условий, третья метрика or-функции имеет в качестве условий “ничегонеделание” по всем существенным входным социальным переменным. Первый вариант характерен для стартапа только креативных людей, цель – создать нечто новое и полезное. Второй – характеризует правила поведения для государственных структур и университетов, цель – уничтожить любую активность коллег, если нет консенсуса. Третий вариант хорош для талантливых людей и гениев, что характерно для многих социальных коллективов, где имеется обилие статистов, живущих за счет первых и не мешающих им, цель – социальный консенсус в коррумпированном коллективе или обществе.

Логика автоматов киберсоциального управления использует характеристическое уравнение тестирования $F \oplus T \oplus L = 0$, которое порождает основные функциональности, участвующие в управлении (рис. 2). Здесь F – эталонная

моральная сущность социального поведения, Т – входные социальные воздействия, L – метрическая или качественная ошибка между F и T.

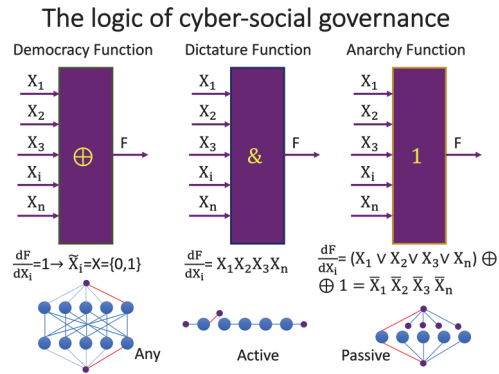


Рис. 1. Логика киберсоциального управления

Безошибочное правильное социальное решение характеризуется отсутствием ошибки: $L = F \oplus T = 0$, где $T = F$. Например, $F = 10011110$, $T = 11001101$, тогда имеет место качественный структурированный вектор ошибки $L = F \oplus T = 01010011$. Метрическая оценка ошибки равна $q = 0,5$. Имеется в виду количество единиц в L-векторе ошибки (кодировое расстояние d), деленное на число разрядов в векторе: $q = \frac{d}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i = 1}{n}$. В общем случае можно найти любой из упомянутых трех компонентов, если известны два других. Здесь имеются в виду следующие равенства, характеризующие Machine Learning: $F = L \oplus T = 11001101 \oplus 01010011 = 10011110$, Generative Machine Learning $T = F \oplus L = 10011110 \oplus 01010011 = 11001101$. Верификация вычислений производится на основе уравнения конволюции трех компонентов, хог-операция которых должна быть равна всегда 0-вектору:

$$11001101 \oplus 01010011 \oplus 10011110 = 00000000.$$

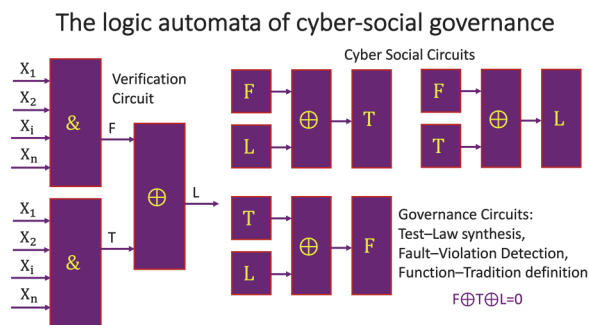


Рис. 2. Логика автоматов киберсоциального управления

Киберсоциальная система Cyber Social System (CSS) – совокупность телекоммуникационно-связанных адресуемых виртуальных объектов и социальных субъектов в оцифрованном пространстве нравственных отношений с функциями метрического мониторинга и оптимального cloud-edge управления гражданами в реальном масштабе времени для достижения поставленных целей.

Глобальный компьютеринг – нравственный активный интеллект (мозг) человечества, объединяющий конструктивные способности людей и вычислительные cloud-edge мощности для исчерпывающего метрического мониторинга и оптимального online-управления всеми оцифрованными процессами и явлениями в киберфизическом пространстве в целях повышения качества жизни и сохранения экологии. Киберкультура – нравственно-технологическое совершенство общества, направленное на нравственную цифровизацию физического и социального мира путем использования интернет-ресурсов для online-мониторинга и human-free управления процессами и явлениями во всех сферах человеческой деятельности, включая науку, образование, здравоохранение, быт, производство и транспорт. Качество – совокупность метрических свойств процесса или явления (изделия или сервиса), определяющих его пригодность удовлетворять заданным потребностям в соответствии с назначением. Качество (глобальное) – совокупность метрических свойств субстанции, определяющих его пригодность удовлетворять заданным потребностям в соответствии с назначением. Компетентность – метрическая оценка духовной, физической, эмоциональной, интеллектуальной и профессиональной культуры человека, которая определяет его значимость для потенциального применения знаний, умений и навыков при исполнении социальной роли, направленной на повышение качества жизни людей и сохранение экосистемы планеты.

Векторная метрика описания процессов и явлений. В технической диагностике используются три основные формы описания процессов и явлений: табличная, аналитическая, графовая [9-16]. При этом матрица (таблица) и вектор есть две переходящие друг в друга формы описания моделей. Вектор (двоичный, многозначный) является компактным видом таблицы истинности в виде упорядоченной последовательности состояний выхода, если входные компоненты–адреса упорядочены по возрастанию [9,13,17-19]. Матрица, при необходимости, распускается в одномерный вектор для удобства параллельной обработки данных на регистровой памяти. Естественно, что достаточно просто восстановить таблицу или матрицу из векторной формы описания процесса или явления. Далее фигурирует вектор, как форма описания объекта. Метрика измерения процессов и явлений в дискретном (двоичном) пространстве оперирует тремя аксиомами (рефлексивность, симметричность и транзи-

тивность) циклического или замкнутого взаимодействия между 1,2,3... компонентами. Для общего случая измерения выполняется универсальный закон конволюции расстояний d между n объектами, составляющими цикл: $\bigoplus_{i=1}^n d_i = 0$ [8]. Естественно, что хог-сумма расстояний между замкнутыми функциональными объектами, представленными в векторном виде состояний выходной переменной, также всегда равна нулю. Но истиной является и тот факт, что хог-сумма кубитных векторов функций, как объектов (and = 0001, or = 0111, xor = 0110), представленная на рис. 3, равна нулю.

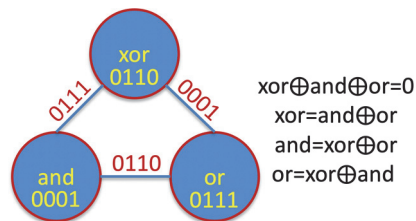


Рис. 3. Конволюция трех логических функций

Таким образом, получается, что хог-отношения двух упомянутых функций между собой равны третьей. В совокупности три функции (Xor, And, Or) посредством хог-отношения сворачиваются в ноль: $X \oplus A \oplus O = 0$. Также верно, что две из трёх функций генерируют третью, как хог-отношение между ними. Лемма конволюции трех функций от двух переменных: существуют только 4 пары логических функций, связанных хог-отношением, которые в результате дают хог-функцию (рис. 4).

1	2	3	4
$\oplus = 0110$	$\oplus = 0110$	$\oplus = 0110$	$\oplus = 0110$
$\wedge = 0001$	$\bar{\vee} = 1000$	$x_1 = 0011$	$\bar{x}_1 = 1100$
$\vee = 0111$	$\bar{\wedge} = 1110$	$x_2 = 0101$	$\bar{x}_2 = 1010$

Рис. 4. хог-функции

Здесь первые два варианта действительно можно считать парами логических функций, взаимодействие которых дает хог-функцию. Остальные два являются вырожденными функциями от одной переменной, которые создают хог-операцию. Если учесть, что второй вариант есть инверсия первого, то можно сделать вывод о том, что только две логические функции (and, or) способны создать хог-вектор при хог-взаимодействии. Практическая значимость леммы о конволюции функций заключается в следующем: 1) оператор хог является уникальным и универсальным измерителем сходства-различия любых киберфизических процессов и явлений; 2) только две логические функции (and, or) своим различием создают хог-операцию. Еще более интересно то, что различие двух логических функций (and, or) равно функции, их разли-

чающих. Выполнение хог–операции над логическими функциями (and, or) равно хог–операции; 3) две функции от одной переменной (инверсия и повторение) также создают хог-взаимодействие; 4) триада логических функций (and, or, xor) формирует векторную метрику для вычисления структурных $S(a, b) = a_i \bigwedge_{i=1,n} b_i$, $D(a, b) = a_i \oplus b_i$ и нормированных оценок сходства–различия между процессами и явлениями:

$$S_n(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \bigwedge_{i=1,n} b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \vee_{i=1,n} b_i)}, D_n(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \oplus_{i=1,n} b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \vee_{i=1,n} b_i)}$$

5) операция дизъюнкции (or) создает общую метрику единичных значений координат для измерения нормы сходства–различия двух процессов или явлений.

Дедуктивно-векторный метод моделирования неисправностей. Дедуктивное моделирование, предложенное ровно 50 лет назад Армстронгом, до сих пор является самым изящным и эффективным средством анализа качества тестов и синтеза таблиц для поиска дефектов. Кроме того, данный метод может быть эффективно использован для анализа избирательной активности путей принятия решений любой киберсоциальной системы, которая представлена элементами логики. Далее предлагается его реализация на основе векторной формы описания логики [12,14,20,17,21], которая дает возможность существенно упростить алгоритмы дедуктивного моделирования в целях обработки цифровых схем большой размерности. Треугольник хог-отношений является основой и используется для векторной модификации дедуктивного метода моделирования неисправностей. Новый метод синтеза дедуктивных формул на основе векторного задания, в данном случае (or, and)–элементов, представлен двумя таблицами (рис. 5).

$X_1=1$
 $X_2=1$
 $Q=0111$
 $Y=1$
 $L = X_1 X_2$

$X_1=1$
 $X_2=1$
 $Q=0001$
 $Y=1$
 $L = X_1 \vee X_2$

$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$Q1$	$Q\&$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

$x_1 x_2$	00	01	10	11
$\bar{x}_1$	0011	0011	0011	0011
$\bar{x}_2$	0101	0101	0101	0101
Q	0111	0111	0111	0111
$\bar{x}_1 = \bar{x}_1 \oplus x_1$	0011	0011	1100	1100
$\bar{x}_2 = \bar{x}_2 \oplus x_2$	0101	1010	0101	1010
$\bar{L} = Q \oplus Y$	0111	1000	1000	1000
L	$X_1 \vee X_2$	$\bar{X}_1 X_2$	$X_1 \bar{X}_2$	$X_1 X_2$

$x_1 x_2$	00	01	10	11
$\bar{x}_1$	0011	0011	0011	0011
$\bar{x}_2$	0101	0101	0101	0101
Q	0001	0001	0001	0001
$\bar{x}_1 = \bar{x}_1 \oplus x_1$	0011	0011	1100	1100
$\bar{x}_2 = \bar{x}_2 \oplus x_2$	0101	1010	0101	1010
$\bar{L} = Q \oplus Y$	0111	1000	1000	1000
L	$X_1 X_2$	$\bar{X}_1 X_2$	$X_1 \bar{X}_2$	$X_1 \vee X_2$

Рис. 5. Дедуктивно-векторное or-logic and-logic моделирование

Координаты таблицы – двоичные векторы – обрабатываются по следующим правилам обработки их координат: $\bar{x}_1 = \hat{x}_1 \oplus x_1$, $x_1 = \{0,1\} \rightarrow x_1 = 1$,

$$\vec{x}_1 = 0011, \vec{x}_1 = \hat{x}_1 \oplus x_1 = 1100, \quad x_1 = 0, \vec{x}_1 = \hat{x}_1 \oplus x_1 = 0011. \quad \vec{x}_2 = \hat{x}_2 \oplus x_2 = 0, \\ \vec{x}_2 = \hat{x}_2 \oplus 0 = 0011 \oplus 0 = 0011, \vec{x}_1 = \hat{x}_2 \oplus x_1, \quad x_1 = \{0,1\}.$$

Здесь вводится новая оригинальная модель одиночных неисправностей, привязанная к координатам вектор-столбцов таблицы истинности (рис. 5, слева), представляющих вектор-компоненты модели логического элемента: $\hat{x}_1 = 0011$, $\hat{x}_2 = 0101$, $Q = 0111$, полученные из столбцов следующей Q1-таблицы истинности (рис. 5). При этом список-вектор проверяемых дефектов формируется путем выполнения хог-операции между функциональностью и тестовым набором, которые также задаются в векторном виде. В координатах дедуктивной таблицы представлены процедуры выполнения классического дедуктивного алгоритма для транспортирования дефектов на выход логического элемента, но при описании функциональности и дефектов в векторном виде. Задаются функции переменных x_1, x_2 в векторном виде $\hat{x}_1 = 0011$, $\hat{x}_2 = 0101$. Затем выполняется инверсия координат векторов, если состояние входной переменной x_i равно единице. То же самое относится к вектору выходной переменной Q : $\vec{L} = Q \oplus Y$ при условии $Y = f(x_1, x_2)$. Затем по конstituантам единицы данного вектора $\vec{L}$ выполняется запись термов дизъюнктивной нормальной формы L относительно переменных векторов $\hat{x}_1$ и $\hat{x}_2$. Если $L = X_1 \vee X_2$, это означает, что выходной список неисправностей логического элемента будет содержать объединения входных списков неисправностей. Список-вектор L транспортируемых на выход дефектов записывается в форме ДНФ входных списков неисправностей, представленных в последней строке каждой таблицы. Синтез дедуктивных формул на основе векторных операций для получения ДНФ для логического элемента and, с целью транспортирования векторов или списков входных неисправностей, представлен на рис. 5 справа.

Для сравнения вычислительной сложности получения дедуктивных формул ниже приводится аналитическая классическая процедура анализа og-элемента (рис. 6), оперирующая булевыми уравнениями, для которых необходимо иметь сложные решатели [13,17,18]:

$$\begin{aligned} L[T = (00,01,10,11), F = (X_1 \vee X_2)] = \\ = L\{(\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 x_2 \vee x_1 \bar{x}_2 \vee x_1 x_2) \wedge [(X_1 \oplus T_{t1} \vee X_2 \oplus T_{t2}) \oplus T_{t3}]\} = \\ = (\bar{x}_1 \bar{x}_2)\{[(X_1 \oplus 0) \vee (X_2 \oplus 0)] \oplus 0\} \vee (\bar{x}_1 x_2)\{[(X_1 \oplus 0) \vee (X_2 \oplus 1)] \oplus 1\} \vee \\ \vee (x_1 \bar{x}_2)\{[(X_1 \oplus 1) \vee (X_2 \oplus 0)] \oplus 1\} \vee (x_1 x_2)\{[(X_1 \oplus 1) \vee (X_2 \oplus 1)] \oplus 1\} = \\ = (\bar{x}_1 \bar{x}_2)(X_1 \vee X_2) \vee (\bar{x}_1 x_2)(\bar{X}_1 \wedge X_2) \vee (x_1 \bar{x}_2)(X_1 \wedge \bar{X}_2) \vee (x_1 x_2)(X_1 \wedge X_2). \end{aligned}$$

Рис. 6. Процедура анализа og-элемента

Вычислительная сложность получения дедуктивных формул транспортирования дефектов для функции от n переменных равна $Q = n(N+F)$. Если учесть, что $N+F$, как процедуры инверсии векторов N и их последующей сборки F в вектор-функцию (объединение или пересечение), равны числу переменных $N+F=n$, то оценка вычислительной сложности в векторных операциях равна $Q = n(N+F) = n^2$.

Дедуктивный анализ логической схемы. Дана цифровая структура из четырёх элементов, каждый из которых представлен Q -вектором описания состояний выходной переменной Y в соответствующей таблице истинности (рис. 7).

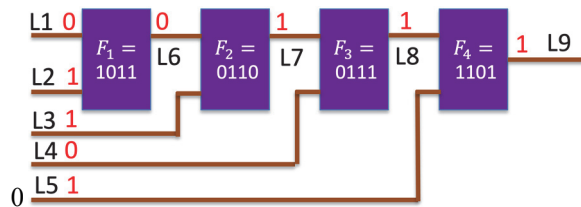


Рис. 7. Цифровая структура из четырёх элементов

Задача состоит в том, чтобы на входном двоичном наборе $X=01101$ определить список входных неисправностей, которые будут транспортированы от каждого входа схемы $L=\{L1,L2,L3,L4,L5,\}$ к выходу $L9 = F[X, L(x_i)]$. Для решения данной задачи необходимо построить дизъюнктивные нормальные формы транспортирования входных списков неисправностей через каждый элемент схемы. Следующие таблицы (рис. 8) содержат векторные процедуры обработки Q -векторов элементов для получения дедуктивных формул на каждое двоичное воздействие.

Q=1011 F1					Q=0110 F2					Q=0111 F3					Q=1101 F4				
$x_1 x_2$	00	01	10	11	$x_1 x_2$	00	01	10	11	$x_1 x_2$	00	01	10	11	$x_1 x_2$	00	01	10	11
$\bar{x}_1$	0011	0011	0011	0011	$\bar{x}_1$	0011	0011	0011	0011	$\bar{x}_1$	0011	0011	0011	0011	$\bar{x}_1$	0011	0011	0011	0011
$\bar{x}_2$	0101	0101	0101	0101	$\bar{x}_2$	0101	0101	0101	0101	$\bar{x}_2$	0101	0101	0101	0101	$\bar{x}_2$	0101	0101	0101	0101
Q	1011	1011	1011	1011	Q	0110	0110	0110	0110	Q	0111	0111	0111	0111	Q	1101	1101	1101	1101
$\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2$	0011	0011	1100	1100	$\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2$	0011	0011	1100	1100	$\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2$	0011	0011	1100	1100	$\bar{x}_1 \oplus \bar{x}_2$	0011	0011	1100	1100
$\bar{x}_1 \oplus x_2$	0101	1010	0101	1010	$\bar{x}_1 \oplus x_2$	0101	1010	0101	1010	$\bar{x}_1 \oplus x_2$	0101	1010	0101	1010	$\bar{x}_1 \oplus x_2$	0101	1010	0101	1010
$\bar{L} \oplus Q \oplus Y$	0100	1011	0100	0100	$\bar{L} \oplus Q \oplus Y$	0110	1001	1001	0110	$\bar{L} \oplus Q \oplus Y$	0111	1000	1000	1000	$\bar{L} \oplus Q \oplus Y$	0010	0010	1101	0010
L	$\bar{x}_1 \bar{x}_2$	$x_1 \vee x_2$	$\bar{x}_1 x_2$	$\bar{x}_1 x_2$	L	$x_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 x_2$				L	$x_1 \vee x_2$	$\bar{x}_1 \bar{x}_2$	$x_1 x_2$	$x_1 x_2$	L	$x_1 \bar{x}_2$	$x_1 x_2$	$x_1 \vee x_2$	$\bar{x}_1 x_2$

Рис. 8. Векторные процедуры обработки Q -векторов

Учитывая регулярность данных в таблицах и повторение векторных процедур, можно интегрировать все четыре таблицы в одну. Интегральные таблицы используются для моделирования любых векторов входных списков неисправностей $L=\{L1,L2,L3,L4,L5\}$ в зависимости от входного двоичного слова в целях получения выходного списка неисправностей $L9$. Результат

дедуктивного моделирования векторов L на цифровой структуре (рис. 7) логических элементов представлен в следующей таблице (рис. 9).

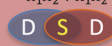
	$x_1 x_2$	00	01	10	11
F1	L1=01101110 L2=11111001 L6=01101110	$\bar{x}_1 x_2$	$x_1 \vee x_2$	$\bar{x}_1 x_2$	$\bar{x}_1 x_2$
F2	L6=11111001 L3=01101110 L7=10010111	$x_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 x_2$ 			
F3	L7=00000110 L4=11011011 L8=00000100	$x_1 \vee x_2$	$\bar{x}_1 x_2$	$x_1 \bar{x}_2$	$x_1 x_2$
F4	L8=00000100 L5=10011110 L9=10011010	$\bar{x}_1 \bar{x}_2$	$x_1 x_2$	$x_1 \vee x_2$	$\bar{x}_1 x_2$

Рис. 9. Результат получения дедуктивных формул

Конечный результат получения дедуктивных формул и их применения для транспортирования векторов входных списков неисправностей до выхода представлен на рис. 10. Элемент F2, дедуктивная формула которого представлена второй строкой таблицы, имеет уникальную характеристику, которая позволяет ему пропускать через себя только отличия (D), которые имеются в его входных списках $L = x_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 x_2$. При этом элемент ведет себя одинаково инвариантно к любому двоичному входному слову.

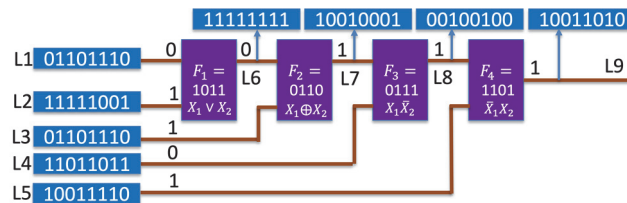


Рис. 10. Цифровая структура из четырёх элементов после моделирования

Внедрение векторно-дедуктивного метода в систему автоматизации проектирования цифровых схем позволит существенно упростить методы оценки качества тестов, а также уменьшить время прохождения проекта при оценке его качества за счет векторных параллельных процедур транспортирования списков неисправностей до выходов схемы.

Киберсоциальная интерпретация полученного результата заключается в том, что каждой переменной схеме можно поставить в соответствие некоторого чиновника, который разрешает или тормозит прохождение активности граждан на выход социально-логической структуры управления. В частности, на выходе схемы может присутствовать ноль активностей при мощных входных списках, а может быть ситуация усиления активностей, которые находятся

на входе схемы (увеличение их мощности). Правильный руководитель превращает отсутствие активностей при почти нулевых входных списках в некоторые достижения – увеличение активностей на выходе схемы киберсоциального компьютеринга. Дедуктивная логика это позволяет. Таким образом, предложенный метод векторного дедуктивного анализа логических структур отличается от известных технологий моделирования [13,17, 20-22] высокой структуризацией векторных данных, простейшими логическими параллельными процедурами и высоким быстродействием получения дедуктивных формул и моделирования логических элементов, что дает возможность его использования для обработки схем большой размерности. Метод векторного дедуктивного анализа логических структур, предложенный в работе, не имеет аналогов в мире по простоте, производительности, а его универсальность допускает его использование в различных областях деятельности человека, включая дедуктивный анализ логических схем управления социальными группами на уровне университета, предприятия и государства.

Самый простой способ построения механизма управления обществом – это обобщение опыта экспертов в социальной области путем допущения огромного числа ошибок, что приведёт к формированию ML–таблицы истинности. Другой способ заключается в построении точной структуры управления, использующей опыт IT-инженеров. Поэтому предложенные выше решения как раз направлены на поиск логических схем управления обществом, которые используют точные и проверенные механизмы управления, применяемые в современном компьютеринге. То, что работает точно и без ошибок в компьютере (логика, арифметика, механизмы мониторинга и управления), может быть применено в киберсоциальной системе для принятия правильных нравственных безошибочных решений. Отличие предложенной логической модели управления социальными группами заключается в использовании дедуктивных формул логических примитивов, которые формируют зависимость выхода схемы от входного воздействия (режима правления), функции логики (законодательства) и от списка активности (граждан) на входах каждого элемента и схемы в целом $L_y = f(x, F, L_x)$.

Заключение. Вводится новая метрика failure-driven management $T \oplus F \oplus L = 0$, которая формализует все известные процессы создания компьютеринга, включая design and test, cyberphysical и cybersocial, а также федеративный и генеративный ML – computing. Предложена структура определений и понятий для понимания сути инженерных исследований различно подготовленными читателями. Даны определения различных периодов развития науки и техники в новейшей истории, которые также прогнозируют

ближайшее будущее IT-индустрии и социума. Представлена модель в виде отношения для объяснения первопричины устойчивого развития природы и общества. Предложена модель хог-отношений между замечательными логическими функциями, которая сворачивается в ноль-пространство, что дает возможность решать задачи технической диагностики, машинного обучения, поиска сходства-различия между процессами и явлениями [19, 23-27]. Определены достоинства векторной модели для компактного описания процессов, явлений, функций и структур. В случае отказа от аналитических выражений, требующих алгоритмически сложных вычислителей-анализаторов, происходит их замена векторными структурами данных для описания функциональной логики. Предложен векторно-дедуктивный метод синтеза формул для транспортирования входных списков неисправностей, который имеет квадратичную вычислительную сложность регистровых операций. Представлены структуры элементов и схем на основе дедуктивных формул, которые могут точно моделировать процесс принятия решений чиновниками государственных структур. Предложены граф-логические модели, которые описывают адекватно социальные процессы и явления, включая логику управления при демократии, диктатуре и анархии. Также предложена дедуктивная модель управления социальными группами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Aggarwal Charu C.** Artificial Intelligence.- Springer Nature Switzerland AG, 2021.- 483 p. DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-030-72357-6>
2. **Dirk Helbing.** Next Civilization.- ETH Zürich. Zürich, Switzerland, 2021.- 325 p.
3. Cyber-Physical-Social Systems for Command and Control / **Z. Liu, D. -S. Yang, D. Wen, W. -M. Zhang, and W. Mao** // IEEE Intelligent Systems.- July-Aug. 2011.- Vol. 26, no. 4.-P. 92-96, DOI: 10.1109/MIS.2011.69.
4. <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-technology-trends>
5. <https://www.gartner.com/en/articles/5-impactful-technologies-from-the-gartner-emerging-technologies-and-trends-impact-radar-for-2022>
6. **Hai Zhuge.** Cyber-Physical-Social Intelligence: On Human-Machine-Nature Symbiosis (Springerbriefs in Computer Science).- 1st ed.- 2020. ISBN-13: 978-9811373107. ISBN-10: 9811373108. Springer.
7. **Sheth A., Anantharam P., and Henson C.** Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach // IEEE Intelligent Systems.- Jan.-Feb. 2013.-Vol. 28, no. 1.-P. 78-82, DOI: 10.1109/MIS.2013.20.
8. **Hahanov Vladimir.** Cyber Physical Computing for IoT-driven Services.- New York: Springer, 2018.- 279 p.
9. **Abramovici M., Breuer M.A., and Friedman A.D.** Digital System Testing and Testable Design Comp.- Sc. Press, 1998.- 652 p.

10. **Takahashi, Ishiura N., and Yajima S.** Fault simulation for multiple faults by Boolean function manipulation // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems.- April 1994.-Vol. 13, no. 4.- P. 531-535, DOI: 10.1109/43.275363.
11. **Liu T., Yu T., Wang S., and Cai S.** An Efficient Degraded Deductive Fault Simulator for Small-Delay Defects // IEEE Access.- 2020.-Vol. 8.-P. 204855-204862, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3037292.
12. Deductive qubit fault simulation / **Vladimir Hahanov, S. Chumachenko, I. Iemelianov, V. Hahanov, et al** // 2017 14th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM).- 2017.-P. 256-259, doi: 10.1109/CADSM.2017.7916129.
13. **Reinsalu U., Raik J., and Ubar R.** Register-transfer level deductive fault simulation using decision diagrams// 2010 12th Biennial Baltic Electronics Conference.- 2010.- P. 193-196, doi: 10.1109/BEC.2010.5631842.
14. **Pomeranz I. and Reddy S.M.** Unspecified Transition Faults: A Transition Fault Model for At-Speed Fault Simulation and Test Generation// IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems.- Jan. 2008.-Vol. 27, no. 1.- P. 137-146, doi: 10.1109/TCAD.2007.907000.
15. **Reinsalu U., Raik J., Ubar R., and Ellervee P.** Fast RTL Fault Simulation Using Decision Diagrams and Bitwise Set Operations// 2011 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems.- Vancouver, BC, 2011.- P. 164-170, doi: 10.1109/DFT.2011.42.
16. **Ubar R., Devadze S., Raik J., and Jutman A.** Fast Fault Simulation for Extended Class of Faults in Scan Path Circuits // 2010 Fifth IEEE International Symposium on Electronic Design, Test & Applications.- Ho Chi Minh City, 2010.-P. 14-19, DOI: 10.1109/DELTA.2010.32.
17. **Hahanov V., Gharibi W., Litvinova E., and Chumachenko S.** Qubit-driven Fault Simulation// 2019 IEEE Latin American Test Symposium (LATS).- 2019.- P. 1-7, DOI: 10.1109/LATW.2019.8704583.
18. Vector-Qubit models for SoC Logic-Structure Testing and Fault Simulation / **V. Hahanov, et al** // 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM).- 2021.- P. 24-28, DOI: 10.1109/CADSM52681.2021.9385266.
19. Qubit Test Synthesis Processor for SoC Logic/ **W. Gharibi, D. Devadze, V. Hahanov, E. Litvinova, and I. Hahanov**// 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Batumi, Georgia, 2019.- P. 1-5, DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884476.
20. Quantum Deductive Simulation for Logic Functions/ **V. Hahanov, A.V. Hacimahmud, E. Litvinova, S. Chumachenko, and I. Hahanova**// 2018 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- 2018.- P. 1-7, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524619.
21. Qubit Test Synthesis Processor for SoC Logic/ **W. Gharibi, D. Devadze, V. Hahanov, E. Litvinova, and I. Hahanov**// 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Batumi, Georgia, 2019.- P. 1-5. DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884476.

22. **Dumitrescu M., Munteanu T., Floricau D., and Ulmeanu A.P.** A complex fault-tolerant power system simulation// 2005 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering.- 2005.- P. 267-272, DOI: 10.1109/ICEEE.2005.1529624.
23. Quantum Models and Method for Analysis and Testing Computing Systems/ **V.I. Hahanov, S.M. Hyduke, W. Gharibi, E.I. Litvinova, et al**// 2014 11th International Conference on Information Technology: New Generations.- Las Vegas, NV, 2014.-P. 430-434, doi: 10.1109/ITNG.2014.125.
24. Qubit Fault Detection in SoC Logic/ **M. Karavay, V. Hahanov, E. Litvinova, H. Khakhanova, and I. Hahanova**// 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Batumi, Georgia, 2019.- P. 1-7, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884475.
25. **Hahanov V., Gharibi W., Litvinova E., and Chumachenko S.** Qubit-driven Fault Simulation // 2019 IEEE Latin American Test Symposium (LATS).- Santiago, Chile, 2019.- P. 1-7, doi: 10.1109/LATW.2019.8704583.
26. Qubit Fault Detection in SoC Logic/ **M. Karavay, V. Hahanov, E. Litvinova, H. Khakhanova, and I. Hahanova**// 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Batumi, Georgia, 2019.- P. 1-7, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884475.
27. **Pomeranz I., and Reddy S.M.** Unspecified Transition Faults: A Transition Fault Model for At-Speed Fault Simulation and Test Generation// IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems.- Jan. 2008.-Vol. 27, no. 1.- P. 137-146, DOI: 10.1109/TCAD.2007.907000.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Материал поступил в редакцию 29.06.2022.

**Ա.Վ. ԽԱԽԱՆՈՎԱ, Վ. ԱԲԴՈՒԼԱԵՎ, Վ.Ի. ԽԱԽԱՆՈՎ, Ս.Վ. ԶՈՒՄԱԶԵՆԿՈ,
Է.Ի. ԼԻՏՎԻՆՈՎԱ, Ի.Վ. ԽԱԽԱՆՈՎ**

**ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ԵՎ ՍՈՑԻԱԼԱԿԱՆ
ՀԱՐԱԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵԿՏՈՐԱՑԻՆ ՍՈՂԵԼՆԵՐԻ ԴԵՐՈՒԿՏԻՎ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Առաջարկվում է թվային սխեմաների տրամաբանական ֆունկցիաների միջև xor-հարաբերությունների մոդել, որն ընկնում է գրոյական տարածության մեջ, ինչը հնարավորություն է տալիս՝ լուծելու տեխնիկական արատորոշման, գեներատիվ մեքենայական ուսուցման, ինչպես նաև գործընթացների և երևույթների միջև նմանությունների ու տարբերությունների որոնման խնդիրները: Ներդրված է ձախողման վրա հիմնված $T \oplus F \oplus L = 0$ կառավարման մետրիկան, որը ձևավորում է հաշվարկների ստեղծման բոլոր հայտնի գործընթացները, ներառյալ նախագծումը և թեստավորումը, կիբերֆիզիկական և կիբերսոցիալական, ինչպես նաև ֆեդերատիվ և գեներատիվ մեքենայական ուսուցման հաշվարկները: Որոշվում են գործընթացների, երևույթների, ֆունկցիաների և կառուցվածքների սեղմ նկարագրության վեկտորային համապիտանի մոդելի առավելությունները: Առաջարկվում է սխալների մուտքային ցանկերի (տվյալների) տեղափոխման բանաձևերի սինթեզի վեկտոր-

դեդուկտիվ մեթոդ, որն ունի ռեգիստրային գործողությունների քառակուսային հաշվողական բարդություն: Առաջարկվում են գրաֆային-տրամաբանական մոդելներ, որոնք համարժեք կերպով նկարագրում են սոցիալական գործընթացներն ու երևույթները, ներառյալ ժողովրդավարության, բռնապետության և անարխիայի պայմաններում կառավարման տրամաբանությունը:

Առանցքային բառեր. տրամաբանության վեկտորային ձև, մատրից և աղյուսակ, կառուցվածքների անալիտիկ ձև, դեդուկտիվ-վեկտորային վերլուծության մեթոդ, թվային սխեմա, թերությունների և ֆունկցիաների վեկտորային մոդել, սոցիալական կառավարման տրամաբանություն:

**A.V. HAHANOVA, V. ABDULLAEV, V.I. HAHANOV, S.V. CHUMACHENKO,
E.I. LITVINOVA, I.V. HAHANOV**

DEDUCTIVE ANALYSIS OF VECTOR MODELS OF LOGICAL FUNCTIONS AND SOCIAL RELATIONS

A model of xor-relations between the logical functions of digital circuits is proposed that collapses into zero-space, which makes it possible to solve the problems of technical diagnostics, generative machine learning, search for similarities and differences between processes and phenomena. A metric of failure-driven management $T \oplus F \oplus L = 0$ is introduced, which formalizes all known processes for creating computing, including design and test, cyberphysical and cybersocial, as well as federative and generative ML-computing. The advantages of a universal vector model for a compact description of processes, phenomena, functions and structures are determined. A vector-deductive method for formula synthesis for transporting input lists (data) of faults is proposed, which has a quadratic computational complexity of register operations. Graph-logical models are proposed that adequately describe social processes and phenomena, including the logic of control under democracy, dictatorship and anarchy.

Keywords: vector form of logic, matrix and table, analytical form of structures, deductive-vector method of analysis, digital circuit, vector model of defects and functions, social control logic.

Մ.Գ. ԲԱԿՈՒՆՑ

ՌԵԼԻԵՖԱՅԻՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ԵՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ծրագիրը մշակելիս նպատակահարմար է դիտարկել ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման համար անհրաժեշտ այն պարամետրերը, որոնք գործնականում ավելի հաճախ են կիրառվում: Այս իմաստով ծրագրի մշակման համար ընտրում ենք ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման երկրաչափական ալգորիթմի երկու տարբերակներ, որոնք իրարից տարբերվում են նախապես առաջադրվող պարամետրերի բնույթով:

Առանցքային բառեր. պրոյեկտիվ արտապատկերում, ձևափոխություն, անիսկական կետեր, կոմպոզիցիա, կերպար, հարթություն, ճառագայթ, կրկնակի տարրեր:

Ներածություն: Այսօր դժվար է պատկերացնել նախագծման և արտադրության մի բնագավառ, որտեղ չօգտագործվեն համակարգչային գրաֆիկայի ձեռքբերումներն ու ժամանակակից հնարավորությունները, որոնք թույլ են տալիս անցնելու նախագծման համակարգերի, արտադրության տեխնոլոգիական նախապատրաստման և բուն արտադրության համատեղման նոր, հեռանկարային մեթոդաբանությանը՝ պարամետրերի և տվյալների միասնական բազայի հիման վրա, որի կենտրոնում նախագծվող և արտադրվող առարկայի երկրաչափական մոդելն է:

Եռաչափ գրաֆիկական մոդելավորման համակարգչային տեխնոլոգիան թույլ է տալիս ավտոմատացնել նաև մարդու գործունեությունն այնպիսի բնագավառում, որտեղ անհրաժեշտ է լինում ստեղծել եռաչափ իրականության ոչ թե հարթ գրաֆիկական մոդելը, այլ ռելիեֆային (ծավալային) կերպարը: Այդպիսի կերպարներից է ռելիեֆային հեռանկարը: Դա իրական բնօրինակի այնպիսի ծավալային կերպար է, որը տեղավորվում է տարածության այս կամ այն նեղ շերտում և նախօրոք ընտրված կետում գտնվող դիտորդի մեջ թողնում է նույն տպավորությունը, ինչ բնօրինակը:

Հարթության վրա տարածական եռաչափ օբյեկտների և դրանց երկրաչափական հատկությունների ճշգրիտ արտապատկերման տեսական հիմունքները մշակվում են գծագրական երկրաչափության տարբեր բաժիններում: Այդ բաժիններից մեկը կոչվում է հեռանկար, ըստ որի ուսումնասիրվում են եռաչափ օբյեկտների այնպիսի հարթ պատկերների (մոդելների) կառուցման երկրաչափական

օրինաչափությունները, որոնք ստացվում են կենտրոնական պրոյեկտման մեթոդով: Այս մեթոդով կառուցված պատկերներն անվանում են հեռանկար: Առարկայի հեռանկարը որոշակի մոտավորությամբ համապատասխանում է այն պատկերին, ինչը տեսնում է մարդու աչքը, այսինքն հեռանկարը ճիշտ է արտացոլում պատկերվող օբյեկտի չափերի և ձևի փոփոխությունները՝ կախված դիտողի նկատմամբ նրա գրաված դիրքից և հեռավորությունից: Սա բացատրվում է նրանով, որ մարդու տեսողության ապարատը երկրաչափական իմաստով աշխատում է այնպես, ինչպես կենտրոնական պրոյեկտման մեթոդը:

Հեռանկարային պատկերների կառուցման մեթոդների մասին ուսմունքը հիմնվում է օպտիկայի, տեսողական օրգանների անատոմիայի, ֆիզիոլոգիայի, ինչպես նաև երկրաչափության բնագավառներում ստացված գիտական օրինաչափությունների և տեղեկությունների վրա: Օրինակ, օպտիկան և տեսողական օրգանների անատոմիան ու ֆիզիոլոգիան մարդու տեսողական ընկալման գործընթացը մեկնաբանում են որպես լույսի ճառագայթի ազդեցություն աչքի ցանցաթաղանթի վրա:

Ալգորիթմի նկարագրությունը: Դիտարկենք ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման երկրաչափական ալգորիթմի երկու տարբերակ:

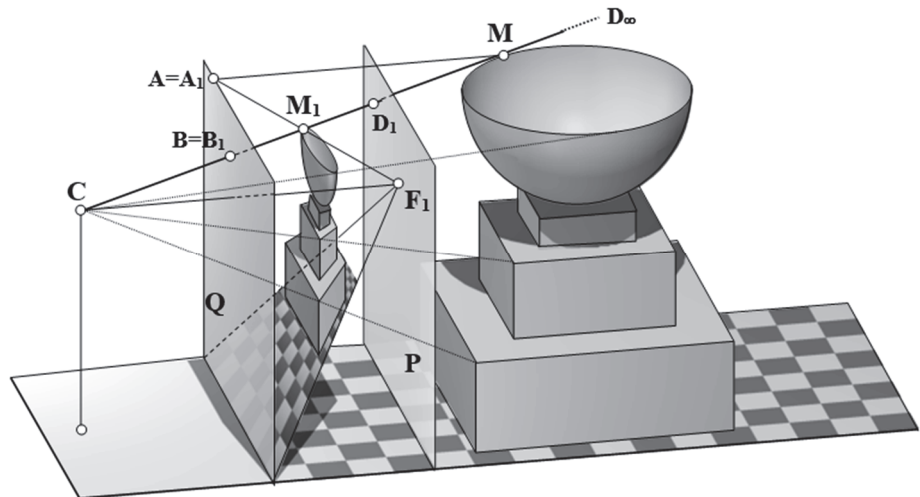
Տարբերակ I: Այս տարբերակի դեպքում առաջադրված են համարվում կերպարների տարածությունը սահմանափակող P և Q հարթությունները, ինչպես նաև՝ C դիտակետը: Այս տարբերակն ավելի հարմար է կիրառել բնապատկերների և ամբողջական դրվագների ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման ժամանակ, երբ անհրաժեշտ է ստանալ նաև հիմնական օբյեկտները շրջապատող ողջ միջավայրի կերպարը:

Ողջ միջավայրի (օբյեկտային տարածության) պատկերման դեպքում դիտակետին մոտ դասավորված Q հարթությունը կլինի ռելիեֆի առջևի պլանի հարթությունը, ուստի այդ հարթության կետերը համապատասխանում են իրենք իրենց, այսինքն Q -ն կլինի արտապատկերման կրկնակի հարթությունը: Իսկ P հարթությունը կլինի ռելիեֆի հետին պլանի (ֆոն) հարթությունը, կամ, ինչպես ասում են՝ հորիզոնի կերպարը, ուստի այդ հարթության կետերը պետք է հանդիսանան օբյեկտային տարածության անսահման հեռու (անիսկական) P_∞ հարթության կետերի (անիսկական կետերի) կերպարները:

Օբյեկտային տարածության մեջ դասավորված ցանկացած օբյեկտը, օբյեկտներով կազմված կոմպոզիցիան, ինչպես նաև դրանց շրջապատող միջավայրը երկրաչափական տեսանկյունից դիտվում են իբրև կետերի բազմություններ: Ուստի ծրագրի մշակման համար մեզ բավական է կիրառել տարածության մեկ ընթացիկ (փոփոխական պարամետրերով որոշվող) կետի ռելիեֆային հեռանկարի կառուցման ալգորիթմը:

Ալգորիթմի էությունը հետևյալն է: Կամայական կետը դիտարկում ենք որպես երկու այնպիսի ճառագայթների հատման կետ, որոնցից մեկը դասավորվում է դիտակետով անցնող ուղղի վրա, իսկ մյուսն ուղղահայաց է P և Q հարթություններին: Ակնհայտ է, որ այս ճառագայթների կերպարների հատման կետն էլ կլինի դիտարկվող կետի կերպարը:

Ալգորիթմը պարզաբանենք նկ.1 - ում բերված օրինակով, որտեղ կառուցված է օբյեկտի M կետի M_1 կերպարը: Կառուցման համար M կետով տարված են երկու ճառագայթներ՝ BD_∞ , որը դասավորված է C դիտակետով անցնող ուղղի վրա, նաև՝ AM , որն ուղղահայաց է կերպարների տարածությունը սահմանափակող P և Q հարթություններին: Այս ճառագայթների B_1D_1 և A_1F_1 կերպարների (հատվածների) հատման կետն էլ ակնհայտորեն կլինի M կետի որոնելի M_1 կերպարը:



Նկ.1. Օբյեկտի կետի կերպարի կառուցումը

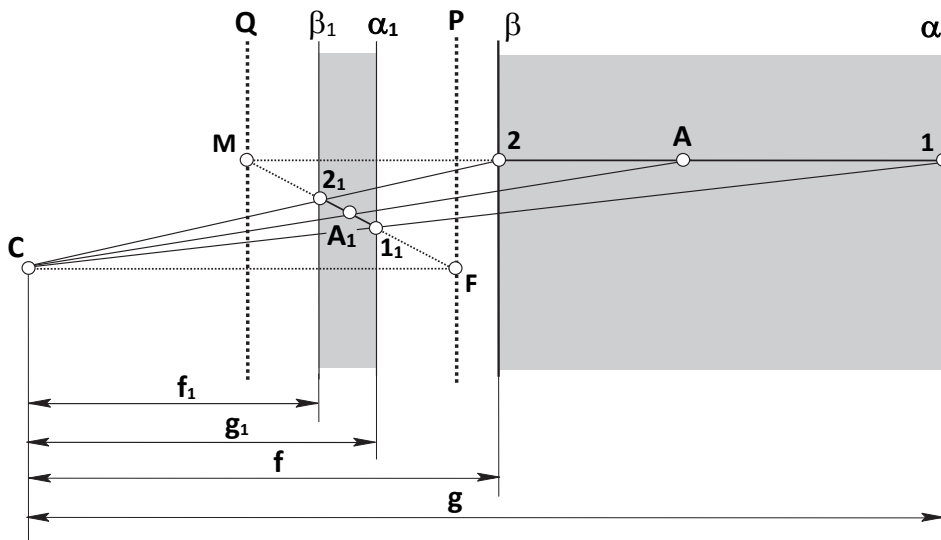
Ալգորիթմում, բացի դիտակետով անցնող ուղիղներից, օգտագործվում է նաև ռելիեֆային հեռանկարի սահմանային հարթությանն ուղղահայաց ճառագայթների բազմությունը: Ճառագայթների կերպարները ռելիեֆային հեռանկարի գլխավոր F_1 կետում հավաքվող հատվածներն են [1-3]:

Տարբերակ II: Այս տարբերակի դեպքում առաջադրվում են օբյեկտային տարածության կամայական երկու զուգահեռ հարթությունները և դրանց կերպարները (նույնպես զուգահեռ հարթություններ), ինչպես նաև՝ C դիտակետը: Այս տարբերակն ավելի հարմար է կիրառել բարելիեֆների և գորելիեֆների կառուցման ժամանակ, երբ անհրաժեշտ է լինում նախապես ընտրել բնօրինակ-օբյեկտի այն մասը (երկու հարթություններով սահմանափակված), որը ռելիեֆային

հեռանկարի կառուցման արդյունքում պետք է պատկերվի որպես կերպար, որի սահմանները (երկու զուգահեռ հարթությունները) նույնպես առաջադրվում են նախապես:

Առաջադրման այս տարբերակի դեպքում տարածության տրված մասում դասավորված կամայական կետի ռելիեֆային հեռանկարը կառուցվում է հետևյալ ալգորիթմով.

Տրված են օբյեկտային տարածության α և β հարթությունները, որոնց միջև ընկած տարածությունը ենթակա է արտապատկերման: Տրված են նաև α_1 և β_1 հարթությունները, որոնց միջև պետք է դասավորվի կառուցվող ռելիեֆային հեռանկարը: Նկ. 2 - ում պատկերված է այս բոլոր տարրերի տեսքը վերևից (հորիզոնական պրոյեկցիան): Որպես ելակետային տվյալներ են հանդիսանում վերոհիշյալ հարթությունների հեռավորությունները C դիտակետից (g, g_1, f, f_1):



Նկ. 2. Կետի ռելիեֆային հեռանկարի կառուցումը

Տրված α և β հարթությունների միջև դասավորված կամայական A կետի ռելիեֆային հեռանկարը կարելի է կառուցել հետևյալ ալգորիթմով (նկ. 2):

A կետով տանենք տրված հարթություններին ուղղահայաց 12 հատվածը: Այդ հատվածի ծայրակետերի կերպարները, ըստ լուծվող խնդրի պայմանների, պետք է դասավորվեն α_1 և β_1 հարթությունների մեջ: Մյուս կողմից՝ այդ կերպարները իրենց համապատասխան բնօրինակների հետ միասին պետք է դասավորվեն C դիտակետով անցնող ճառագայթների վրա: Հետևաբար, 1_1 կերպարը կորոշվի իբրև C_1 ճառագայթի և α_1 հարթության հատման կետ: Նման ձևով՝ 2_1 կերպարը կորոշվի իբրև C_2 ճառագայթի և β_1 հարթության հատման կետ:

Ակնհայտ է, որ որոնելի A_1 կերպարը, այսինքն A կետի ռելիեֆային հեռանկարը պետք է փնտրել 1_12_1 հատվածի վրա: Բայց քանի որ A և A_1 կետերը նույնպես պետք է դասավորվեն դիտակետով անցնող ճառագայթի վրա, ուստի A_1 կերպարը կորրոշվի որպես 1_12_1 հատվածի և CA ճառագայթի հատման կետ:

Դիտարկված այս ալգորիթից հեշտությամբ կարելի է անցնել նախորդ ալգորիթին: Դրա համար բավական է, օգտագործելով ստացված կերպարները, ստանալ կերպարների տարածությունը սահմանափակող Q և P հարթությունների դիրքը:

Քանի որ ունենք 12 հատվածը և նրա 1_12_1 կերպարը, որոնք դասավորված են միևնույն հարթության մեջ, ապա պարզ է, որ նրանց հատման M կետը կլինի արտապատկերման կրկնակի կետերից մեկը, ուստի և կպատկանի կրկնակի (անշարժ) կետերի Q հարթությանը: Ուրեմն Q հարթությունը կանցնի M կետով և կլինի զուգահեռ տրված հարթություններին: Մյուս կողմից, քանի որ 12 հատվածը ուղղահայաց է Q հարթությանը, ապա նրա 1_12_1 կերպարի հավաքման կետը, ինչպես արդեն գիտենք, ռելիեֆային հեռանկարի գլխավոր կետն է:

Այսպիսով, C դիտակետով անցնող գլխավոր ճառագայթի (ուղղահայաց Q հարթությանը) և 1_12_1 ուղղի հատման կետը կլինի տվյալ ռելիեֆային հեռանկարի գլխավոր F կետը: Իսկ այդ գլխավոր կետով անցնող և Q հարթությանը զուգահեռ հարթությունն էլ կլինի ռելիեֆային հեռանկարի սահմանային P հարթությունը [4-6]:

Եզրակացություն: Այսպիսով, կարելի է կամայական կետ դիտարկել որպես երկու այնպիսի ճառագայթների հատման կետ, որոնցից մեկը դասավորվում է դիտակետով անցնող ուղղի վրա, իսկ մյուսն ուղղահայաց է երկու իրար զուգահեռ հարթություններին: Այս դեպքում ճառագայթների կերպարների հատման կետն էլ կհանդիսանա դիտարկվող կետի կերպարը:

Ծրագիրը մշակելիս կարելի է ալգորիթի մի տարբերակից անցում կատարել մյուսին՝ կոորդինատների պարզ ձևափոխության միջոցով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Согомонян К.А.** Линейно-конструктивные методы формообразования (геометрическое моделирование). – Ереван: Айастан, 1990. – 214 с.
2. **Глаголев Н.А.** Проективная геометрия. – М.: Высшая школа, 1963. – 268с.
3. **Джапаридзе И.С.** Конструктивные отображения проективных преобразований пространства. – Тбилиси: Изд-во ГПИ, 1964. – 327 с.
4. **Берже М.** Геометрия: Пер. с франц. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. - 560 с.
5. **Берже М.** Геометрия: Пер. с франц. – М.: Мир, 1984. – Т. 2. - 368 с.

6. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия: Методы и приложения. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 760 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.06.2022:

М.Г. БАКУНЦ

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ

При разработке программы целесообразно учитывать параметры, необходимые для построения рельефной перспективы, которые часто используются на практике. С этой целью выбраны два варианта геометрического алгоритма построения рельефной перспективы, отличающиеся друг от друга характером заданных параметров.

Ключевые слова: проективное изображение, преобразование, несобственные точки, композиция, образ, плоскость, луч, двойные элементы.

M.G. BAKUNTS

DEVELOPING A GEOMETRIC ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A RELIEF PROSPECT

When developing a program, it is advisable to consider the parameters required to construct a relief perspective, which are often used in practice. In this sense, two variants of the geometric algorithm for the construction of the relief perspective are chosen, which differ from each other in the nature of the pre-set parameters.

Keywords: projective reflection, transformation, pointless points, composition, image, plane, ray, point of view, double elements.

А.Ж. ХАЧАТРЯН, К.А. ТОРЧЯН, А.Ф. ПАРСАМЯН, В.Н. АГАБЕКЯН
КВАЗИТОЧНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ

Рассматривается задача приближенного волнового поля в так называемых ближней, средней и дальней зонах наблюдения. Показана возможность введения более точного, по сравнению с приближением Френеля, так называемого квазиточного приближения. Для задачи интерференции получено распределение интенсивности в ближней зоне наблюдения, а также в приближениях Френеля и Фраунгофера. Показано, что положения максимумов интенсивности в ближней зоне наблюдения определяются кубическим уравнением.

Ключевые слова: суперпозиционное поле, приближенное описание, интерференционная картина, ближняя зона наблюдения.

Введение. Как известно, одной из центральных проблем теории волн является задача описания волнового поля в областях, далеких от генерирующих, переизлучающих или поглощающих данное поле источников и поверхностей [1, 2]. Обычно в предположении, что влияние генерированного поля на процесс генерации волн источниками мало, данную задачу в теории волн называют дифракционной. В общем случае решение дифракционной задачи представляет собой трудную математическую проблему, которую даже в приближенном виде, как правило, приходится выполнять численно [3-13]. Наиболее известными методами приближенного рассмотрения дифрагированного поля являются так называемые картины Френеля и Фраунгофера.

Обоснованность применения того или иного приближения обычно комментируется близостью или удаленностью области наблюдения от месторасположения источников и влияющих на распространение волн поверхностей. Вместе с тем хорошо известно, что такой комментарий обязательно должен быть в связке с длиной волны излучения. Т.е. если для одной длины волны данная дистанция наблюдения попадает, например, в среднюю зону наблюдения, где может быть применено приближение Френеля, то та же самая дистанция для другого значения длины волны может попасть, например, уже в ближнюю зону. Поэтому, в свете сказанного, в теории дифракции, помимо пространственных параметров задачи, вводится также еще один дополни-

тельный, так называемый волновой параметр. Помимо накладываемых на пространственные параметры задачи ограничений, условие применимости приближенного описания поля обосновывается также ограничением, накладываемым на значения волнового параметра. В последующем на основе данных значений волнового параметра вводятся понятия ближней, средней и дальней волновых зон наблюдения.

В рамках данной работы для описания волнового поля нами рассматривается возможность введения более точного, по сравнению с приближениями Френеля и Фраунгофера, так называемого квазиточного приближения. На основе задачи приближенного описания поля сферической волны показано, что частным случаем квазиточного приближения является приближение Френеля. В свою очередь, приближение Фраунгофера является частным случаем приближения Френеля. В рамках квазиточного приближения нами также рассматривается задача интерференции для двух источников.

Продольные и поперечные пространственные параметры для описания сферического поля. Пусть расположение источника и точки наблюдения указываются исходящими из точки O векторами $\vec{r}$ и $\vec{R}$ (см. рис. 1). Тогда, как известно, для случая гармонического поля в точке наблюдения волновое поле описывается выражением

$$U(\vec{R}, t) = a \cdot \cos \left[\omega t - k \left| \vec{R} - \vec{r} \right| \right] / \left| \vec{R} - \vec{r} \right|, \quad (1)$$

где a - амплитуда, а ω и k - частота и волновое число волны.

Предположим, что наблюдения волнового поля (1) проводятся в окрестностях некоторой точки O' , положение которой задается исходящим из точки O вектором $\vec{R}_0$. Далее направление вектора $\vec{R}_0$ будем называть главным направлением наблюдения, $R_0 = \left| \vec{R}_0 \right|$ - основной дистанцией наблюдения, а точку O' - центральной точкой наблюдения. Пусть положение точки наблюдения указывается исходящим из точки O' вектором $\Delta \vec{R}$. Тогда, как видно из рис. 1, выполняется следующее векторное соотношение:

$$\vec{R} = \vec{R}_0 + \Delta \vec{R}. \quad (2)$$

Следуя работам [13, 14], введем перпендикулярный и параллельный к вектору $\vec{R}_0$ вектора $\vec{R}_\perp$ и $\vec{R}_\parallel$ (см. рис. 1):

$$\vec{R} - \vec{r} = \vec{R}_0 + \Delta \vec{R} - \vec{r} = \vec{R}_\perp + \vec{R}_\parallel. \quad (3)$$

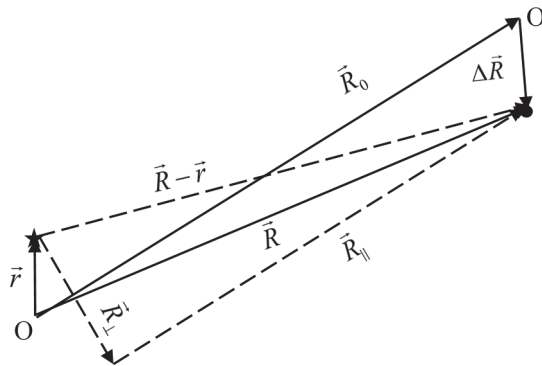


Рис. 1. Продольные и поперечные пространственные параметры для задачи приближенного описания сферического поля

Далее величины $\vec{R}_\perp, \vec{R}_\parallel$ будем называть поперечным и продольным векторами наблюдения, а их модули $R_\perp = |\vec{R}_\perp|$, $R_\parallel = |\vec{R}_\parallel|$ - поперечной и продольной дистанциями наблюдения.

Пользуясь равенствами (3), запишем волновое поле (1) в следующем виде:

$$U(\vec{R}, t) = a \cos \left[\omega t - k \sqrt{R_\parallel^2 + R_\perp^2} \right] / \sqrt{R_\parallel^2 + R_\perp^2}. \quad (4)$$

Рассматривая разложения данного выражения по степеням отношения $(R_\perp / R_\parallel)^2$, можно показать, что при выполнении условий

$$(R_\perp / R_\parallel)^2 \ll 1 \text{ и } R_\perp^2 k / R_\parallel \gg 2\pi \quad (5)$$

волновое поле точечного источника (4) может быть представлено выражением

$$U(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_\parallel} \cos \left[\omega t - k \cdot \left(R_\parallel + \frac{R_\perp^2}{2R_\parallel} - \frac{R_\perp^4}{8R_\parallel^3} \right) \right]. \quad (6)$$

Представление сферического поля в виде (6) целесообразно называть квазиточным приближением, или приближением ближней зоны наблюдения.

При условиях

$$(R_\perp / R_\parallel)^2 \ll 1 \text{ и } R_\perp^2 k / R_\parallel \sim 2\pi \quad (7)$$

для волнового поля (4) применимо следующее выражение:

$$U(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_{\parallel}} \cos \left[\omega t - k \cdot \left(R_{\parallel} + \frac{R_{\perp}^2}{2R_{\parallel}} \right) \right]. \quad (8)$$

Данное выражение соответствует сферическому полю в приближении Френеля, или приближению в средней зоне наблюдения. Заметим, что из двух условий (7) непосредственным образом следует, что (см. (6))

$$R_{\perp}^4 k / R_{\parallel}^3 \ll 2\pi. \quad (9)$$

В приближенной картине Фраунгофера, или в приближении дальнего поля, когда

$$(R_{\perp} / R_{\parallel})^2 \ll 1 \text{ и } R_{\perp}^2 k / R_{\parallel} \ll 2\pi, \quad (10)$$

волновое поле записывается в виде

$$U(\vec{R}, t) = a \cos \left[\omega t - k \cdot R_{\parallel} \right] / R_{\parallel}. \quad (11)$$

Согласно формуле (11), волновое поле в приближении Фраунгофера, в отличие от квазитонового приближения и приближения Френеля (см. (6) и (8)), зависит только лишь от продольной дистанции наблюдения.

Эквифазные поверхности в приближенных описаниях. Как видно из формул (5) - (11), а также из рис. 2, во всех вышеотмеченных приближениях картины поля условие малости отношений квадратов поперечной и продольной дистанций наблюдения является необходимым. Далее величину

$$\tau = (R_{\perp} / R_{\parallel})^2 \quad (12)$$

будем называть отношением наблюдения. Одновременно с этим необходимо заметить, что применимость того или иного приближения определяется значением величины

$$\sigma = R_{\perp}^2 k / R_{\parallel}. \quad (13)$$

В теории дифракции данная величина является хорошо известной, и она называется волновым параметром [1, 2].

Легко заметить, что значение волнового параметра зависит как от продольной дистанции наблюдения, так и от значения поперечной дистанции наблюдения. Следовательно, выполнение второго условия для каждого из приближений может быть обеспечено изменением как $R_{\parallel}$, так и $R_{\perp}$. Как

правило, при фиксированном значении $R_{\perp}$, когда изменение значения величины σ обусловлено изменением продольной дистанции наблюдения $R_{\parallel}$, приближенный подход называют приближением по зоне наблюдения. Если наблюдения проводятся при фиксированном значении $R_{\parallel}$, а изменения значения σ связываются с изменением $R_{\perp}$, то обычно говорят о приближении по полю.

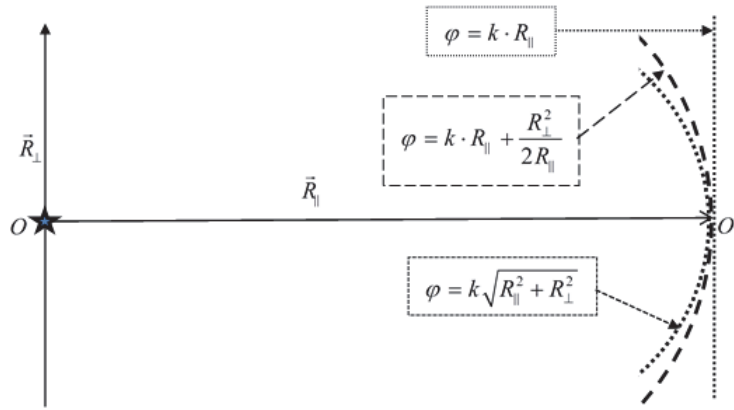


Рис. 2. Эквифазные поверхности: точный вид, вид в картине Френеля и вид в картине Фраунгофера

Как легко увидеть из соотношений (3), если $|\vec{R}_0| \gg |\Delta \vec{R}|$ и $|\vec{R}_0| \gg |\vec{r}|$, то для величин (12), (13) и амплитуды поля применима также запись

$$\tau = \left(\frac{R_{\perp}}{R_0} \right)^2, \quad \sigma = \frac{R_{\perp}^2}{R_0} k \quad \text{и} \quad \frac{a}{R_{\parallel}} = \frac{a}{R_0}, \quad (14)$$

т.е. роль продольной дистанции наблюдения фактически определяется основной дистанцией наблюдения. В соответствии с (14) выражения для сферического волнового поля в квазиточном приближении (6), а также в приближениях Френеля (8) и Фраунгофера (11) примут вид

$$U(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_0} \cos \left[\omega t - k \cdot R_{\parallel} - k \cdot \sigma + \frac{R_{\perp}^2}{8R_0^2} \cdot \sigma \right], \quad (15)$$

$$U(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_0} \cos \left[\omega t - k \cdot R_{\parallel} - k \cdot \sigma \right], \quad (16)$$

$$U(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_0} \cos[\omega t - k \cdot R_{\parallel}]. \quad (17)$$

На плоскости $R_{\perp}$, $R_{\parallel}$ рис. 2 изображены три вида эквивалентной поверхности сферической волны: ее точный вид $k\sqrt{R_{\parallel}^2 + R_{\perp}^2}$ (см. (4)), ее вид в картине Френеля $k \cdot (R_{\parallel} + R_{\perp}^2 / (2R_{\parallel}))$ (см. (8)) и ее вид в картине Фраунгофера $k \cdot R_{\parallel}$ (см. (11)); звездочкой указано положение источника. Для удобства источник был помещен в начальной точке O . Как видно из рисунка, в картине Френеля сферическая волна аппроксимируется параболической волной, которая, в свою очередь, в картине Фраунгофера аппроксимируется плоской волной. Из рисунка также следует, что чем ближе точка наблюдения к центральной точке наблюдения O' , тем более адекватным становится приближенное описание поля. В пределах малого участка плоскости наблюдения, включающего в себя точку O' , все три поверхности, а именно - сфера, параболическая и плоскость, представляются почти неразличимыми. Их различие проявляется по мере удаления от точки O' . Ясно также, что при больших отклонениях точки наблюдения от точки O' параболическая поверхность по своему топологическому виду более близка к сфере, нежели плоская поверхность.

Интерференционная картина в ближнем поле. Применим представленные выше результаты к классической задаче интерференции полей двух источников сферических волн (см. рис. 3):

$$U(\vec{R}, t) = U_1(\vec{R}, t) + U_2(\vec{R}, t), \quad (18)$$

$$U_j(\vec{R}, t) = a \cos\left[\omega t - k|\vec{R} - \vec{r}_j|\right] / |\vec{R} - \vec{r}_j|, \quad (19)$$

где $\vec{r}_j$ ($j=1,2$) являются векторами, определяющими положения источников. В случае приближенного описания суперпозиционного поля (18) для сферических полей (19) будем рассматривать поперечные и продольные вектора наблюдения $\vec{R}_j^{\perp}$ и $\vec{R}_j^{\parallel}$ (см. (4)):

$$U_j(\vec{R}, t) = a \cos\left[\omega t - k\sqrt{(R_j^{\parallel})^2 + (R_j^{\perp})^2}\right] / \sqrt{(R_j^{\parallel})^2 + (R_j^{\perp})^2}. \quad (20)$$

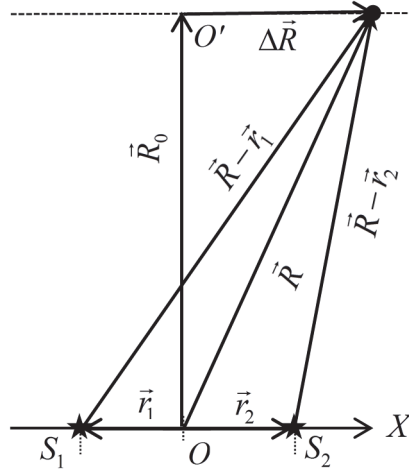


Рис. 3. Схема интерференционного опыта

Как известно, в классическом виде задача интерференции рассматривается в приближении Френеля (см. (8)), т.е. описание поля дается в средней зоне наблюдения, причем за направление наблюдения выбирается прямая, перпендикулярная оси, проходящей сквозь источники (см. ниже, а также в [9]). Вместе с тем определенный интерес представляет рассмотрение интерференционной картины в ближней зоне наблюдения, которой, как было указано выше, соответствует так называемое квазиточное приближение (см. (6)).

Пусть начальная точка проходящей сквозь источники оси X расположена посередине между источниками S_1 и S_2 (см. рис. 3). Тогда, обозначая расстояние между источниками посредством d , для векторов $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$, определяющих положение источников, можем написать

$$\vec{r}_1 = -d \cdot \vec{i} / 2 \text{ и } \vec{r}_2 = d \cdot \vec{i} / 2. \quad (21)$$

На рис. 2 показан также исходящий из центральной точки наблюдения O' вектор $\Delta \vec{R}$. Предполагая, что он параллелен оси X , а также учитывая (21), для поперечных и продольных дистанций наблюдения (см. (20)) можем написать

$$\vec{R}_1^\perp = (\rho + d/2) \cdot \vec{i}, \quad \vec{R}_2^\perp = (\rho - d/2) \cdot \vec{i}, \quad \vec{R}_1^\parallel = \vec{R}_2^\parallel = \vec{R}_0, \quad (22)$$

где $\Delta \vec{R} = \rho \cdot \vec{i}$. В соответствии с формулами (14), (22) для каждого из источников будем также рассматривать параметры отношения наблюдения и волновой параметр:

$$\tau_1 = \frac{(\rho + d/2)^2}{R_0^2}, \quad \tau_2 = \frac{(\rho - d/2)^2}{R_0^2}, \quad (23)$$

$$\sigma_1 = \frac{(\rho + d/2)^2}{R_0} k, \quad \sigma_2 = \frac{(\rho - d/2)^2}{R_0} k. \quad (24)$$

С целью применения квазитоного приближения (см. (5)) для интерференционного опыта должны быть выполнены следующие условия:

$$\tau_{1,2} \ll 1 \text{ и } \sigma_{1,2} \gg 2\pi. \quad (25)$$

В этом случае, согласно (15), волновые поля источников (20) примут вид

$$U_1(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_0} \cos \left[\omega t - k \cdot R_0 - k \cdot \sigma_1 + \frac{(\rho + d/2)^2}{8R_0^2} \cdot \sigma_1 \right], \quad (26)$$

$$U_2(\vec{R}, t) = \frac{a}{R_0} \cos \left[\omega t - k \cdot R_0 - k \cdot \sigma_2 + \frac{(\rho - d/2)^2}{8R_0^2} \cdot \sigma_2 \right]. \quad (27)$$

Далее рассмотрим интенсивность волнового поля:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T U^2(\vec{R}, t) dt, \quad (28)$$

где $T = 2\pi / \omega$ - период колебаний. Используя (18), (26) и (27), можно показать, что

$$I = \left(\frac{a}{R_0} \right)^2 \left(1 + \cos \left[\frac{d \cdot \rho}{R_0} k - \frac{d \cdot \rho}{R_0} k \cdot \frac{(d^2 + 4\rho^2)}{8 \cdot R_0^2} \right] \right). \quad (29)$$

Полученный результат может быть также назван квазитоным выражением для распределения интенсивности в интерференционном опыте.

Как легко увидеть из выражения (29), при условии

$$d \cdot \rho \cdot k / R_0 \sim 2\pi \quad (30)$$

интенсивность поля принимает вид

$$I = \left(\frac{a}{R_0} \right)^2 \left(1 + \cos \left[\frac{d \cdot \rho}{R_0} k \right] \right). \quad (31)$$

Заметим, что согласно первому условию (25), а также (23):

$$(d^2 + 4\rho^2)/R_0^2 \ll 1. \quad (32)$$

Выражение (31) есть не что иное, как интенсивность интерференционного опыта в картине Френеля (см., например, [14]). При условии, когда

$$d \cdot \rho \cdot k / R_0 \ll 2\pi, \quad (33)$$

из формулы (31) следует выражение для интенсивности поля в картине Фраунгофера:

$$I = 2 \left(\frac{a}{R_0} \right)^2. \quad (34)$$

На рис. 4 приведены распределения приведенной интенсивности $J_2(\rho) = I / 2 \left(a / R_0 \right)^2$ в квазиточном приближении (сплошная линия) и в приближении Френеля (пунктирная линия) для четырех различных значений $R_0 = 0,5 \text{ m}$; 1 m ; $1,5 \text{ m}$ и 2 m , когда $\lambda = 0,64 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ и $d = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

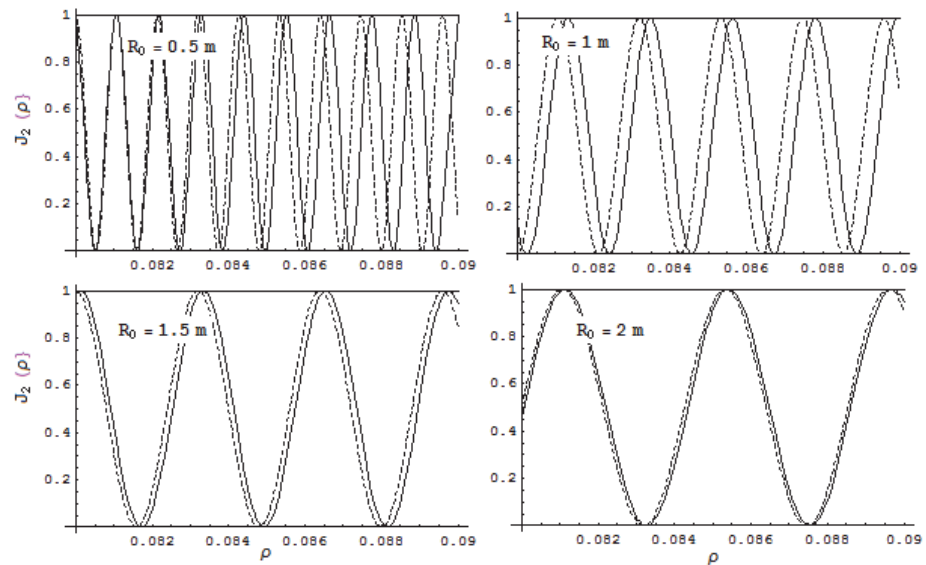


Рис. 4. Распределения приведенной интенсивности $J_2(\rho)$ в квазиточном приближении (сплошная линия) и в приближении Френеля (пунктирная линия) для четырех различных значений: $R_0 = 0,5 \text{ m}$; 1 m ; $1,5 \text{ m}$ и 2 m , когда $0,08 \text{ m} \leq \rho \ll 0,09 \text{ m}$

Как видно из представленных графиков, при увеличении значения R_0 разность между квазиточным приближением и приближением Френеля стирается. Из рисунков также следует, что при более точном, по сравнению с приближением Френеля, рассмотрении положения максимумов интенсивности получаются более отдалёнными от центральной точки наблюдения. Заметим также, что аperiодическое распределение точек максимумов интенсивности проявляется при малых значениях R_0 .

Заключение. Таким образом, в рамках настоящей работы на примере задачи интерференции волновых полей от двух точечных источников показана возможность введения более точного, по сравнению с картинами Френеля и Фраунгофера, приближенного описания суперпозиционного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борн М., Вольф Э.** Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
2. **Горелик Г.С.** Колебания и волны. – М.: Физматлит, 2007. – 656 с.
3. Resonant properties of composite structures consisting of several resonant diffraction gratings / **L.L. Doskolovich, E.A. Bezus, D.A. Bykov, et al** // Optics Express. -2019. -V. 27. – P. 25814-25828.
4. **Gordon R.** Near-field interference in a double slit in a perfect conductor// J. Opt. A: Pure Appl. Opt. -2006. –V. 8. –P. L1-L3.
5. **Castaneda R., Toro W., Garcia-Sucerquia J.** Evaluation of the limits of application for numerical diffraction methods based on basic optics concepts// Optik. – 2015.- V. 126.- P. 5963-5970.
6. **Doskolovich L.L., Kazansky N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A.** A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas// Journal of Modern Optics.- 1996.-V.43.- P. 1423-1433.
7. **Popescu G., Ikeda T., Dasari R.R., Feld M.S.** Diffraction phase microscopy for quantifying cell structure and dynamics// Opt. Lett. –2006.-V. 31.-P. 775–777.
8. **Zhang W., Zhang H., Sheppard C.J.R., Jin G.** Analysis of numerical diffraction calculation methods: from the perspective of phase space optics and the sampling theorem// J. Opt. Soc. Am. A. – 2020. -V. 37.- P. 1748–1766.
9. **Zhang W., Zhang H., Jin G.** Frequency sampling strategy for numerical diffraction calculations// Optics Express. - 2020. - V. 28.- P. 39916-39932.
10. **Крысанов Д.В., Кюркчан А.Г., Маненков С.А.** Два подхода к решению задачи дифракции на сфере Януса// Акустический журнал.- 2021.- Т. 67. – С. 126-137.
11. **Wang P., Xu Yu, Wang W., Wang Zh.** Analytic expression for Fresnel diffraction// J. Opt. Soc. Am. A.- 1998.-V. 15.-P. 684–688.
12. **Couder Y., Fort E.** Single-particle diffraction and interference at a macroscopic scale// Rev. Lett. -2006.- V. 97.- P. 154101.

13. **Khachatryan A.Zh.** To the problem of description of the wave field radiating by a system of point coherently sources// J. Contemp. Phys.- 2021.- V. 56.- P. 313–323.
14. **Khachatryan A.Zh., Panosyan Zh. R., Khachatyan Zh. B.** About the path sum in the interference pattern of a wave field generated by two coherent point sources// Optik.- 2021.-V. 245.- P. 167682.

Национальный политехнический университет Армении; Институт прикладных проблем физики НАН РА. Материал поступил в редакцию 04.07.2022.

Ա.Ժ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Կ.Ա. ԹՈՐՉՅԱՆ, Ա. Փ. ՊԱՐՍԱՄՅԱՆ, Վ.Ն. ԱՂԱԲԵԿՅԱՆ

ԱՆԻՔՍԻՆ ԴԱՇՏԻ ՔՎԱԶԻՃՇԳՐԻՏ ՄՈՏԱՐԱԿՈՒՄԸ

Դիտարկված է ալիքային դաշտի մոտավոր նկարագրման խնդիրը, այսպես կոչված, հարակից, միջին և հեռու դիտման գոտիներում: Ցույց է տրված Ֆրենելի մոտավորության նկատմամբ ավելի ճշգրիտ, այսպես կոչված, քվադի ճշգրիտ մոտավորության ներմուծման հնարավորությունը: Ինտերֆերենցիայի խնդրի համար ստացվել է ինտենսիվության բաշխվածությունը դիտման հարակից գոտում, ինչպես նաև Ֆրենելի և Ֆրանգոֆերի պատկերները: Ցույց է տրվել, որ հարակից գոտում ինտենսիվության մաքսիմումները որոշվում են խորանարդային հավասարումով:

Առանցքային բառեր. դաշտերի վերադրում, մոտավոր նկարագրում, ինտերֆերենցիոն պատկեր, դիտման հարակից գոտի:

**A. Zh. KHACHATRYAN, K.A. TORCHYAN, A.F. PARSAMYAN,
V.N. AGHABEKYAN**

QUASITIVE APPROXIMATION FOR DESCRIBING OF THE WAVE FIELD

The problem of an approximate wave field in the so-called near, middle and far zones of observation is considered. The possibility of introducing a more accurate than the Fresnel approximation, the so-called quasi-exact approximation, is indicated. For the interference problem, the intensity distribution is obtained in the near field of observation, as well as in the Fresnel and Fraunhofer approximations. It is shown that the positions of intensity maxima in the near zone of observation are determined by a cubic equation.

Keywords: superposition field, approximate description, interference pattern, near zone of observation.

H.A. BABAJANYAN

THE OUTPUT NOISE REDUCTION OF A FLASH ANALOG-DIGITAL CONVERTER

A new approach to reducing output noises in the Flash analog-digital converter (ADC) is presented. A type of ADC with the least amount of noise is Flash ADC, but it also needs to have noises as less as possible. By using this method in 32nm technology, the area of the circuit increases by 72% and the noise error decreases by 63%. This method is very preferable to use for high bit Flash ADC circuits, as the latter have many logic cells in the Encoder. Switching inputs of those cells leads to high noises in the output.

Keywords: ADC, comparator, encoder, current mirror.

Introduction. ADC is a system that converts an analog signal, such as a sound picked up by a microphone or light entering a digital camera, into a digital signal. Typically, the digital output is a two complement binary number that is proportional to the input. The performance of an ADC is primarily characterized by its bandwidth and signal-to-noise ratio (SNR). The bandwidth of an ADC is characterized primarily by its sampling rate. Analog to digital conversion is shown in Fig.1.

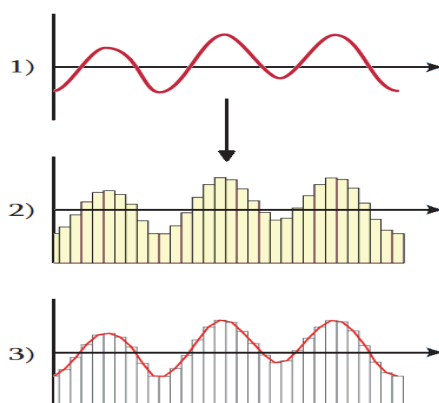


Fig.1. Conversion of analog signal to digital (1 - analog signal, 2 - digital signal, 3 - combination of analog and digital signals)

While analogue signals can be continuous and provide an infinite number of different voltage values, digital circuits on the other hand, work with a binary signal

which has only two discrete states, a logic “1” (HIGH) or a logic “0” (LOW). So it is necessary to have an electronic circuit which can convert between the two different domains of continuously changing analogue signals and discrete digital signals, and this is where Analogue-to-Digital Converters (A/D) come in.

Literature review. There are several methods for reducing noises in the output of ADC. There are global methods and also methods for specific ADC circuits. For example, in [1] the presented method reduces the input noises by digital averaging. It is done using two measurements or even 16, as soon as enough noise is added to the input signal. The more noise present at the input, the more averaging is required to achieve the same result.

In [2], a method bringing out the contributing factors to noise is used. It suggests techniques to minimize the noise in an ADC circuit and presents the salient parameters of a working high speed ADC circuit incorporating techniques. For a given ADC, theoretically, a given signal to the noise ratio (SNR) and the dynamic range can be realised.

In [3], three types of noise filtering are presented. They are analog, digital and both. White noise underneath a strong enough signal can be averaged out by oversampling, moving averages or other techniques, while taking advantage of statistical randomness. Spurious signals in the bandwidth of the signal of interest need to be resolved close to their source; otherwise, an A/D converter just digitizes and mixes them with the signal of interest. Harmonics can be dampened by filtering an A/D converter, undoing some of the effects of nonlinearity.

In [4], advantages and disadvantages of noise filtering are presented. Converting analog sensor signals to the digital domain is a standard practice with wearable patient monitoring equipment. However, designers must be aware that these applications depend on a system that produces reliable, repeatable results, albeit in their noisy environments. Noise filtering techniques are a critical portion of the solution circuit.

In [5], a noise reducing device that includes an acoustic-to-electric conversion section for collecting noise and outputting an analog noise signal; an analog-to-digital conversion section for converting the analog noise signal into a digital noise signal; a digital processing section for generating a digital noise reducing signal on a basis of the digital noise signal and a desired parameter is presented.

In [6], an effective way to remove noise is by using a low-pass (anti-aliasing) filter prior to the ADC is introduced. Including by-pass capacitors and using a ground plane will also eliminate this type of noise. A third source of noise is the radiated noise. The major sources of this type of noise are Electromagnetic Interference (EMI) or capacitive coupling of signals from trace-to-trace.

In [7], three types of noise reduction in ADC are presented. The first is a lower-noise reference. One of the most obvious ways to reduce the level of reference noise entering a system is to choose a voltage reference with less noise. The second is increasing the reference voltage. Another method to potentially reduce the effects of reference noise is to increase the reference voltage, as this affects the change in the percent of utilization. For example, doubling the reference voltage decreases the percent of utilization by a factor of 2. The third is reducing the system ENBW. The third option to reduce the amount of reference noise passed into the system is to limit the overall ENBW. One way to limit ENBW is by reducing the antialiasing, or the reference filter cutoff frequencies.

The proposed Flash-ADC. Flash ADC is the simplest type of ADCs and it has the lowest noises compared with other ADCs, but the more inputs and outputs it has, the bigger noises it has got in the outputs, because there are many switching cells in the circuit with an input voltage change. For example, in a *256-bit* Flash ADC, the output noises can be very big, because at the main input voltage change, there are many cells, whose inputs will be changed at the same time and it will lead to big noises in the output. So, here, a new of optimized Flash ADC is developed, which will have small noises at the output in case of any high bit circuit. Experiments are carried out on a *2-bit* Flash ADC. The primary circuit of the Flash ADC is shown in Fig.2.

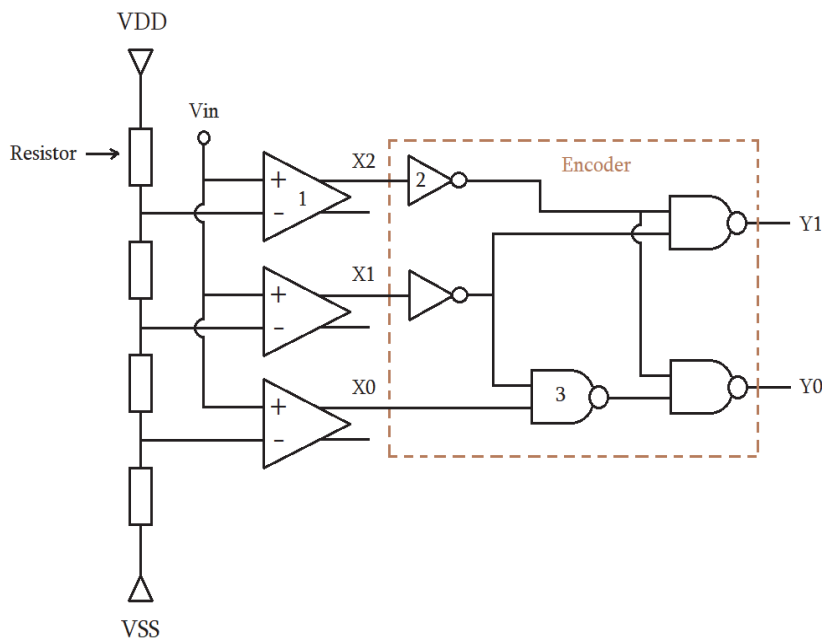


Fig.2. Primary Flash ADC (1 - comparator, 2 - inverter, 3 - NAND)

In the primary circuit, the table of X0, X1, X2, Y0 and Y1 nodes have the form like that in Table 1.

Table 1

The dependency of Y1 and Y2 outputs from X0, X1 and X2

X0	X1	X2	Y0	Y1
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
X	1	0	0	1
X	x	1	1	1

So, the node from X0, X1 and X2 nodes is the last node with high voltage, it will determine the voltages of Y0 and Y1 output nodes.

When Vin increases the table of X0, X1, X2, Y0 and Y1 nodes have the form like that in Table 2.

Table 2

The voltage values of Y1 and Y2 outputs and X0, X1, X2 nodes when Vin increases from 0 to VDD in the primary Flash ADC

X0	X1	X2	Y0	Y1
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

In case of a very fast increase of Vin (when X0,X1,X2 will at once change from 000 to 111, or from 001 to 110) there will be many switching nodes in the Encoder part of an ADC and it will lead to big noises in the outputs. To solve this problem, we use the fact that the voltage of output nodes depends on the last input node with a high voltage, and we change the circuit so that only that node has a high voltage in case of the same Vin voltage value. For an optimized circuit, the Table for X0, X1, X2, Y0 and Y1 must be like that in Table 3.

Table 3

The voltage values of Y1 and Y2 outputs and X0, X1, X2 nodes when Vin increases from 0 to VDD in an optimized Flash ADC

X0	X1	X2	Y0	Y1
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	0	1
0	0	1	1	1

The Flash ADC that is appropriate to the Table 3 is shown in Fig.3.

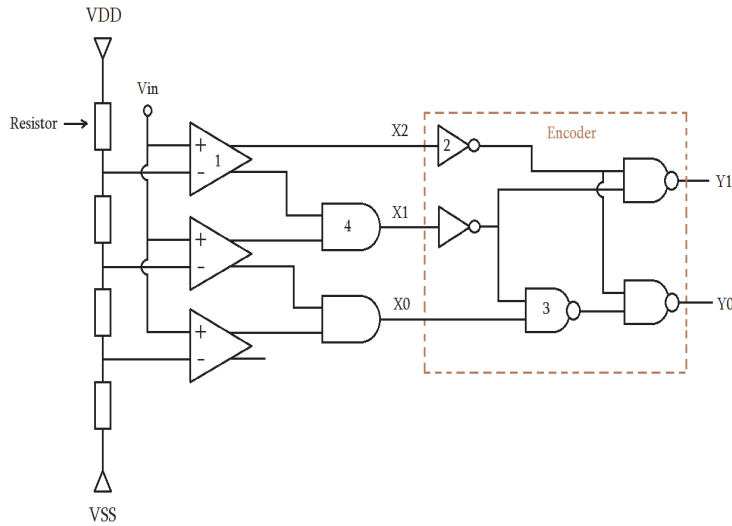


Fig.3. The Flash ADC with much less output noise than the primary circuit
(1 - comparator, 2 - inverter, 3 – NAND, 4 - AND)

This is better than the primary Flash ADC, but at every change of the input voltage, one node from X0, X1 and X2, which has a high value, gets 0 value, and one node with 0 voltage gets high voltage. So the encoder in the main cases has two switching inputs which switch at the same time, which also can be dangerous for the accuracy of the outputs. To have the minimum noises in the outputs it is preferable to keep the switch of the node with high voltage a bit later. It means that when one of the nodes changes to 1 from 0, the node that had 1 value before that must change to 0 a bit later (Fig.4).

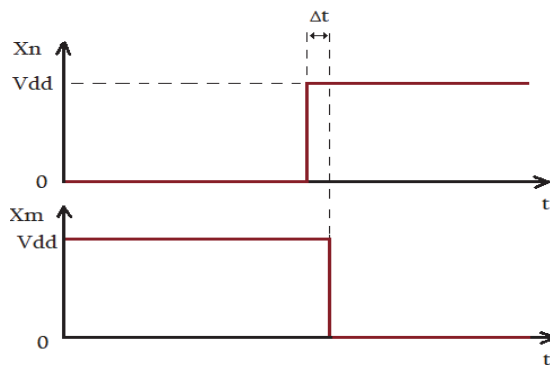


Fig.4. Switching two inputs of the Encoder in an optimized Flash ADC (Δt – is a very short period of time)

The optimized ADC contains two Flash ADC circuits (only comparator parts, the Encoder is general). The input of one Flash ADC is the general input of the circuit, and the input of the second Flash ADC is connected with the first input by transmission gate. When V_{in} changes very fast and with a high range, the transmission gate will keep the primary value of V_{in} for the second Flash ADC and it will also keep the high value of one of the Encoders input nodes in the period of the V_{in} change. It is the same node that has a high value before the V_{in} change. When another input of the Encoder also gets a high value, two inputs with high voltages will make the transmission gate to become opened. Then the old input node with a high value will become 0, and the input node that gets higher by the change of V_{in} will keep its value until the next V_{in} change.

The second transmission gate that is connected in parallel to the first is used in case when V_{in} changes from 0 to a higher voltage, or from higher voltage to 0. When V_{in} is 0, the second transmission gate is opened and the input of the second Flash ADC follows the first input until the first input of the Encoder changes to 1.

The optimized Flash ADC is shown in Fig.5.

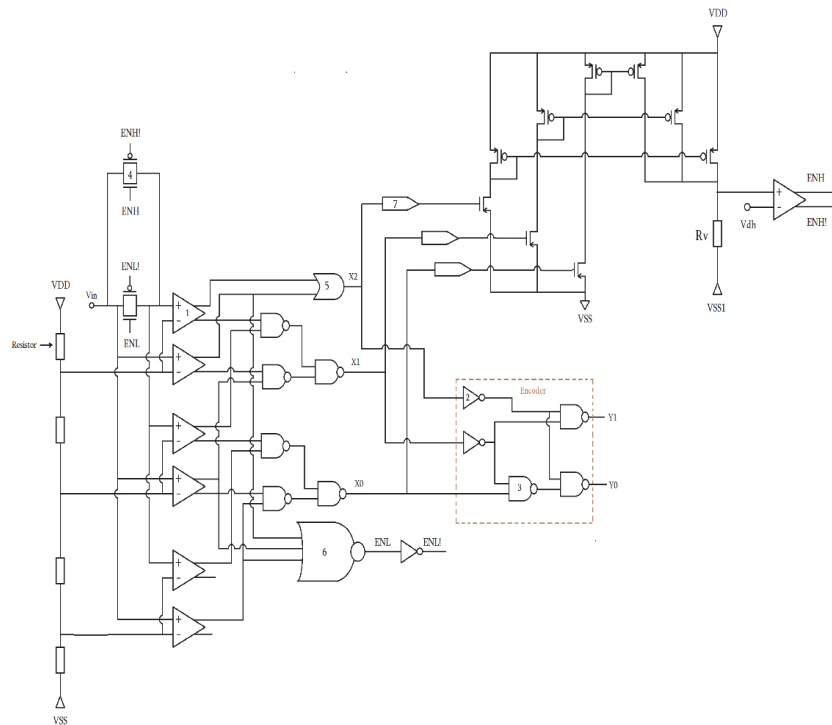


Fig.5. The circuit of the optimized Flash ADC (1 – comparator, 2 – invertor, 3 – NAND, 4 – transmission gate, 5 – OR, 6 – NOR, 7 – Level shifter)

When only one input of the Encoder has 1 value, the voltage on R_v resistor that formed with current mirrors is not so high to keep high voltage on the ENH output of the comparator. So, the first transmission gate is off. When V_{in} changes, the first transmission gate that is off, keeps the old value of the general input on the input of the second Flash ADC, which keeps the value of the input of Encoder which has a high voltage at that moment.

When two inputs of the Encoder have 1 value, the voltage on R_v becomes so high that the voltage of the ENH output node becomes high and the first transmission gate is on and the input of the second Flash ADC follows the first.

The inputs of Encoders are connected to the level shifters which change the VDD voltage of the node to a bit lower voltage. This is used not to have a big current in the current mirrors.

The second transmission gate is connected to a NOR whose inputs are the outputs of the comparators of the first Flash ADC. When all outputs of comparators are 0, the transmission gate is on. This is in the case when the voltage of the general input is very low.

The disadvantage of this approach is making the area of the circuit much bigger, but for very high bit Flash ADCs this method is very useful to avoid output noises, because in the case of a fast input change with a high voltage range, the switching nodes in the Encoder will be as low as possible.

Simulation results. The main block of a Flash ADC is designed. Simulations are performed using the HSPICE simulator (described in [8]) for a number of PVT corners including 3 main conditions (TT, FF and SS processes with respective voltage and temperature values). Here the results of the TT typical corner are presented. The circuit is designed and simulation is performed in the 32 nm technology. The simulation results of the primary Flash ADC are shown in Fig.6 with input and output characteristics. Supply voltage is 2.5V and V_{in} changes from 1V to 2V. Y_0 is 2.5V, and in the change period of V_{in} , it gets noises, and Y_1 changes from 0 to 2.5V.

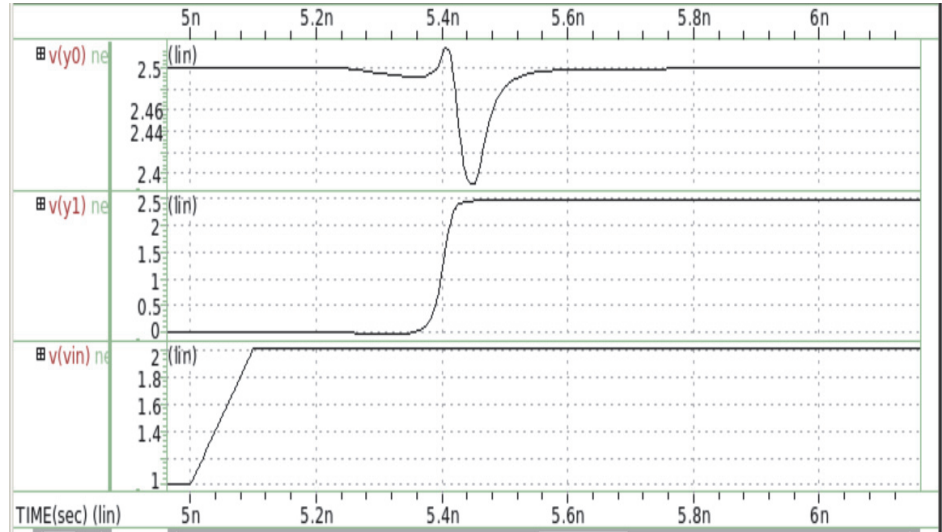


Fig.6. Simulation results of the primary Flash ADC (V_{in} – input, Y0 and Y1 outputs)

Simulation results of the optimized Flash ADC are shown in Fig.7. In the picture we can see that the voltage noise range of the Y0 output became lower by 63% than in the primary Flash ADC.

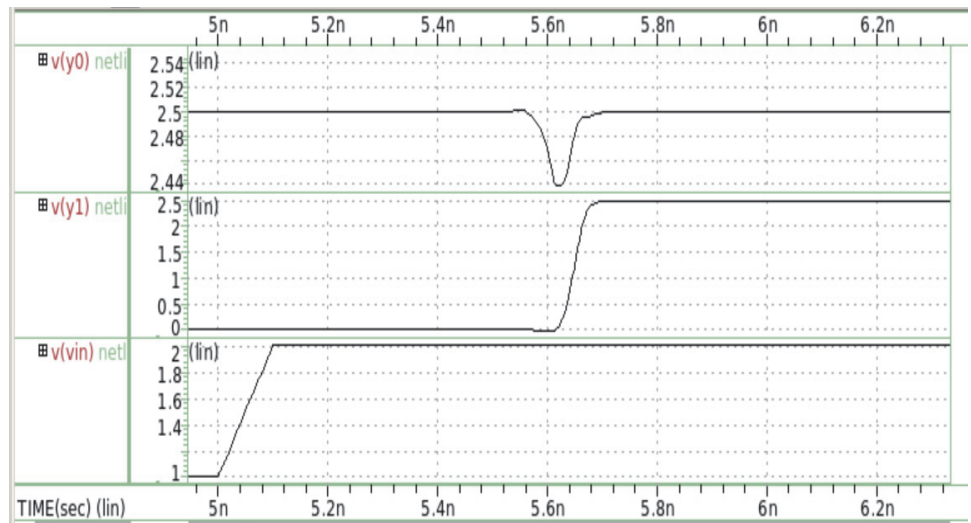


Fig.7. Simulation results of the optimized Flash ADC

The circuit of the primary Flash ADC designed in 32 nm technology is shown in Fig.8.

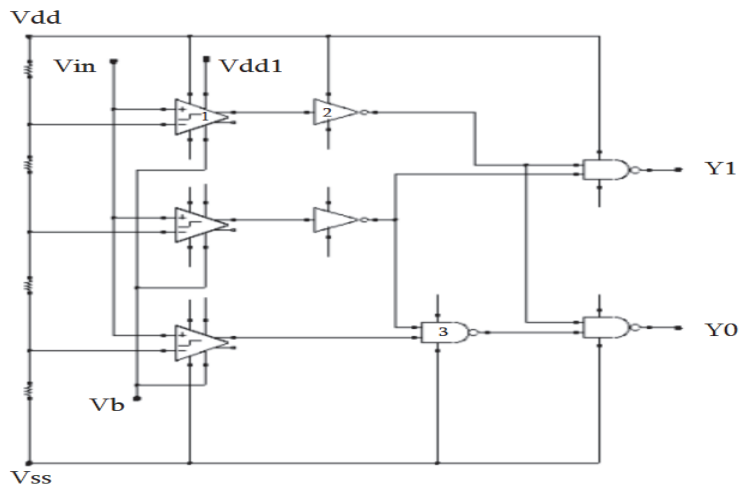


Fig.8. The circuit of the primary Flash ADC designed in the 32 nm technology
(1 – comparator, 2 – inverter, 3 – NAND)

The circuit of the optimized Flash ADC designed in the 32 nm technology is shown in Fig.9.

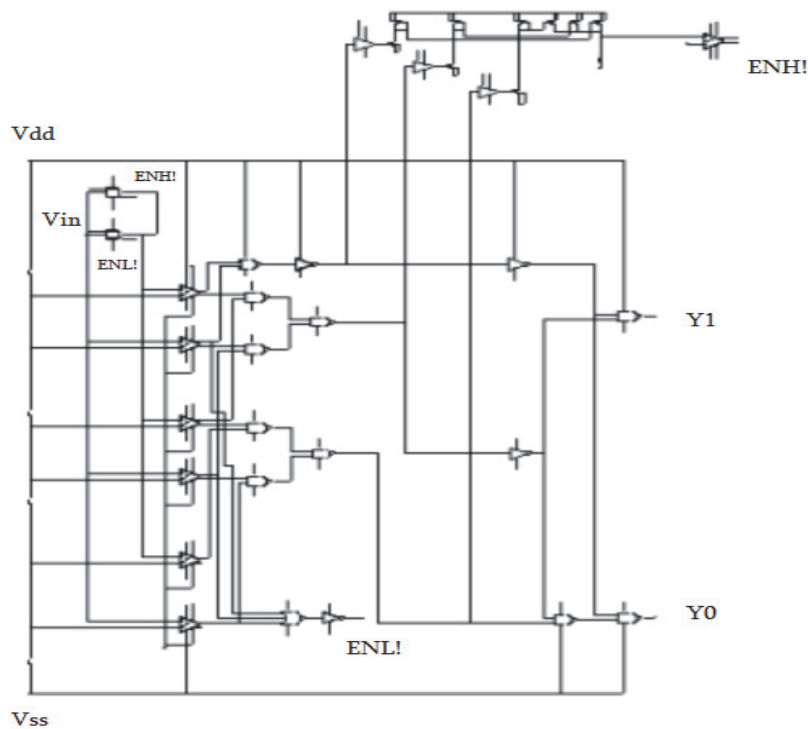


Fig.9. The circuit of the optimized Flash ADC designed in the 32 nm technology

Conclusion. A new method for noise reduction of the Flash ADC is presented. The ADC circuit which has the least noises in the outputs from all types of ADC circuits is the Flash ADC, but in case of high bit circuits, it also has big noises in the outputs. This new method requires an increase in the area, but the higher the bit of the Flash ADC, the method will be more useful for the accuracy of the output signals. In case of a high bit Flash ADCs, by using this method, the percent of the area increase will be less and the accuracy of the output signals will become much higher. In the *2-bit* Flash ADC designed in the *32 nm* technology, the area of the circuit is increased by 72%, and the noises in the output decreased by 63%. For the design of the new circuit, other comparators, level shifters, current mirrors and transmission gates are used. As we see, even, in case of a *2-bit* Flash ADC, the method works effectively.

REFERENCES

1. **Kester W.** ADC Input Noise: The Good, The Bad, and The Ugly. - Analog Dialogue. – 2006, February. - P. 5.
2. **Singh K.** Noise reduction in analog to digital converters // IEEE Xplore, Conference: Electromagnetic Interference and Compatibility '99: Proceedings of the International Conference.- 2000, January. - P.1-4.
3. **Dingee D.** How to clean up noise in A/D conversion with filtering. - Planet Analog, 2022, March 1. - P. 3.
4. **Bonnie C. Baker.** Design an Effective Front-End Filter for Wearable Medical Instruments.- Digi-Key, 2017, August.- P. 1-5.
5. **Asada K.** Noise reducing device, noise reducing method, noise reducing program, and noise reducing audio outputting device // EPO. – 2008, May 21. - P. 1-7.
6. **Bonnie C. Baker.** Techniques that reduce system noise in ADC circuits // Microchip Technology. - 2002. - P. 1-2.
7. **Lizon B.** Fundamentals of precision ADC noise Analysis // Texas Instruments. – 2020, September. - P. 58.
8. Hspice Application Manual, Synopsys Inc. -2010. -196p.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 11.07.2022.

Հ.Ա. ԲԱԲԱՋԱՆՅԱՆ

ԵԼՔԱՅԻՆ ԱՂՄՈՒԿՆԵՐԻ ՆՎԱԶԵՑՈՒՄԸ ՈՒՂԻՂ ՓՈԽԱՐԿՄԱՆ ԱՆԱԼՈԳԱԹՎԱՅԻՆ ՓՈԽԱՐԿԻՉՈՒՄ

Ներկայացված է ուղիղ փոխարկման անալոգային-թվային փոխարկիչում (ԱԹՓ) ելքային աղմուկների նվազեցման նոր մոտեցում: Ամենաքիչ ելքային աղմուկներ ունեցող ԱԹՓ-ի տեսակը ուղիղ փոխարկման ԱԹՓ-ն է, բայց այն նույնպես կարիք ունի՝ ունենալու հնարավորինս քիչ ելքային աղմուկներ: Օգտագործելով այս մեթոդը 32 նանոմետր տեխնոլոգիայում, սխեմայի մակերեսը մեծանում է 72%-ով, իսկ ելքային աղմուկները նվազում են 63%-ով: Այս մեթոդը շատ նախընտրելի է օգտագործել բարձր բիթային ուղիղ փոխարկման ԱԹՓ-ներում, քանի որ դրանք ունեն մեծ քանակով տրամաբանական բջիջներ կոդավորիչի սխեմայում: Այդ բջիջների փոխանջատվող մուտքերը հանգեցնում են ելքային բարձր աղմուկների:

Առանցքային բառեր. անալոգաթվային փոխակերպիչ, կոմպարատոր, կոդավորիչ, հոսանքի հայելի:

А.А. БАБАДЖАНИЯН

МИНИМИЗАЦИЯ ВЫХОДНЫХ ШУМОВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Представлен новый метод уменьшения выходных шумов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) прямого преобразования. Типом АЦП, имеющего наименьшую величину выходных шумов, является АЦП прямого преобразования, но выходные шумы у него тоже должны быть как можно меньше. Используя метод в 32 нм технологии, площадь схемы повышается на 72%, а выходные шумы уменьшаются на 63%. Метод предпочтительнее использовать в высокобитных АЦП прямого преобразования, поскольку они имеют в энкодере логические ячейки в больших количествах. Переключающиеся входы этих ячеек приводят к большим выходным шумам.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, компаратор, энкодер, зеркало тока.

UDC 621.382

MICROELECTRONICS

DOI: 10.53297/0002306X-2022.v75.2-294

H.T. GRIGORYAN

AN OFFSET CALIBRATION METHOD FOR A HIGH-SPEED RECEIVER

Nowadays VLSI circuits have various applications such as mobile devices, IOT devices, PCs, automobiles, military and space systems, etc. Analog parts, such as operational amplifiers, rectifiers, analog-to-digital converters play major roles inside the modern integrated circuits (IC). In VLSI designs external voltage source values do not have high precision and currently schematic designs are implemented considering the $\pm 10\%$ variation of the supply voltage values. However, such accuracy levels cause problems in high speed receivers where variation of voltages even with a few millivolts can result in major inaccuracies such as the offset voltage in the receiving path. Such problems do exist in high-speed data receivers where the swing of the received data can be less than 100 mV . In this paper an offset cancelation technique for a high speed receiver path is presented which can lower the offset voltage up to $\pm 5\text{ mV}$ range covering the 4.5 sigma possible technology variation range.

Keywords: analog, operational amplifier, integrated circuit, IC, VLSI, offset voltage, reliability, offset, high speed receiver.

Introduction. As mobile applications are becoming more and more widespread, the need for integral circuits with low power consumption rises. One of the methods to communicate with low power is to use signals with low amplitude. As the transfer frequency rises more, issues occur during data transmission. And it is becoming harder to recover the received data. One of the main problems when receiving a signal with a low amplitude is offset voltage of the received circuitry [1]. Offset voltage can occur because of the process, voltage and temperature variations.

The cause of input offset voltage is well known—it is due to the inherent mismatch of the input transistors and components during fabrication of the silicon die, and stresses placed on the die during the packaging process. These effects collectively produce a mismatch of the bias currents that flow through the input circuit, and primarily the input devices, resulting in a voltage difference at the input terminals of the op amp.

Some methods are proposed to reduce the offset voltage. Offset voltage storage techniques which measure the offset voltage and store the result on capacitors in series with the output/input can serve as an example [2]. Those methods are not actual for high-speed receivers because they add capacitances on

the high-speed signal path. To overcome this problem, auxiliary amplifiers are used to isolate the signal path from offset storage capacitors.

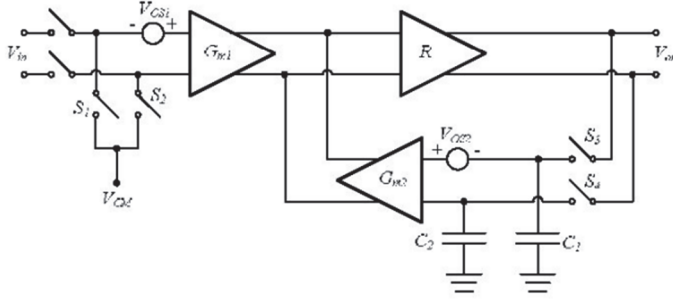


Fig. 1. The conventional architecture of offset cancellation

V_{OS1} , V_{OS2} are the input referred offset voltages for the main and auxiliary amplifiers.

The total offset can be calculated using the equation below:

$$V_{OS,tot} = \frac{V_{OS1}}{G_{m2}R} + \frac{V_{OS2}}{G_{m1}R}, \quad (1)$$

where R represents the transimpedance amplifier, G_m the differential pair.

But this approach is not actual in the high-speed receiving path because the stability of the auxiliary amplifier will make the design process a lot harder.

Modern Serdes Receivers have several amplification stages (Fig. 2). As a first stage, there is usually a continuous time linear equalizer with a code control, it changes its boost frequency based on application (short channel, long channel). Then there is an additional stage which amplifies the signal to a level that the CML to CMOS stage can detect signal variations and transfer the signal to full CMOS [3].

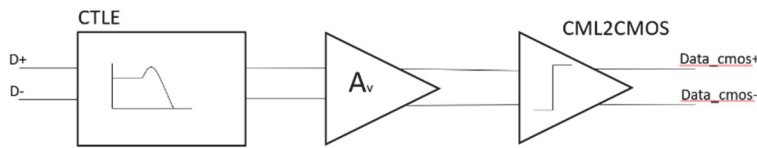


Fig. 2. The receiver block scheme

Due to low power applications, very low signal amplitudes can be used in modern SERDES systems. Per Mipi DPHY specification [4] the High-speed Receiver should be able to successfully receive and recover data with 40 mV peak to peak amplitude. Even small offsets can lead to data errors when such kind of low amplitude signals are received.

The Method Explanation. The block diagram of a high-speed receiver with an offset calibration circuitry is shown in Fig.3.

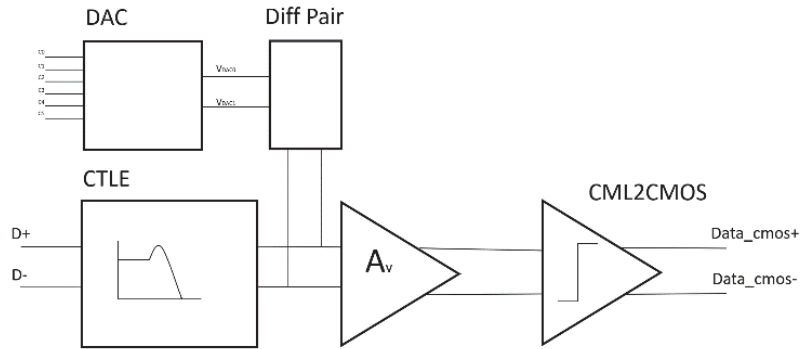


Fig. 3. A receiver with an offset calibration circuitry

The working principle of the algorithm is as follows. The differential inputs of the receiver are connected to the ground. There is a constant current that is used for offset cancellation. This current has to flow through the differential pair [5]. Diff Pair circuit is depicted in Fig.4.

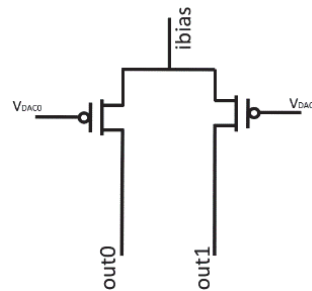


Fig. 4. Differential Pair

The Ibias current is 50 μA , the current is steered through out0 and ou1 when the code is changed. The code which is input into a digital-to-analog converter is changed from 0 to 63. During the code sweep, the voltage of DAC changes which results in changing the current in one of the branches. When the output of the CML2CMOS cells switches, the code is saved. After that, the same process repeats backwards. The code is swept from 63 to 0. And again when CML2CMOS switches, the code is saved. At the end, the average of 2 codes is chosen as an offset calibration code.

This additional current creates offset which cancels offset in the whole receiver path. In Fig. 5 a current change troughout 0 and out1 outputs is shown when the code is changed from 0 to 63 and vice versa.

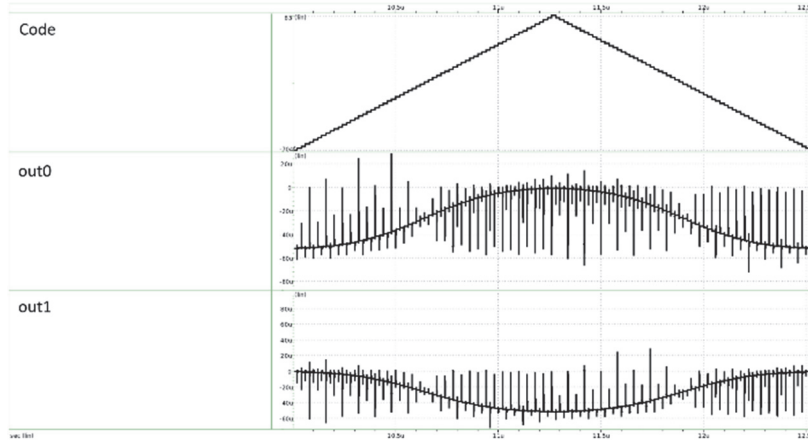


Fig. 5. Current variation from the code sweep

Simulation Results. As seen from HSPICE Monte Carlo verification, even for typical corner (Fig. 6), offset can reach up to 19 mV [6]. Considering that the receiver should be able to recover signal with 40 mV peak-to-peak amplitude, that much offset is not acceptable.

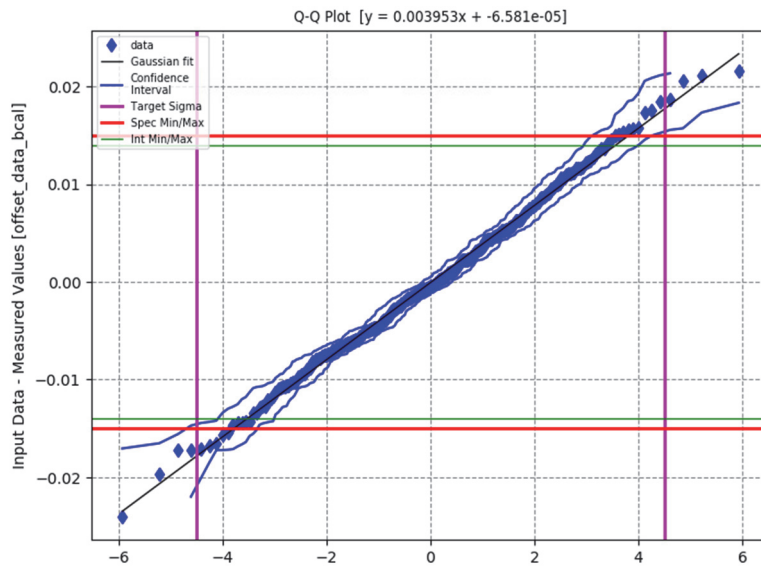


Fig. 6. The offset voltage before calibration

After calibration, the results are shown in the plot below. Simulation is completed considering the 4.5 sigma variation. As seen from Fig. 7, offset is ~ 5 mV in 6 sigma. After calibration, offset of the whole receiving path is ± 5 mV.

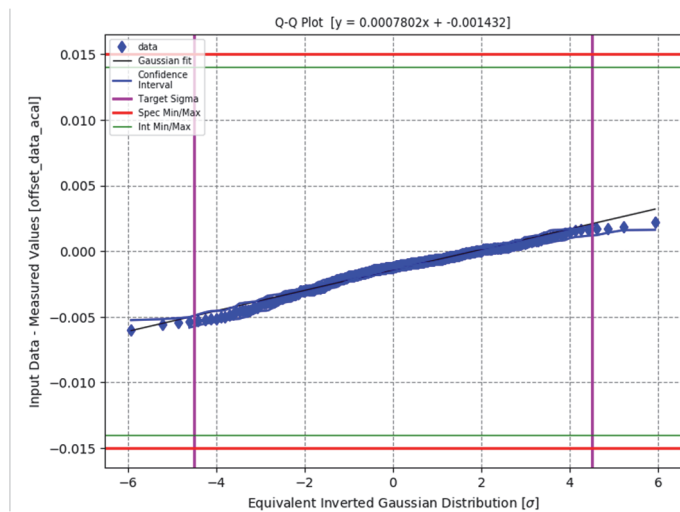


Fig. 7. The offset voltage after calibration

The initial offset is checked via dc sweeping the inputs until output voltages are equal. After that, the calibration process is performed. The code is selected and the same process is repeated after calibration.

Conclusion. Offset voltage for the whole receiver path is reduced. The drawback of this solution is that the offset calibration time should be taken into account before starting the high-speed receiving process. Also, direct current is required for offset cancelation. And additional area is required for extra circuitry.

REFERENCES

1. **Baker R.J.** CMOS Circuit Design, Layout and Simulation. - 3rd Edition. - John Wiley & Sons, 2010.
2. **Lu C.** An Offset Cancellation Technique for Two-Stage CMOS Operational Amplifiers // IEEE International Conference on Integrated Circuit Design and Technology. -May 2007. -P. 1-3.
3. **Sedra A.S., Smith K.C.** Microelectronic Circuits. -Oxford University Press, 2014. - 1397 p.
4. Specification for D-PHY, MIPI alliance. -2015. - 143 p.
5. **Razavi B.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits. -2nd edition. -Mc Graw Hill, India, 2017. - 608 p.
6. Hspice Reference Manual, Synopsys Inc.- 2017. - 846 p.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 13.07.2022.

Հ.Տ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՇԵՂՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ԿԱՐԳԱԲԵՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴ ԱՐԱԳԱԳՈՐԾ ԸՆԴՈՒՆԻՉ ՀԱՆԳՈՒՅՑՈՒՄ

Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաները (ԳՄԻՍ) ունեն լայն կիրառություններ բազմազան սարքերում, ինչպիսիք են շարժական, ինտերնետային սարքավորումները, անձնական համակարգիչները, ավտոմեքենաները և ռազմական ու տիեզերական համակարգերը: Անալոգային մասերը, ինչպիսիք են օպերացիոն ուժեղարարները, լարման ուղղիչները, անալոգաթվային կերպափոխիչները, կարևոր դեր են խաղում այժմյան ինտեգրալ սխեմաներում: ԳՄԻՍ նախագծերում արտաքին լարման աղբյուրների լարման արժեքները բարձր ճշտությամբ չունեն, և ներկայիս նախագծերն իրականացվում են՝ հաշվի առնելով սնման լարման $\pm 10\%$ փոփոխությունը: Բայց և այնպես ճշտության այսպիսի մակարդակն առաջացնում է խնդիրներ արագագործ ընդունիչ հանգույցներում, որտեղ լարման թեկուզ մի քանի միլիվոլտի փոփոխությունը կարող է հանգեցնել մեծ անճշտությունների, ինչպիսին է, օրինակ, շեղման լարումը: Այսպիսի խնդիրներ ի հայտ են գալիս արագագործ ընդունիչ հանգույցներում, որտեղ ընդունիչ տվյալի ազդանշանի բացվածքը փոքր է 100 μV -ից: Ներկայացված է արագագործ ընդունիչ հանգույցում շեղման լարման չեղարկման տեխնիկա, որը հնարավորություն է տալիս՝ իջեցնելու շեղման լարման արժեքը մինչև $\pm 5 \mu\text{V}$, հաշվի առնելով 4,5 սիգմա հնարավոր տեխնոլոգիական վարիացիան:

Առանցքային բառեր. անալոգ, օպերացիոն ուժեղարար, ինտեգրալ սխեմա, ԳՄԻՍ, շեղման լարում, հուսալիություն, արագագործ ընդունիչ հանգույց:

А.Т. ГРИГОРЯН

МЕТОД КАЛИБРОВКИ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРИЕМНОМ УЗЛЕ

В настоящее время сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) имеют различные приложения, такие как мобильные устройства, устройства IoT, автомобили, военные и космические системы и т.д. Аналоговые части, такие как операционные усилители, выпрямители, аналого-цифровые преобразователи, играют важную роль в современных интегральных схемах (ИС). В проектах СБИС значения внешнего источника напряжения не имеют высокой точности, и в настоящее время реализуются схемы с учетом $\pm 10\%$ отклонения значений напряжения питания. Однако такие уровни точности вызывают проблемы в быстродействующих приемных узлах, где изменение напряжения даже на несколько милливольт может привести к серьезным неточностям, таким как смещение напряжения на пути приема. Такие проблемы встречаются в быстродействующих приемных узлах, где размах принимаемых данных может быть менее 100 мВ. Представлен метод компенсации смещения для быстродействующего тракта приемника, который может снизить напряжение смещения до диапазона $\pm 5 \text{ мВ}$, охватывающего возможный диапазон изменения технологии 4,5 сигма.

Ключевые слова: аналог, операционный усилитель, интегральная схема, сверхбольшие интегральные схемы, напряжение отклонения, надежность, быстродействующий приемный узел.

Э.П. АЩИАНИЦ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОПОРОЖНЕНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ
ТРУБОПРОВОДА С УЧАСТКАМИ РАЗЛИЧНОГО УКЛОНА И С
НАСАДКОМ НА ЕГО КОНЦЕ**

Исследован характер движения колонны жидкости в процессе ее опорожнения из напорного трубопровода постоянного диаметра. В результате получены более общие аналитические зависимости, учитывающие влияние всех основных факторов на скорость ее опорожнения. Рекомендуется методика определения времени опорожнения жидкости из трубопровода. Проведено сопоставление результатов расчета по полученным зависимостям с экспериментальными данными.

Ключевые слова: напорный трубопровод, участки различного уклона, насадок, скорость течения жидкости, гидравлические сопротивления, время опорожнения.

Введение. При проектировании и эксплуатации напорных водоводов систем водоснабжения возникает необходимость определения времени опорожнения жидкости из указанных трубопроводов. Анализ исследований, посвященных данной проблеме [1-3], показывает, что в указанных работах недостаточно полно выявлена динамика процесса опорожнения жидкости из трубопровода в случае одновременного учета как местных, так и распределенных по длине водовода гидравлических сопротивлений.

Целью настоящей работы является получение более точных аналитических зависимостей, определяющих изменение скорости течения колонны жидкости в процессе ее опорожнения из трубопровода, что и определяет актуальность проведенных исследований.

Постановка задачи и методы исследования. Рассматривается схема нагнетательного трубопровода 1 (рис. 1), из которого опорожнение жидкости происходит через отверстие 3 в насадке 2. Диаметр выходного отверстия d_0 меньше диаметра трубопровода. Предполагается, что до начала опорожнения жидкости все участки трубопровода полностью заполнены водой. Диаметры d участков АВ и ВС водовода одинаковы, а уклоны этих участков к горизонту различны.

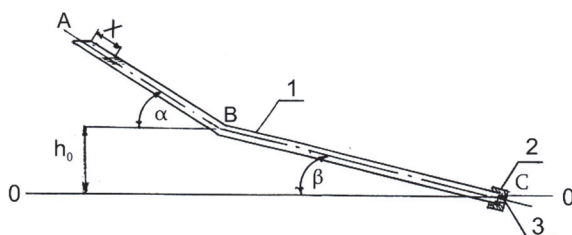


Рис.1. Расчетная схема трубопровода: 1 – труба, 2 – насадок, 3 - отверстие

Для решения задачи используется уравнение Д. Бернулли [4], составленное для двух сечений трубопровода. Первое сечение берется на свободной поверхности жидкости в трубопроводе (рис. 1), а второе сечение - в конце трубопровода на месте выхода струи жидкости из выпускного отверстия 3 насадка 2 (рис.1). За плоскость сравнения принята горизонтальная плоскость 0-0 (рис. 1), на которой расположен центр выходного отверстия 3 насадка 2. В результате получается уравнение вида

$$\begin{aligned} \frac{P_{AT}}{\rho g} + (l_1 - x) \sin \alpha + l_2 \sin \beta + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_{AT}}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} (1 + \xi_0) + \\ + [\xi_1 + \frac{\lambda}{d} (l_1 - x + l_2)] \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \frac{(L - x)}{g} \frac{dV_1}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

где P_{AT} - атмосферное давление на свободной поверхности жидкости в трубопроводе; ρ - плотность жидкости; g - ускорение силы тяжести; l_1 - длина участка АВ трубопровода; α - угол наклона участка АВ (рис. 1) к горизонту; l_2 - длина участка ВС; β - угол наклона участка ВС к горизонту; V_1 - скорость опорожнения колонны жидкости из трубопровода; V_0 - скорость истечения жидкости из отверстия 3 в насадке 2 (рис. 1); ξ_0 - коэффициент местного гидравлического сопротивления водовыпускного отверстия в насадке; ξ_1 - коэффициент местного гидравлического сопротивления на месте изменения уклона трубопровода; x - координата перемещения свободной поверхности жидкости в трубопроводе; λ - коэффициент гидравлического сопротивления по длине трубопровода; $L = l_1 + l_2$; t - текущее время.

Используя уравнение неразрывности течения несжимаемой жидкости [4], имеем

$$A_1 V_1 = A_0 V_0, \quad (2)$$

где A_1 – площадь поперечного сечения трубопровода, а A_0 – площадь водовыпускного отверстия 3 в насадке 2 (рис. 1). В уравнении (1) скорость V_0 выражается через скорость V_1 , а производная dV_1/dt заменяется на производную $dV_1^2/2dx$ [2]. Обозначив y через V_1^2 и $l_2 \sin \beta$ через h_0 , после сокращений и вышеуказанных замен уравнение (1) принимает вид

$$\frac{dy}{dx} + y \frac{K(x)}{(L-x)} = \frac{2g[h_0 + (l_1 - x) \sin \alpha]}{L-x}, \quad (3)$$

где

$$K(x) = \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2 (1 + \zeta_0) + \zeta_1 + \frac{\lambda}{d} (L-x) - 1 \right], \quad (4)$$

а переменная x изменяется в пределах $0 \leq x \leq l_1$.

Наличие в (4) слагаемого $\frac{\lambda}{d} (L-x)$ не позволяет получить аналитическую зависимость для скорости $V_1(x)$. Использование численного метода интегрирования дифференциального уравнения (3) нерационально при практических расчетах, а также при анализе процесса опорожнения жидкости из трубопровода. Поэтому при интегрировании уравнения (3) допускается, что выражение (4) есть величина постоянная. При такой замене допускается определенная погрешность расчета, однако, как показано в работе [2], величина этой погрешности незначительна и корректна при практических расчетах.

Уравнение (3) интегрируется при начальном условии: при $x=0$ – $y=0$.

В результате получается зависимость для скорости вида

$$V_1(x) = \sqrt{\frac{2g h_0}{K} \left[1 - \left(\frac{L-x}{L} \right)^K \right] + 2g \left\{ \frac{(L-x)}{K-1} - \frac{L}{K-1} \left(\frac{L-x}{L} \right)^K + \frac{l_2}{K} \left[\left(\frac{L-x}{L} \right)^K - 1 \right] \right\} \sin \alpha}, \quad (5)$$

в которой параметр K определяется по формуле (4) при фиксированных значениях переменной x .

Изменение скорости течения колонны жидкости при ее опорожнении из участка ВС трубопровода (рис.1) определяется также путем использования уравнения Бернулли. Первое сечение принимается на свободной поверхности жидкости в трубопроводе, а второе сечение – на выходе жидкости из отверстия в насадке.

В результате получается уравнение вида

$$(l_2 - x) \sin \beta + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{V_0^2}{2g} (1 + \xi_0) + \frac{\lambda}{d} (l_2 - x) \frac{V_2^2}{2g} + \frac{(l_2 - x)}{g} \frac{dV_2}{dt}. \quad (6)$$

В уравнении (6) скорость V_0 выражается через скорость V_2 путем использования уравнения неразрывности (2).

Производя замену производной dV_2/dt выражением $dV_2^2/2dx$ и обозначая $V_2^2 = y$, уравнение (6) после указанных замен принимает вид

$$\frac{dy}{dx} + y \frac{K_1(x)}{l_2 - x} = 2g \sin \beta, \quad (7)$$

в котором переменная x изменяется в пределах $0 \leq x \leq l_2$, а параметр:

$$K_1(x) = \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2 (1 + \xi_0) + \frac{\lambda}{d} (l_2 - x) - 1 \right]. \quad (8)$$

Уравнение (7) интегрируется при начальном условии: при $x=0$ – $V_2 = V_1(l_1)$, где $V_1(l_1)$ определяется из зависимости (5) при $x = l_1$.

При интегрировании уравнения (7) параметр $K(x)$ принимается постоянной величиной.

В результате получается зависимость для скорости вида

$$V_2(x) = \sqrt{V_1^2(l_1) \left(\frac{l_2 - x}{l_2} \right)^{K_1} + \frac{2g}{K_1 - 1} \left[(l_2 - x) - l_2 \left(\frac{l_2 - x}{l_2} \right)^{K_1} \right] \sin \beta}. \quad (9)$$

Полученные зависимости (5) и (9) используются для определения времени опорожнения жидкости из участков АВ и ВС трубопровода (рис. 1).

Для определения времени опорожнения жидкости из участка АВ трубопровода вначале строится график изменения скорости колонны жидкости $V_1 = f_1(x)$. В процессе опорожнения этого участка используем полученную зависимость (5). Для этого, задаваясь различными фиксированными значениями x_1 , по формуле (4) определяются значения параметра $K(x)$, которые подставляются в зависимость (5), и при тех же значениях x_1 строится график зависимости $V_1 = f_1(x)$ (рис. 2).

Аналогичным образом строится график изменения скорости $V_2 = f_2(x)$. В процессе удаления колонны жидкости из участка ВС трубопровода (рис. 2) используем формулу [4].

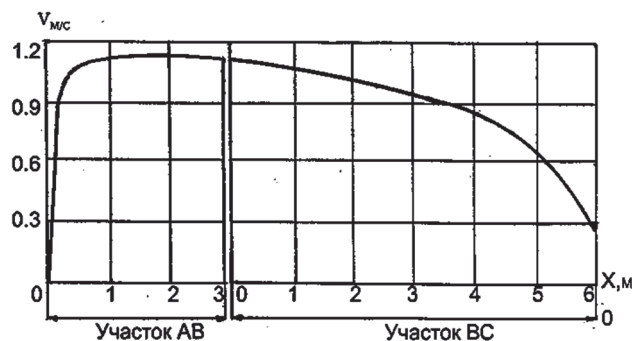


Рис.2. Графики зависимостей $V_1 = f(x)$ и $V_2 = f(x)$ при опорожнении жидкости из участка АВ и ВС трубопровода

Для определения времени удаления жидкости из участка АВ водовода длина этого участка делится на несколько элементарных участков l_i , в пределах которых изменение скорости течения жидкости можно принять линейным от параметра x . Вычисляя средние значения скорости в пределах выделенных участков, определяется продолжительность опорожнения жидкости из этих участков, исходя из равенства $t_i = l_i/V_i^{cp}$, а полное время удаления жидкости из участка АВ будет равно $T_1 = \sum l_i/V_i^{cp}$.

Аналогичным способом определяется время удаления жидкости T_2 из участка ВС трубопровода. Полное время удаления жидкости из трубопровода будет $T = T_1 + T_2$.

Для установления степени корректности полученных аналитических зависимостей и рекомендуемой методики расчета проведено сопоставление расчетных значений времени опорожнения жидкости из трубопровода с соответствующими экспериментальными данными.

С этой целью в гидравлической лаборатории Института водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егизарова смонтирована экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 1.

Напорный трубопровод представлял собой полиэтиленовый шланг диаметром $d=0,016$ м. Участок АВ трубопровода имел длину $l_1 = 2,97$ м и угол наклона к горизонту $\alpha = 13^\circ$. Второй участок ВС имел длину $l_2 = 6,2$ м и угол наклона к горизонту $\beta = 10^\circ$. Удаление воды из трубопровода осуществлялось через круглое отверстие в шайбе диаметром $d_0 = 1,05$ см, которая монтировалась в насадке 2 (рис.1). При выходе струи воды из отверстия в шайбе происходило сжатие ее поперечного сечения. Площадь сжатого сечения определялась по формуле $A_c = \varepsilon A_0$, где ε – коэффициент сжатия струи, определяемый по формуле [4].

$$\varepsilon = 0,62 + 0,38(A_0 / A_1)^2. \quad (10)$$

На месте изменения уклона трубопровода значение коэффициента равно $\xi_1 = 1,0$, а значение коэффициента - $\xi_0 = 0,04$. Коэффициент гидравлического трения равен $\lambda = 0,025$.

В процессе проведения экспериментов отверстие в шайбе закрывалось с помощью резиновой пробки, и осуществлялось полное заполнение трубопровода водой. Затем осуществлялось быстрое удаление резиновой пробки. С помощью стеклянного пьезометра, установленного на месте изменения уклона трубопровода, и секундомера определялась продолжительность удаления воды из участка АВ (рис.1) и всего трубопровода.

Согласно расчетным данным, полученным при использовании графиков зависимостей $V_1 = f_1(x)$ и $V_2 = f_2(x)$ (рис. 2), продолжительность удаления воды из участка АВ трубопровода составляла 3,4 с, а время удаления жидкости из участка ВС - 9,5 с. Полное время удаления воды из трубопровода – $T_p = 3,4 + 9,5 = 12,9$ с.

Согласно полученным экспериментальным данным: $T_1^{\text{эк}} = 3,1$ с, а $T_2^{\text{эк}} = 9,2$ с.

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили корректность полученных аналитических зависимостей.

Заключение

1. Получены более общие аналитические зависимости, определяющие характер изменения скорости течения колонны жидкости в процессе ее опорожнения из трубопровода с участками различного уклона и насадком на его конце.

2. Сопоставление результатов расчета времени опорожнения жидкости из трубопровода с использованием полученных зависимостей (5) и (9) с соответствующими экспериментальными данными подтверждает корректность этих зависимостей и разработанной методики определения времени опорожнения жидкости из трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикаревский В.С., Краснянский И.И. Напорные водоводы железнодорожного водоснабжения.- М.: Транспорт, 1978. – 279 с.
2. Ащиянц Э.П. Исследование нестационарного движения жидкости при ее опорожнении из водовода с участками различного уклона // Вестник Национального политехнического университета Армении: Механика, Машиноведение, Машиностроение. – 2019.-N2.- С. 95-104.

3. **Ащиянц Э.П.** К вопросу определения скорости опорожнения колонны жидкости из трубопровода при наличии насадка на его конце // Изв. НАН РА и НПУА. Сер. ТН.- 2021. - Т. 74, N2. - С. 221-229.
4. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / **Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз** и др. – М.: Машиностроение, 1981. - 464 с.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова. Материал поступил в редакцию 15.03.2022.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ՏԱՐԲԵՐ ԹԵՔՈՒԹՅԱՄԲ ՀԱՏՎԱԾՆԵՐ ԵՎ ԾԱՅՐԱՄԱՍՈՒՄ ԿՑԱՓՈՂ ՈՒՆԵՑՈՂ ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻՑ ՀԵՂՈՒԿԻ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Դիտարկվել է հաստատուն տրամագծով ճնշումային խողովակաշարից կցափողի միջոցով հեղուկի դատարկման գործընթացը: Ստացվել են վերլուծական ավելի ընդհանուր բանաձևեր, որոնցով որոշվում է ջրատարի տարբեր հատվածներից հեղուկի սյան դատարկման տևողությունը: Ստացված բանաձևերով կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատվել են համապատասխան փորձարարական արդյունքների հետ: Համեմատությունը ցույց է տվել առաջարկվող բանաձևերի կոռեկտ լինելը:

Առանցքային բառեր. ճնշումային խողովակաշար, տարբեր թեքությամբ հատվածներ, փող, հեղուկի հոսման արագություն, հիդրավլիկական դիմադրություններ, դատարկման տևողություն:

E.P. ASHCYANTS

DETERMINING THE EMPTYING TIME OF THE LIQUID FROM THE PIPELINE WITH SECTIONS OF DIFFERENT INCLINES AND A NOZZLE AT ITS END

Issues on emptying the liquid from the pressure pipeline of a constant diameter are studied. As a result of investigations, more general analytical dependencies for emptying the liquid from the pipeline are obtained, and a graphical-analytical method for determining the emptying speed of the liquid from the pipeline is recommended. A comparison of the research results according to the obtained formulas with the corresponding experimental data is carried out.

Keywords: pressure pipeline, sections of different inclines, nozzle, liquid, velocity, hydraulic resistances, emptying time.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲԱԲՍԱՅԱՆ Ա.Ա.

Ներքին Բարձր Ճշգրտություն ԲեռնաՎորակաժամ Եռապլակաժամ Բարապաղաս Խորհրդարան արևմտյան Գործընթացի Հետազոտություն ՄԱՄԼԱՄԱՅՐ ՄՏՆՈՂ Եզրագծի ՊԱՅՄԱՆԻ Դեղձոժիժ 169	169
---	-----

ՄԻՄՈՆՅԱՆ Վ.Ա.

Ռեկոնստրուկցիոն Փոխադրություններ Մեծադիտերի Հետ Եվ Միջմեծադարպան Միջնորդություններ Առաջնություն 181	181
--	-----

ԶԱՔԱՐՅԱՆ Է.Գ.

ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԹԵՂՈՒՏԻ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹՅՑ ՖԵՐՈՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ 193	193
---	-----

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՎԱՄԻԼՅԱՆ Գ.Ա., ՍԱՖԱՐՅԱՆ Տ.Ն., ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ա.Ս., ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ Տ.Ա.

ԲԱՐՁՐ ՏԵՍԱԿԱՐԱՐ ԱՄՐՈՒԹՅԱՄԲ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ԱՄՐԱՆԱՎՈՐԱԾ ԴԵՖՈՐՄԱՅՎՈՂ ՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՏԵՍԱԿԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ 204	204
--	-----

ՊԱՊՈՅԱՆ Ռ.Ս.

ՄԻՄՈՆՅԱՆ ՊԱՊՈՅԱՆ ԳՆԴԵՐԻ ՄԻՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ, ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՄԻՄԱՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԸՆՏՐՈՒՄԸ 218	218
---	-----

ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Լ.Ա., ՀՈՎԱԿԻՍՅԱՆ Վ.Վ.

ԲՆԱԿԱՆ ԼԵՌԱԼԱՆՁՈՎ ԲԵՌՆԱՎԱԾ ԼԵՌԱՅԻՆ ԲԱՅԱՀԱՆՔԻ ԿՈՂՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳՐԱՆՅՄԱՆ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԵՌԱԶՍԺ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՍՏԵՆԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 230	230
--	-----

ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ Գ.Ա.

ԲԱՅԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ԶԱՆԳՎԱԾԱՅԻՆ ՊԱՅԹԵՅՄԱՆ ԲԱՅԱՍԱԿԱՆ ՆԵՐԳՈՐԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՆՎԱԶԵՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ 239	239
--	-----

ԽԱԽԱՆՈՎԱՆ Ա.Վ., ԱԲԴՈՒԼԱԵՎ Վ., ԽԱԽԱՆՈՎ Վ.Ի., ՉՈՒՄԱՉԵՆԿՈՒ Ս.Վ., ԼԻՏՎԻՆՈՎԱՆ Է.Ի., ԽԱԽԱՆՈՎ Ի.Վ.

ՏՐԱՄԱԲԱՆԱԿԱՆ ՖՈՒՆԿՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՍՈՅԻԱԼԱԿԱՆ ՀԱՐԱԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԵԿՏՈՐԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼՆԵՐԻ ԴԵՐՈՒԿՏԻՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ 252	252
---	-----

ԲԱԿՈՒՆՅԱՆ Ս.Գ.

ՌԵԼԻԵՖԱՅԻՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԻ ԿԱՌՈՒՅՄԱՆ ԵՐԿՐԱԶՍԺԱԿԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 266	266
---	-----

ԽԱԶՍՏՐՅԱՆ Ա.Ժ., ԹՈՌՉՅԱՆ Կ.Ա., ՊԱՐՄԱՍՅԱՆ Ա.Փ., ԱՂԱԲԵԿՅԱՆ Վ.Ն.

ԱԼԻՔԱՅԻՆ ԴԱՇՏԻ ՔՎԱԶԻՃՇԳՐԻՏ ՄՈՏԱՐԿՈՒՄԸ 272	272
---	-----

ԲԱԲԱԶԱՆՅԱՆ Հ.Ա.

ԵԼՔԱՅԻՆ ԱՂՄՈՒԿՆԵՐԻ ՆՎԱԶԵՅՈՒՄԸ ՈՒՂԻՂ ՓՈԽԱՐԿՄԱՆ ԱՆԱԼՈԳԱԹՎԱՅԻՆ ՓՈԽԱՐԿԻՉՈՒՄ 283	283
--	-----

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Հ.Տ.

ՇԵՂՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ԿԱՐԳԱԲԵՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴ ԱՐԱԳԱԳՈՐԾ ԸՆԴՈՒՆԻՉ ՀԱՆԳՈՒՅՑՈՒՄ	294
---	-----

ԱՇՉԻՑԱՆՑ Է.Պ

ՏԱՐԲԵՐ ԹԵՔՈՒԹՅԱՄԲ ՀԱՏՎԱԾՆԵՐ ԵՎ ԾԱՅՐԱՄԱՍՈՒՄ ԿՑԱՓՈՂ ՈՒՆԵՑՈՂ ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻՑ ՀԵՂՈՒԿԻ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ	300
--	-----

СОДЕРЖАНИЕ

БАБАЯН А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ СПЕЧЕННОЙ ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЫ, НАГРУЖЕННОЙ ВНУТРЕННИМ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ, ПРИ ВХОДЕ В МАТРИЦУ В СЛУЧАЕ ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ	169
СИМОНЯН В.А. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕЕНИЯ С МЕТАЛЛАМИ И ОБРАЗОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	181
ЗАКАРЯН Э.Г. ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА ИЗ ТЕХУТСКОГО МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ	193
АГБАЛЯН С.Г., ВАСИЛЯН Г.А., САФАРЯН Т.Н., АГБАЛЯН А.С., ДЕМИРЧЯН Т.А. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АРМИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ	204
ПАПОЯН Р.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ СТАЛЬНЫХ ШАРОВ МАРКИ ХГС, ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ВЫБОР ЗАКАЛОЧНОЙ СРЕДЫ.....	218
МАНУКЯН Л.А., ОВАКИМЯН В.В. РАЗРАБОТКА СТЕНДА ТРЕХМЕРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГИСТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В НАГРУЖЕННОМ ЕСТЕСТВЕННЫМ СКЛОНОМ БОРТУ НАГОРНОГО КАРЬЕРА	230
АГАРОНЯН Г.А. ТЕХНОЛОГИЯ УМЕНЬШЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА НА КАРЬЕРАХ	239
ХАХАНОВА А.В., АБДУЛЛАЕВ В., ХАХАНОВ В.И., ЧУМАЧЕНКО С.В., ЛИТВИНОВА Е.И., ХАХАНОВ И.В. ДЕДУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВЕКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ И СОЦИАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ	252
БАКУНЦ М.Г. РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФНОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ.....	266
ХАЧАТРЯН А.Ж., ТОРЧЯН К.А., ПАРСАМЯН А.Ф., АГАБЕКЯН В.Н. КВАЗИТОЧНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ	272

БАБАДЖАНИЯН А.А.	
МИНИМИЗАЦИЯ ВЫХОДНЫХ ШУМОВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....	283
ГРИГОРЯН А.Т.	
МЕТОД КАЛИБРОВКИ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ В БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРИЕМНОМ УЗЛЕ	294
АЩИЯНЦ Э.П.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОПОРОЖНЕНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ ТРУБОПРОВОДА С УЧАСТКАМИ РАЗЛИЧНОГО УКЛОНА И С НАСАДКОМ НА ЕГО КОНЦЕ	300

CONTENTS

BABAYAN A.A. STUDYING THE EXTRUSION PROCESS OF A SINTERED THIN-WALL PIPE LOADED WITH INTERNAL HIGH PRESSURE IN CASE OF A BOUNDARY CONDITION IN THE DIE INLET	169
SIMONYAN V.A. RHENIUM INTERACTION WITH METALS AND FORMATION OF INTERMETALLIC COMPOUNDS	181
ZAKARYAN E.G. SUBSTANTIATING THE PROCESS OF PRODUCTION OF FERROMOLYBDENUM FROM TEGHUT MOLYBDENITE CONCENTRATE UNDER PRODUCTION CONDITIONS	193
AGHBALYAN S.G., VASILYAN G.A., SAFARYAN T.N., AGHBALYAN A.S., DEMIRCHYAN T.A. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF HIGH-STRENGTH REINFORCED ALUMINUM DEFORMABLE ALLOYS	204
PAPOYAN R.S. DEVELOPING AN ALGORITHM FOR QUENCHING XTC GRADE STEEL BALLS, PROGRAMMING AND SELECTING THE HARDENING ENVIRONMENT	218
MANUKYAN L.A., HOVAKIMYAN V.V. DEVELOPING A 3D PHYSICAL MODELING STAND TO RECORD STRESSES IN NATURAL-MOUNTAIN-LOADED OPIN-PIT WALL	230
AHARONYAN G.A. A TECHNOLOGY TO REDUCE THE NEGATIVE EFFECT OF A MASS EXPLOSION ON OPEN PITS	239
HAHANOVA A.V., ABDULLAEV V., HAHANOV V.I., CHUMACHENKO S.V., LITVINOVA E.I., HAHANOV I.V. DEDUCTIVE ANALYSIS OF VECTOR MODELS OF LOGICAL FUNCTIONS AND SOCIAL RELATIONS	252
BAKUNTS M.G. DEVELOPING A GEOMETRIC ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A RELIEF PROSPECT	266
KHACHATRYAN A.Zh., TORCHYAN K.A., PARSAMYAN A.F., AGHABEKYAN V.N. QUASITIVE APPROXIMATION FOR DESCRIBING THE WAVE FIELD	272
BABAJANYAN H.A. THE OUTPUT NOISE REDUCTION OF A FLASH ANALOG-DIGITAL CONVERTER	283

GRIGORYAN H.T.	
AN OFFSET CALIBRATION METHOD FOR A HIGH SPEED RECEIVER.....	294
ASHCIYANTS E.P.	
DETERMINING THE EMPTYING TIME OF THE LIQUID FROM THE PIPELINE WITH SECTIONS OF DIFFERENT INCLINES AND A NOZZLE AT ITS END.....	300

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

- 1 Աբդուլան Վ. Խարկովի ազգային ռադիոէլեկտրոնիկայի
համալսարան
- 2 Աղաբեկյան Վիգեն Նվերի ՀՀ ԳԱԱ ՖԿՊԻ-ի ավագ գիտ. աշխատող
Էլ. հասցե - vigen.aghabekyan@mail.ru
- 3 Աղբալյան Ալլա Սուրենի կրտսեր գիտաշխատող, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - aghbalyan@gmail.com
- 4 Աղբալյան Սուրեն Գևորգի ՀԱՊՀ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր
Էլ. հասցե - metalsur@polytechnic.am
- 5 Ահարոնյան Գագիկ տ.գ.թ., հորատապայթեցման աշխատանքների
Անուշավանի ղեկավար, «Ա.Ա.Բ. ՊՐՈԵԿՏ», ՓԲԸ
- 6 Աշխիանց Հղուարդ Պետրի տ.գ.դ., ա.գ.ա., ակադեմիկոս Ի.Վ. Եղիազարովի
անվան ջրային հիմնահարցերի և
հիդրոտեխնիկայի ինստիտուտ
7 Բաբայան Արման Արտակի ասպիրանտ, ՀԱՊՀ «Մեխանիկայի և
մեքենագիտության» ամբիոնի
Էլ. հասցե - babayan.arman.545@gmail.com
- 8 Բաբաջանյան Հայկ Ալեքսանդրի ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - hhabajanyan1997@gmail.com
- 9 Բակունց Մարինե Գարենի Ասպիրանտ, ՀԱՊՀ ճարտարագիտական
գրաֆիկա ամբիոնի դասախոս
Էլ. հասցե - marinka-bakunts@mail.ru
- 10 Գրիգորյան Հայկ Տարոնի Էքսսայթ Լաբս ՄՊԸ, ՀԱՊՀ, Ինտեգրալ սխեմաներ
նախագրող ինժեներ, Մագիստրոս
Էլ. հասցե - htgrigo@gmail.com
- 11 Դեմիրչյան Տիգրան Արտակի ՀԱՊՀ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության
ամբիոն, ասպիրանտ
Էլ. հասցե - tigrand1997@gmail.com
- 12 Զաքարյան Էդգար Գագիկի հայցորդ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության
ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - edgarzakaryan@yandex.ru
- 13 Թոռյան Կարապետ ՀԱՊՀ-ի պրոռեկտոր, ՏՏԱ ամբիոնի դասախոս, տգ
Արզումանի թեկնածու
Էլ. հասցե - karapet.torchyan@gmail.com
- 14 Լիտվինովա Եվգենիա Իվանի Խարկովի ազգային ռադիոէլեկտրոնիկայի
համալսարան
- 15 Խախանովա Ա.Վ. Խարկովի ազգային ռադիոէլեկտրոնիկայի
համալսարան
- 16 Խախանով Իվան Վլադիմիրի ասպիրանտ, Խարկովի ազգային
ռադիոէլեկտրոնիկայի համալսարան

- 17** Խախանով Վլադիմիր Իվանի տեխն. գիտ. դոկտոր, պրոֆ., Խարկովի ազգային ռադիոէլեկտրոնիկայի համալսարան
- 18** Խաչատրյան Աշոտ Ժուլվերնի ՀԱՊՀ-ի ֆիզիկայի ամբիոնի վարիչ, ՖՄԳ դոկտոր, պրոֆեսոր
Էլ. հասցե - ashot.khachatryan@gmail.com
- 19** Հովակիմյան Վրեժ Վարուժանի ՀԱՊՀ, Լեոնամետալուրգիայի և Քիմիական Տեխնոլոգիաների Ինստիտուտ-ի ասպիրանտ, «Լեոնամետալուրգիայի Ինստիտուտ» ՓԲԸ երկրամեխանիկայի և լեռնային աշխատանքների լաբորատորիայի գիտաշխատող
Էլ. հասցե - vrezh_hovakimyan@mmi.am
- 20** Մանուկյան Լևոն Անդրանիկի տեխն. գիտ. դոկտոր, ՀԱՊՀ-ի դոցենտ, «Գեոինժինիրինգ» ՍՊԸ տնօրեն
Էլ. հասցե - manukyanlevon-a@rambler.ru
- 21** Զումաչենկո Սվետլանա Վ. Խարկովի ազգային ռադիոէլեկտրոնիկայի համալսարան
- 22** Պապոյան Ռոբերտ Սերժի Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - robertspapoyan@gmail.com
- 23** Պարսամյան Անահիտ Փրունզի ՀԱՊՀ-ի ֆիզիկայի դասախոս
Էլ. հասցե - anahit.parsamyan@mail.ru
- 24** Մաֆարյան Տաթևիկ Նիկոլայի տ.գ.թ., գիտաշխատող, ՀՀ ԳԱԱ Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ
Էլ. հասցե - for.tatevik@gmail.com
- 25** Սիմոնյան Վիգեն Արմենի ՀԱՊՀ, ասպիրանտ
Էլ. հասցե - vigensimonyan2017@gmail.com
- 26** Վասիլյան Գայանե Արտաշի տ.գ.թ., դոցենտ, Մետալուրգիայի և նյութագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - gayavasi@gmail.com

СПИСОК АВТОРОВ

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1 Абдуллаев В. | Харьковский национальный университет
радиоэлектроники |
| 2 Агабекян Виген Нверович | с.н.с., ИППФ НАН РА,
Эл. почта - vigen.aghabekyan@mail.ru |
| 3 Агаронян Гагик Анушаванович | к.т.н., НПУА; начальник буровзрывных работ, ЗАО
“А.А.Б. ПРОЕКТ” |
| 4 Агбальян Алла Суменовна | младший научный сотрудник, НПУА,
Эл. почта - aghbalyan@gmail.com |
| 5 Агбальян Сурен Геворкович | д.т.н., профессор, НПУА,
Эл. почта - metalsur@polytechnic.am |
| 6 Ащиянц Эдуард Петрович | д.т.н., с.н.с., Институт водных проблем и
гидротехники им. И.В. Егiazарова |
| 7 Бабаджанян Айк Александрович | аспирант, НПУА,
Эл. почта - hhabajanyan1997@gmail.com |
| 8 Бабаян Арман Артакович | аспирант кафедры “Механики и машиноведения”,
НПУА,
Эл. почта - babayan.arman.545@gmail.com |
| 9 Бакунц Марине Гареновна | аспирант, преподаватель кафедры Инженерной
графики, НПУА,
Эл. почта - marinka-bakunts@mail.ru |
| 10 Василян Гаяне Арташевна | к.т.н., доцент, кафедра Металлургии и материало-
ведения, НПУА,
Эл. почта - gayavasi@gmail.com |
| 11 Григорян Айк Таронович | магистр, НПУА, XsightLabs LLC, инженер
интегральных схем,
Эл. почта - htgrigo@gmail.com |
| 12 Демирчян Тигран Артакович | аспирант, кафедра Металлургии и
материаловедения, НПУА,
Эл. почта - tigrand1997@gmail.com |
| 13 Закарян Эдгар Гагикович | соискатель, кафедра Металлургии и материаловедения,
НПУА,
Эл. почта - edgarzakaryan@yandex.ru |
| 14 Литвинова Евгения Ивановна | Харьковский национальный университет
радиоэлектроники |
| 15 Манукян Левон Андраникович | д.т.н., доцент, НПУА; директор ООО
"Геоинжиниринг",
Эл. почта - manukyanlevon-a@rambler.ru |
| 16 Овакимян Вреж Варужанович | аспирант, НПУА; научный сотрудник лаборатории
геомеханики и горных работ, ЗАО "Лернаметаллургии
институт",
Эл. почта - vrezh_hovakimyan@mami.am |
| 17 Папоян Роберт Сетович | аспирант, кафедра Металлургии и
материаловедения, НПУА,
Эл. почта - robertspapoyan@gmail.com |

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 18 Парсамян Анаит Фрунзовна | преподаватель кафедры Физики, НПУА,
Эл. почта - anahit.parsamyan@mail.ru |
| 19 Сафарян Татевик Николаевна | к.т.н., н.с., Институт общей и неорганической химии
НАН РА,
Эл. почта - for.tatevik@gmail.com |
| 20 Симонян Виген Арменович | аспирант, НПУА,
Эл. почта - vigensimonyan2017@gmail.com |
| 21 Торчян Карапет Арзуманович | к.т.н., проректор НПУА,
Эл. почта - karapet.torchyan@gmail.com |
| 22 Хаханова А.В. | Харьковский национальный университет
радиоэлектроники |
| 23 Хаханов Владимир Иванович | д.т.н., профессор, Харьковский национальный
университет радиоэлектроники |
| 24 Хаханов Иван Владимирович | аспирант, Харьковский национальный университет
радиоэлектроники |
| 25 Хачатрян Ашот Жюльвернович | д.т.н., профессор, зав. каф. Физики, НПУА,
Эл. почта - ashot.khachatrian@gmail.com |
| 26 Чумаченко Светлана В. | Харьковский национальный университет
радиоэлектроники |

LIST OF THE AUTHORS

- | | |
|------------------------------|--|
| 1 Abdullayev V. | Kharkov National University of Radio Electronics |
| 2 Aghabekyan Vigen Nver | SSW, EAPPh, NAS, RA
E-mail - vigen.aghabekyan@mail.ru |
| 3 Aghbalyan Alla Suren | Junior scientific worker, NPUA
E-mail - aghbalyan@gmail.com |
| 4 Aghbalyan Suren Geworg | Dr. of tech. sci., Prof., NPUA
E-mail - metalsur@polytechnic.am |
| 5 Aharonyan Gagik Anushavan | Cand. of tech. sci., Head of drilling and blasting operations, CJSC "A.A.B. PROJECT" |
| 6 Ashchiyants Eduard Petr | Dr. of sci., Senior Researcher, Institute of Water Problems and Hydraulic Engineering named I.V. Egiazarov |
| 7 Babajanyan Hayk Aleksandr | Second year post-graduate student of NPUA, "Electronics, micro- and nano-electronics", E.27.01
E-mail - hbabajanyan1997@gmail.com |
| 8 Babayan Arman Artak | Post-graduate student, Chair of Mechanics and Machine Science
E-mail - babayan.arman.545@gmail.com |
| 9 Bakunts Marine Garen | Post graduate student, Lecturer, Chair of Engineering Graphics, NPUA
E-mail - marinka-bakunts@mail.ru |
| 10 Chumachenko Svetlana V. | Kharkov National University of Radio Electronics |
| 11 Demirchyan Tigran Artak | Post-graduate student of the Chair "Metallurgy and Material Science", NPUA
E-mail - tigran1997@gmail.com |
| 12 Grigoryan Hayk Taron | Graduate student, XsightLabs LLC, NPUA, ASIC Physical Design Engineer,
E-mail - htgrigo@gmail.com |
| 13 Hahanova A.V. | Kharkov National University of Radio Electronics |
| 14 Hahanova Ivan Vladimir | Post-graduate student, Kharkov National University of Radio Electronics |
| 15 Hahanova Vladimir Ivan | Dr. of tech. sci., Prof. of Kharkov National University of Radio Electronics |
| 16 Hovakimyan Vrezh Varuzhan | Post-graduate student, Institute of Mining and Metallurgy and Chemical Technologies, Yerevan, Armenia, researcher of geomechanics and mining works laboratory of CJSC "Lernametalurgicai Institute"
E-mail - vrezh_hovakimyan@mmi.am |
| 17 Khachatryan Ashot Julvern | Dr. of Phys-math sci., Prof. Head of the Chair of Physics, NPUA
E-mail - ashot.khachatryan@gmail.com |
| 18 Litvinova Evgenia Ivan | Kharkov National University of Radio Electronics |
| 19 Manukyan Levon Andranic | Dr. sci. assoc. prof. of NPUA, Institute of Mining and Metallurgy and Chemical Technologies, director of LRC "Geoinjirig"
E-mail - manukyanlevon-a@rambler.ru |
| 20 Papoyan Robert Set | Post-graduate student of the Chair "Metallurgy and Material Science", NPUA
E-mail - robertspapoyan@gmail.com |

21 Parsamyan Anahit Frunz	Lecturer of the Chair of Physics NPUA E-mail - anahit.parsamyan@mail.ru
22 Safaryan Tatevik Nikolay	Cand. of tech. sci., NAS RA, Institute of General and Inorganic Chemistry, research scientist E-mail - for.tatevik@gmail.com
23 Simonyan Vigen Armen	Post-graduate student of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA E-mail - vigensimonyan2017@gmail.com
24 Torchyan Karapet Arzuman	Cand. of tech. sci., Pro-rector of NPUA E-mail - karapet.torchyan@gmail.com
25 Vasilyan Gayane Artash	Cand. of tech. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Metallurgy and Material Science”, NPUA E-mail - gayavasi@gmail.com
26 Zakaryan Edgar Gagik	Probationer, Chair of Metallurgy and Material Science, NPUA E-mail - edgarzakaryan@heznezh.com

«Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. տեխնիկական գիտությունների սերիա» հանդեսում տպագրվում են տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները տեխնիկական գիտությունների հետևյալ բաժիններից՝ մեքենաշինություն, մետալուրգիա, նյութագիտություն, ընդերքօգտագործման տեխնոլոգիաներ, շինարարական կառուցվածքներ, հիդրավիկա և հիդրոտեխնիկական կառույցներ, էներգետիկա, էլեկտրատեխնիկա, գիտական սարքաշինություն և չափողական տեխնիկա, հաշվողական տեխնիկա և ինֆորմատիկա, ռադիոէլեկտրոնիկա, միկրոէլեկտրոնիկա, լազերային տեխնիկա, ավտոմատացում և կառավարման համակարգեր:

Հանդեսում լուսաբանվում են ակադեմիական և ճյուղային գիտահետազոտական ինստիտուտների, բուհերի, գիտաարտադրական միավորումների և այլ կազմակերպությունների գիտական գործունեության առավել կարևոր արդյունքները:

Հանդեսի հիմնական նպատակն է խթանել գիտատեխնիկական առաջընթացը և նպաստել արտադրության մեջ այդ արդյունքների ներդրմանը:

Հանդեսը նախատեսված է ճարտարագետների, հետազոտողների և գիտնականների լայն շրջանների համար: Լույս է տեսնում երեք ամիսը մեկ անգամ:

В журнале "Известия Национальной академии наук РА и Национального политехнического университета Армении. Серия технических наук" публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований, охватывающих основные разделы технических наук: машиностроение, металлургия, материаловедение, технологии недропользования, строительные конструкции, гидравлика и гидротехнические сооружения, энергетика, электротехника, научное приборостроение и измерительная техника, вычислительная техника и информатика, радиоэлектроника, микроэлектроника, лазерная техника, автоматизация и системы управления.

Журнал является периодическим изданием, освещающим наиболее важные результаты научной деятельности академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и др.

Основная цель журнала - пропагандировать фундаментальные и прикладные исследования в области технических наук, способствовать внедрению их результатов и ускорению научно-технического прогресса в производстве.

Журнал рассчитан на широкий круг ученых, исследователей и инженеров. Выходит один раз в три месяца.

The journal "Proceedings of the Republic of Armenia National Academy of Sciences and National Polytechnic University of Armenia. Series of Technical Sciences" publishes the results of theoretical and experimental investigations concerning the main branches of technical sciences: mechanical engineering, metallurgy, material science, mining engineering, natura utilization, building constructions, hydraulics and hydrotechnical constructions, power and electrical engineering, scientific instrument making and measuring devices, computer science and informatics, radioelectronics, microelectronics, laser eequipment, automation and control systems.

The journal is a periodical edition that presents the most important results of scientific activities at academic and branch scientific-research institutions, universities, research - industrial companies, etc.

The main task of the journal is the propaganda of fundamental and applied investigations in the field of technical sciences, and the promotion of their introduction and the acceleration of scientific and technological progress in industry.

The journal is intended for a wide range of scientists, researchers and engineers. It is published once in three months.

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով, համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Footer-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է Sylfaen տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերեն կամ անգլերեն լինելու դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիշը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԺԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում՝ գլխատառերով հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում: Հոդվածի վերնագիրը տրվում է հեղինակի ազգանվանը հաջորդող տողի կենտրոնում՝ bold, ամբողջությամբ գլխատառերով՝ 10 տառաչափով՝ հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անոտացիա) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի 500 նիշից ոչ ավելի՝ ներառյալ միջակայքերը, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան վերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծի մեջ:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ. » և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականության ցանկ» արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, գլխատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և բջջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл статьи в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт Sylfaen (размер шрифта - 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏԴ, УДК, UDC); строкой ниже - инициалы (И.О.) и фамилия - заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен состоять не более чем из 500 знаков, включая пробелы. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание **“Ключевые слова”** - Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова *“Рис.”*, *“Таблица”*, а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Словосочетание **“СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ”** располагается в центре строки заглавными буквами, Bold. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

RULES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the Sylfaen, font size 10, and the texts in by Times New Roman, in font size 10 .

2. On the top left corner, the Universal Decimal Classifier is placed in the language of the manuscript (ՀՏԴ, УДК, UDC). The initials and the surname(s) in font size 10, bold for texts in Armenian, English and Russian should be in the centre of the next line. The title should be placed in the centre of the line following the author's surname in font size 10, bold, all in capital letters for texts in Armenian, English and Russian.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 500 characters including the spaces, the number of keywords or word combinations - 4-8.

4. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

5. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They should be printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

6. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

7. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author's initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the centre of the line in capital letters. In the list of references, each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals, the references should be introduced in the following style: the author's surname, initials, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the authors names, full title, publication place, publisher, year, total number of pages.

8. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

9. The manuscript should be signed by the author(s) with indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of employment place, educational institution; the position occupied scientific degree, telephone numbers (office, home, mobile).