

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

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 Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Գոնեյմա 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
Իլյուշենկո 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
Ղուկյան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Մանդալիկա Ս., տ.գ.թ., Հնդկաստան
Մարուխյան Ո.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ
Միխայլիչ Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Շլիխտման 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
Սարգսյան Յու.Լ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ստեփանյանի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Վարդյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., ՌԴ
Ցանովա Ս., տ.գ.թ., Բուլղարիա
Ուբար Ռ., 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

Асланян 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

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

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
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.D., Egypt
Ghulyan A.G., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Grimblatt V., Ph.D., 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.D., China
Mandalika S., Ph.D., India
Marukhyan V.Z., Ph.D., 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.D., USA
Sargsyan Yu.L., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Schlichtmann U., Ph.D., 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.D., USA

Հրատ. խմբագիր՝

Խմբագիրներ՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. Техн. наук), 2023

Ա.Ա. ԲԱԲԱՅԱՆ, Բ.Ս. ԲԱԼԱՍՄԱՆՅԱՆ, Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԵՐԿՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՄԲ

Խնդիրը լուծվում է չափագուրկ մեծություններով: Դա հնարավորություն է տալիս երկմետաղի բաղադրյալ խողովակների լուծումները ստանալ ինչպես ցանկացած հոծ, այնպես էլ տարբեր ծակոտկենությամբ եռակալված նյութերի իրական հատկությունների հաշվառմամբ:

Երկմետաղի ներքին խողովակը գտնվում է հարթ լարվածային վիճակում: Օգտագործվում են բարակապատ գլանական խողովակի տարրի կոնական մալամայրում հավասարակշռության դիֆերենցիալ և Լապլասի հավասարումները, ինչպես նաև Միգեսի պլաստիկության պայմանի պարզեցված տեսքը: Արդյունքում ինտեգրելով ստացված դիֆերենցիալ հավասարումը՝ չափագուրկ միջօրեական և շրջանային լարումների, ինչպես նաև v ընթացիկ ծակոտկենությունների որոշման համար ստացվում են բանաձևեր: Ընդ որում, v -ի որոշման համար օգտագործվում են ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացման տեսության բանաձևերը:

Երկմետաղի արտաքին խողովակը գտնվում է ծավալային լարվածային վիճակում, ինչի պատճառով նախորդի համեմատ փոխվում են Լապլասի հավասարումը և պարզեցված պլաստիկության պայմանը:

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել են երկմետաղի բաղադրիչ խողովակների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի (ԼԴՎ) թվային հաշվարկներ: Մասնավորապես՝ արտաքին խողովակի դեպքում համակարգչային մոդելավորումը կատարվում է՝ նախապես սահմանելով միջօրեական չափագուրկ լարման $\bar{\sigma}_{m0}$ -ի համար տարբեր սկզբնական արժեքներ: Խողովակների արտամղման գործընթացին կհամապատասխանի այնպիսի $\bar{\sigma}_{m0}$ -ի արժեք, երբ խողովակի $\bar{\sigma}_m$ միջօրեական լարումը մալամայրից դուրս գալու ժամանակ հավասարվի 0 - ի:

Առանցքային բառեր. երկմետաղական խողովակ, արտամղում, եռակալված նյութ, ծակոտկենություն, համակարգչային մոդելավորում:

Նախաբան: Երկմետաղական մեքենամասերը լայնորեն օգտագործվում են արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում որպես երկշերտ գլոցման վալեր, ատամնանիվներ, սալեր, թերթային գլոցվածքներ, չափիչ սարքեր, երկմետաղական լարեր, տարբեր նշանակություններով խողովակներ (այդ թվում՝ ջերմային) [1-3] և այլն: Դրանց ստացման համար կիրառվում են տեխնոլոգիական տարբեր գործընթացներ,

ներառյալ համապատասխան նախապատրաստվածքների կոշտ կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացմամբ մշակումը [4-8]: Ընդ որում, հոծ, եռակալված և չեռակալված նյութերից մեքենամասերի պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի (ԼԴՎ) ուսումնասիրության համար օգտագործվում են համապատասխան նյութերի պլաստիկության տեսությունների բանաձևեր [4, 8, 9]:

Նշենք, որ երկմետաղի շերտերի համատեղ պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացի վրա ազդում են բազմաթիվ գործոններ. դրանց մեխանիկական հատկությունները, շերտերի միջև շփման գործակիցների արժեքները, դրանց հաստությունների հարաբերությունը, դեֆորմացման գոտու չափսերը և դեֆորմացման աստիճանը:

Կատարվել է կլոր հատույթով հոծ, չեռակալված, եռակալված և երկմետաղական նախապատրաստվածքների կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացներին նվիրված աշխատանքների [8, 9] վերլուծություն:

Ի հայտ են բերվել ինչպես հոծ մետաղների, այնպես էլ մետաղական փոշուց պատրաստված կազմովի նախապատրաստվածքների պլաստիկ դեֆորմացման հիմնական առանձնահատկությունները: [8, 10] – ում այդ խնդիրը լուծվել է օգտագործելով հինգ հավասարումներից կազմված համակարգ:

Ցույց է տրվել, որ ընդհանուր դրվածքով խնդրի լուծումը կախված է մեծ դժվարությունների հետ: Հետևաբար՝ երկմետաղական խողովակների ԼԴՎ ուսումնասիրությունը, ինչը թույլ կտա ստանալ տվյալ հատկություններով արտադրանք և որոշել գործընթացի էներգետիկ պարամետրերը, շատ արդիական է:

Աշխատանքի նպատակն է եռակալված երկմետաղական խողովակի կոնական մամլամայրում պլաստիկ դեֆորմացման գործընթացի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի վերլուծական պարզեցված մեթոդներով հետազոտումը:

Ելնելով աշխատանքի նպատակից, գլանական երկմետաղյա խողովակի կոնական մամլամայրում արտամղման խնդիրը պարզեցված վերլուծական մեթոդով լուծելու համար, նախ՝ ընտրվում են դրա բաղադրիչ բարակապատ խողովակների միջև շփման բացակայության դեպքերը [11,12], լուծվում են միևնույն մամլամայրում դրանց արտամղման խնդիրները, իսկ այնուհետև՝ կատարվում է դրանց միավորում: Ընդ որում, բաղադրիչ խողովակների նյութերը կարող են լինել հոծ և ծակոտկեն, ինչը հնարավորություն կտա ստանալ տարբեր կառուցվածքներով երկմետաղյա խողովակներ. հոծ-հոծ (տարբեր նյութեր), ծակոտկեն-ծակոտկեն (տարբեր ծակոտկենություններ), ծակոտկեն-հոծ (նկ.1) և հոծ-ծակոտկեն:

1. Երկմետաղի ներքին խողովակի հետազոտումը: [11] – ում գնահատվում են խողովակի դեֆորմացիոն և լարվածային վիճակները: Երկու դեպքում էլ սկզբնական r_0 միջին շառավղով խողովակը (նկ.1), անցնելով կոնական մամլամայրով,

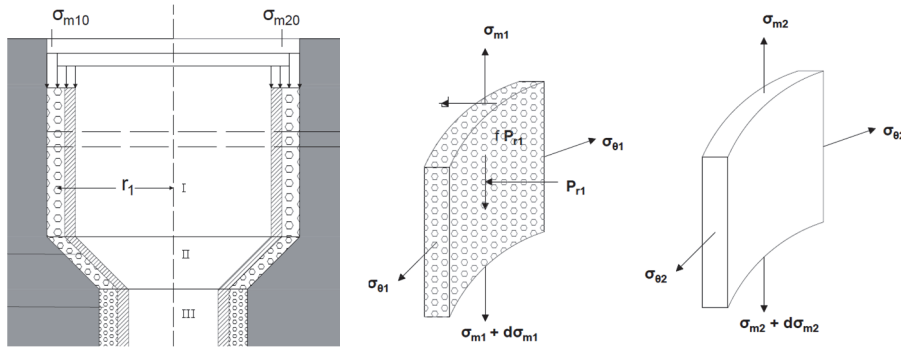
բարականում է, նրա շառավիղը դառնում r_1 : Ընդունենք, որ խողովակի պատի հաստությունը չի փոխվում:

Հիմնական դեֆորմացիան սեղմվող խողովակի շրջանայինն է՝

$$\overline{\varepsilon_\theta} = \ln\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad (1)$$

որտեղ r -ն ընթացիկ միջին շառավիղն է: Այդ դեպքում գլխավոր դեֆորմացիաների արժեքները կլինեն՝ $\varepsilon_1 = \varepsilon_m = -\varepsilon_\theta$, $\varepsilon_2 = \varepsilon_v = 0$ և $\varepsilon_3 = \varepsilon_\theta$ - ի (որտեղ ε_m - ը և ε_v -ն խողովակի միջօրեական և մակերևույթի նորմալի ուղղություններով լոգարիթմական դեֆորմացիաներն են), իսկ $\bar{\varepsilon}_i$ դեֆորմացիաների ինտենսիվությունը կորոշվի հետևյալ բանաձևով [4].

$$\varepsilon_i = \left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right) \sqrt{(\varepsilon_m - \varepsilon_v)^2 + (\varepsilon_v - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_m)^2} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) |\varepsilon_\theta| = (1,155) \ln(r_0/r): \quad (2)$$



Նկ.1. Երկմետաղական խողովակի արտամղման սխեման և դրա բաղադրիչներից անջատված տարրերը

Արտամղման դեպքում խողովակի բոլոր կետերի լարվածային վիճակը հարթ է, իսկ σ_m միջօրեական և σ_θ շրջանային լարումները գլխավոր լարումներ են:

$$\sigma_1 = 0, \sigma_2 = \sigma_m, \sigma_3 = \sigma_\theta: \quad (3)$$

Կոնական մամլամայրում բարակապատ գլանական խողովակի դեֆորմացման դեպքում հավասարակշռության հավասարումներն են [4]՝

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r h) - \sigma_\theta h + \frac{p_m r}{\sin \alpha} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_\theta}{\rho_\theta} = -\frac{p_v}{h}, \quad (5)$$

որտեղ $\rho_\theta = r / \cos \alpha$ - ն միջօրեական աղեղին ուղղահայաց կոնական մակերևույթով հատված թաղանթի կորության շառավիղն է, հ-ը՝ խողովակի պատի հաստությունը, p_m -ը և p_v -ն՝ միջօրեականի և նորմալի ուղղություններով խողովակի

արտաքին մակերևույթի վրա հպակային բաշխված բեռնվածքի ինտենսիվությունները, α – ն՝ միջորեականի շոշափողի և թաղանթի առանցքի միջև անկյունը:

Արտամղման դեպքում, հաշվի առնելով (3)-ը, Միգենի մոտարկված պլաստիկության պայմանը (ՊՊ) գրվում է հետևյալ տեսքով [6, 7].

$$\sigma_{\theta} = -\sigma_T: \quad (6)$$

Օգտագործելով (4) և (5) հավասարակշռության հավասարումները և (6) ՊՊ-ն՝ ստացվում է խնդրի լուծման հետևյալ դիֆերենցիալ հավասարումը՝

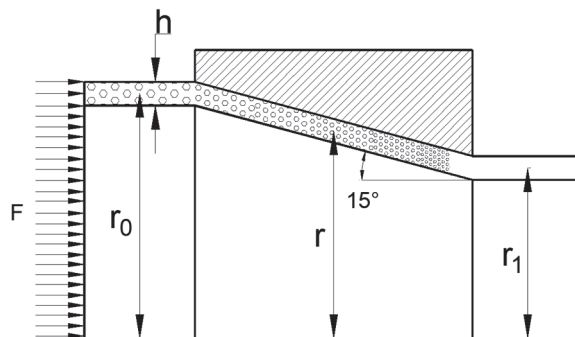
$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r) + (1 + \mu \tan \alpha) \sigma_T = 0,$$

որի լուծումը արտամղման (երբ $r = r_1, \bar{\sigma}_m = 0$) եզրային պայմանի դեպքում (նկ. 2) ներկայացվում է $\bar{\sigma}_m$ չափագուրկ միջորեական լարման որոշման հետևյալ բանաձևով՝

$$\bar{\sigma}_m = -(1 + \mu \tan \alpha)(1 - r_1/r): \quad (7)$$

Ինչ վերաբերում է $\bar{\sigma}_{\theta}$ չափագուրկ շրջանային լարման որոշմանը, ապա դրա համար օգտագործվում է (6) բանաձևը՝

$$\bar{\sigma}_{\theta} = -1: \quad (8)$$



Նկ. 2. Բարակապատ խողովակի արտամղման սխեման

Այսպիսով, խողովակի արտամղման դեպքում լարվածային վիճակի չափագուրկ բաղադրիչների որոշման համար օգտագործում են (7) և (8) բանաձևերը:

Եռակալված խողովակների մամլման դեպքում նյութի ծակոտկենության որոշումը: Դրա համար օգտագործվում է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացման տեսության (ՄՆՊՏ) ծակոտկենության որոշման հետևյալ բանաձևը [8, 10]՝

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

որտեղ v_0 -ն նյութի սկզբնական ծակոտկենությունն է, m և n -ը՝ նյութի ծակոտկենության պարամետրերը, $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ ՝ միջին լարումը:

Ընդունենք, որ նյութը չամրացող է, այսինքն $\sigma_{eq} = \sigma_{nv}$, և դեֆորմացիաների համարժեքայինը, [11] – ի համաձայն, փոխարինում ենք դեֆորմացիաների ինտենսիվությամբ՝ $\bar{\varepsilon}_{eq} = \bar{\varepsilon}_i$:

Թվային հաշվարկները կատարվել են MS EXCEL ծրագրային միջավայրում:

Աղ. 1 – ում բերված են շփման բացակայության դեպքում խողովակի ԼԴՎ բաղադրիչների և նյութի ընթացիկ ծակոտկենության արժեքների փոփոխությունները կոնական մամլամայրում r/r_0 - ից կախված: Ընդ որում, տրված են շփման գործակիցը $\mu = 0$, $\alpha = 14^\circ$, $c = 1 + \mu \tan \alpha = 1$, նյութի սկզբնական ծակոտկենությունների արժեքները՝ $v_1 = 0,1$, $v_2 = 0,2$ և $v_3 = 0,3$, ինչպես նաև նյութի ծակոտկենության պարամետրերի մեծությունները՝ $m = 1$, $n = 0,25$:

Աղյուսակ 1

Խողովակի՝ առանց շփման արտամղման տվյալները, երբ $c = 1 + \mu \tan \alpha = 1$

r	r/r_0	$\bar{\varepsilon}_\theta$	$\bar{\varepsilon}_i$	r_1/r	$\bar{\sigma}_m$	$\bar{\sigma}_0$	v_1	v_2	v_3
12,50	1	0	0	0.6	-0.400	-0.467	0.1	0.2	0.3
12,25	0.98	-0.020	0.023	0.612	-0.388	-0.463	0.090	0.181	0.273
12	0.96	-0.041	0.047	0.625	-0.375	-0.458	0.081	0.162	0.245
11,75	0.94	-0.062	0.071	0.638	-0.362	-0.454	0.071	0.143	0.215
11,50	0.92	-0.083	0.096	0.652	-0.348	-0.449	0.061	0.123	0.185
11,25	0.9	-0.105	0.122	0.667	-0.333	-0.444	0.051	0.102	0.153
11	0.88	-0.128	0.148	0.682	-0.318	-0.439	0.041	0.082	0.120
10,75	0.86	-0.151	0.174	0.698	-0.302	-0.434	0.031	0.060	0.086
10,50	0.84	-0.174	0.201	0.714	-0.286	-0.429	0.021	0.039	0.051
10,25	0.82	-0.198	0.229	0.732	-0.268	-0.423	0.011	0.017	0.015
10	0.8	-0.223	0.258	0.75	-0.250	-0.417	0.001	-0.005	-0.022

2. Երկմետաղի արտաքին խողովակի հետազոտումը: [12] - ում շփման հաշվառման դեպքում երկմետաղական խողովակի արտամղման խնդրի լուծման տեսակետից դրա արտաքին խողովակի խնդրի լուծման համար, որը ենթադրվում է՝ բեռնավորված է p_r ներքին բարձր ճնշումով, օգտագործվում է մամլամայր մտնող լայնական հատությամբ σ_{m0} ՝ սեղմող միջօրեական լարում կիրառելով: Այդ դեպքում σ_1 , σ_2 և σ_3 գլխավոր լարումներն են՝

$$\sigma_1 = \sigma_m < 0, \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_\theta = -p_v = -p_r < 0, \quad (10)$$

որտեղ p_v - ն մամլամայրի նորմալ ճնշումն է խողովակի վրա:

[12]-ում խնդիրը լուծվում է չափագուրկ $\bar{\sigma}_m$ միջօրեական և $\bar{\sigma}_\theta$ շրջանային լարումներով ($\bar{\sigma}_m = \sigma_m/\sigma_h$ և $\bar{\sigma}_\theta = \sigma_\theta/\sigma_h$), օգտագործելով հետևյալ հավասարակշռության հավասարումը (ՀՀ) [12].

$$\frac{d}{dr}(\sigma_m r) - \sigma_\theta + \frac{2p_m}{\sin 2\alpha} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_\theta}{\rho_\theta} = -\frac{p_v - p_r}{h} - \frac{p_v + p_r}{2\rho_\theta}, \quad (12)$$

որտեղ p_v -ն խողովակի վրա մամլամայրի ճնշումն է նորմալի ուղղությամբ, σ_h - ը՝ խողովակի նյութի հոսունության սահմանը:

Այդ դեպքում խողովակի հավասարակշռության հավասարումն ու նյութի պլաստիկության պայմանն ունենում են հետևյալ տեսքը.

$$r \frac{d\bar{\sigma}_m}{dr} + \bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_\theta(1 + k) = 0, \quad (13)$$

$$\bar{\sigma}_\theta = \bar{\sigma}_m - 1, \quad (14)$$

որտեղ $k = 2f/\sin 2\varphi$ - ն շփումը հաշվի առնող գործակից է, f - ը՝ խողովակի կոնական մամլամայրի հետ շփման գործակիցը (նկ. 1):

Մյուս դեպքում օգտագործվում է [11] հիմնական հավասարակշռության հավասարման պարզեցված մեթոդը, երբ $k = 0$: Այդ դեպքում [11] - ը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$r \frac{d\bar{\sigma}_m}{dr} + \bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_\theta = 0: \quad (15)$$

(14) պլաստիկության պայմանից $\bar{\sigma}_\theta$ -ն տեղադրելով (15) - ի մեջ և աստիճանաբար ձևափոխելով՝ կստանանք.

$$r \frac{d\bar{\sigma}_m}{dr} + 1 = 0, d\bar{\sigma}_m = -\frac{dr}{r}: \quad (16)$$

Ինտեգրելով (16) - ը, կստանանք.

$$\bar{\sigma}_m = -\ln r + \ln C: \quad (17)$$

Ինտեգրման C , հաստատունը որոշելու համար նախ (17) - ը փոխակերպենք հետևյալ տեսքի՝

$$\bar{\sigma}_m = \ln \frac{C}{r}, \quad (18)$$

իսկ հետո օգտագործենք եզրային պայմանը:

Խողովակների արտամիջման եզրային պայմանը, ըստ նկ. 2-ի, երբ այն մտնում է մամլամայր, ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\text{երբ } r = r_0, \bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{m0}, \quad (19)$$

որը թույլ է տալիս (18) -ից որոշել C -ն՝

$$C = r_0 \cdot e^{\bar{\sigma}_{m0}}: \quad (20)$$

Տեղադրելով (20) - ը (17) - ում և քայլ առ քայլ վերափոխելով, ստացվում է $\bar{\sigma}_m$ միջօրեական լարման որոշման բանաձևը.

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_m &= -\ln r + \ln C = \ln \frac{r_0}{r} + \bar{\sigma}_{m0}, \\ \bar{\sigma}_m &= -\ln r + \ln r_0 e^{\bar{\sigma}_{m0}}, \\ \bar{\sigma}_m &= -\ln r + \ln r_0 + \ln e^{\bar{\sigma}_{m0}}, \\ \bar{\sigma}_m &= \bar{\sigma}_{m0} + \ln \frac{r_0}{r}: \end{aligned} \quad (21)$$

Եռակալված խողովակների նյութի խտացման գործընթացի հետազոտման համար կարևոր նշանակություն ունեցող $\bar{\sigma}_0 = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)/3$ միջին լարման չափագուրկ մեծությունը որոշվում է՝ հաշվի առնելով (10) և շրջանային $\bar{\sigma}_\theta$ լարման (14) բանաձևերը.

$$\bar{\sigma}_\theta = \bar{\sigma}_m - 1, \bar{\sigma}_0 = (\bar{\sigma}_m + 2\bar{\sigma}_\theta)/3: \quad (22)$$

Նշենք նաև, որ ունենալով չափագուրկ լարումների մեծությունները և նյութի հոսունության սահմանը՝ կարող ենք որոշել գործնական մեծ նշանակություն ունեցող, σ_m և σ_θ իրական լարումները հետևյալ բանաձևերով՝

$$\sigma_m = \bar{\sigma}_m(1 - \nu)^{n+0.5} \sigma_h \text{ և } \sigma_\theta = \bar{\sigma}_\theta(1 - \nu)^{n+0.5} \sigma_h, \quad (23)$$

որոնք կիրառելի են ինչպես հոծ, այնպես էլ ծակոտկեն նյութերի դեպքում:

Նյութի ընթացիկ ծակոտկենության արժեքների որոշման համար անհրաժեշտ է օգտագործել ՄՆՊԴՏ (9) բանաձևը:

Բարակապատ խողովակի արտամիջման խնդրի թվային հաշվարկները կատարելու համար օգտագործենք հետևյալ մեծությունները. մամլամայրի կոնականության անկյունը՝ $\varphi = 14^\circ$, խողովակի սկզբնական և արտադրանքի տրամագծերը՝ $D_0 = 25$ մմ և $d = 20$ մմ (նկ.2):

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում ներքին ճնշմամբ բեռնված խողովակների արտամիջման գործընթացի թվային հաշվարկները կատարվել են շփման բացակայության դեպքում ($f = 0, k = 0$)՝ օգտագործելով (21) և (22) բանաձևերը:

Աղ. 2-ում բերված են լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների և ընթացիկ ծակոտկենության տվյալները $k = 0$ նյութի սկզբնական ծակոտկենության 0,1; 0,2 ; 0,3 դեպքերում, երբ $m = 1$ և $n = 0,25$ [3]:

Աղյուսակ 2

Խողովակի՝ առանց շփման ($k = 0$) մամլման տվյալները սկզբնական միջօրեական լարման $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$ արժեքի դեպքում

r	r/r_0	$-\bar{\epsilon}_\theta$	$\bar{\epsilon}_i$	$-\bar{\sigma}_m$	$-\bar{\sigma}_\theta$	$-\bar{\sigma}_0$	v_{10}	v_{20}	v_{30}
12,5	1	0	0	0.223	1.223	0.890	0.100	0.200	0.300
12,25	0.98	0.020	0.023	0.203	1.203	0.869	0.082	0.165	0.248
12	0.96	0.041	0.047	0.182	1.182	0.849	0.064	0.129	0.194
11,75	0.94	0.062	0.071	0.161	1.161	0.828	0.047	0.093	0.138
11,5	0.92	0.083	0.096	0.140	1.140	0.806	0.029	0.056	0.079
11,25	0.9	0.105	0.122	0.118	1.118	0.784	0.012	0.020	0.020
11	0.88	0.128	0.148	0.095	1.095	0.762	-0.004	-0.016	-0.041
10,75	0.86	0.151	0.174	0.072	1.072	0.739	-0.020	-0.052	-0.102
10,5	0.84	0.174	0.201	0.049	1.049	0.715	-0.036	-0.087	-0.164
10,25	0.82	0.198	0.229	0.025	1.025	0.691	-0.050	-0.121	-0.224
10	0.8	0.223	0.258	0.000	1.000	0.667	-0.064	-0.153	-0.283

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել է գործընթացի համալարգչային մոդելավորում՝ նախապես սահմանելով միջօրեական չափագուրկ լարման $\bar{\sigma}_{m0}$ - ի համար տարբեր սկզբնական արժեքներ: Խողովակների արտամղման գործընթացին կհամապատասխանի այնպիսի $\bar{\sigma}_{m0}$ - ի արժեք, երբ խողովակի $\bar{\sigma}_m$ միջօրեական լարումը մամլամայրից դուրս գալու ժամանակ կհավասարվի 0 - ի: Աղ. 2-ում ցույց են տրված ընթացիկ r շառավիղների փոքրացման 0,25 քայլի՝ լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բաղադրիչների տվյալները $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$ արժեքի դեպքում: Աղյուսակից երևում է, որ խողովակների նյութի սկզբնական 10, 20 և 30% ծակոտկենությունները շփման գործակցի $k = 0$ դեպքում դեֆորմացիաների ինտենսիվության $\bar{\epsilon}_i = 0,122$ - ից մինչև 0,148 միջակայքում դառնում են 0:

Գլանական երկմետաղական խողովակի բաղադրյալ բարակապատ խողովակների միջև շփման բացակայության դեպքերում դրանց արտամղման խնդիրները պարզեցված վերլուծական մեթոդներով լուծվել են միևնույն կոնական մամլամայրում:

3. Երկմետաղի բաղադրյալ խողովակների միավորումը: Երկմետաղական բաղադրյալ խողովակների նյութերը կարող են լինել հոծ և ծակոտկեն, ինչը հնարավորություն կտա՝ ստանալու տարբեր կառուցվածքներով երկմետաղական խողովակներ, որոնցից մեկը՝ ծակոտկեն-հոծը, ցույց է տրված նկ.1- ում: Գործնական

կարևոր նշանակություն ունի միննույն սկզբնական 10, 20 և 30% ծակոտկենություններով ծակոտկեն-ծակոտկեն կառուցվածքով երկմետաղական խողովակի դիտարկումը: Դրա համար աղ. 3 – ում բերված են միայն նշված ծակոտկենությունների համապատասխան արժեքները:

Աղյուսակ 3

Խողովակի՝ առանց շփման ($k = 0$) մամլման տվյալները սկզբնական միջօրեական լարման $\bar{\sigma}_{m0} = -0,223$ արժեքի դեպքում

$r, \text{մմ}$	r/r_0	$-\bar{\epsilon}_0$	$\bar{\epsilon}_1$	v_{10}	v_{20}	v_{30}	v_1	v_2	v_3
12,5	1	0	0	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
12,25	0.98	0.020	0.023	0.082	0.165	0.248	0.090	0.181	0.273
12	0.96	0.041	0.047	0.064	0.129	0.194	0.081	0.162	0.245
11,75	0.94	0.062	0.071	0.047	0.093	0.138	0.071	0.143	0.215
11,5	0.92	0.083	0.096	0.029	0.056	0.079	0.061	0.123	0.185
11,25	0.9	0.105	0.122	0.012	0.020	0.020	0.051	0.102	0.153
11	0.88	0.128	0.148	-0.004	-0.016	-0.041	0.041	0.082	0.120
10,75	0.86	0.151	0.174	-0.020	-0.052	-0.102	0.031	0.060	0.086
10,5	0.84	0.174	0.201	-0.036	-0.087	-0.164	0.021	0.039	0.051
10,25	0.82	0.198	0.229	-0.050	-0.121	-0.224	0.011	0.017	0.015
10	0.8	0.223	0.258	-0.064	-0.153	-0.283	0.001	-0.005	-0.022

Նշենք որ, 0 ինդեքսով ծակոտկենությունները վերաբերում են ներքին ճնշումով բեռնավորված խողովակին: Դրանց համեմատումը ցույց է տալիս, որ երկմետաղի արտաքին խողովակը, կոնական մամլամայրի ընթացիկ շառավղի $r = 11 \text{ մմ}$ – ի դեպքում արդեն խտացել է (բացասական ծակոտկենությունը նշանակում է, որ այն արդեն 0 է):

Եզրակացություն. Այսպիսով, գլանական երկմետաղական խողովակի կոնական մամլամայրում արտամիջման խնդիրը, պարզեցված վերլուծական մեթոդով լուծելու համար, ընտրվել է դրա բաղադրիչ բարակապատ խողովակների միջև շփման բացակայության դեպքը, լուծվել են միննույն մամլամայրում դրանց արտամիջման խնդիրները, իսկ այնուհետև կատարվել է դրանց միավորում:

Երկմետաղի ներքին խողովակը գտնվում է հարթ լարվածային, իսկ արտաքինը՝ ծավալային լարվածային վիճակներում: Խնդիրները լուծվել են լարումների չափագուրկ մեծություններով: Օգտագործվել են եռակալված նյութի ընթացիկ ծակոտկենության որոշման ՄՆՊՂՏ բանաձևը, Միգեսի պլաստիկության պայմանի պարզեցված տեսքերը, ինչպես նաև բարակապատ գլանական խողովակի կոնական մամլամայրում դեֆորմացման երկուական հավասարակշռության հավասարումները, որոնցից դիֆերենցիալը նույնն է:

Նշենք նաև, որ ունենալով չափագուրկ լարումների մեծությունները և նյութերի հոսունության սահմանները՝ կարող ենք որոշել գործնականում մեծ նշանակություն ունեցող, իրական լարումները ինչպես հոծ, այնպես էլ ծակոտկեն նյութերի դեպքում:

MS EXCEL ծրագրային միջավայրում իրականացվել են գործընթացի համակարգչային մոդելավորում և թվային հաշվարկներ: Ցույց է տրվել, որ երկմետաղական արտաքին խողովակը կոնական մամլամայրի ընթացիկ շառավղի $r = 11$ մմ-ի դեպքում (դեֆորմացիաների ինտենսիվության՝ $\varepsilon_i = 0,148$) արդեն խտացել է:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник/ **И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др.**- Киев: Наукова думка, 1985.- 624 с.
2. **Аркулис Г.Э.** Совместная пластическая деформация разных металлов.-М.: Металлургия, 1964.-269 с.
3. **Дан П.Д., Рей Д.А.** Тепловые трубы: Пер. с англ.- М.: Энергия, 1979.-272 с.
4. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975.-309 с.
5. **Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш.** Механика пластических деформаций при обработке металлов.-М.: Машиностроение, 1969.-503 с.
6. **Джонсон У., Меллор П.Б.** Теория пластичности для инженеров.-М.: Машиностроение, 1979. - 567 с.
7. **Сторожев М.В., Попов Е.А.** Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977.-423 с.
8. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов.-М.: Металлургия, 1988.-153 с.
9. A modified Drucker-Prager Cap model for die compaction simulation of pharmaceutical powders/ **L.H. Han, J.A. Elliott, A.C. Bentham, A. Mills, G.E. Amidon, B.C. Hancock** // International Journal of Solids and Structures.-2008.-45.-P.3088-3106.
10. **Петросян Г.Л.** Формование слоисто-пористых биметаллических труб в конических матрицах // Известия АН АрмССР. Серия ТН.-1980.- Т. 33, N 6.- С. 15 – 21.
11. **Бабаян А.А.** Исследование процесса прессования спеченной тонкостенной трубы в конической матрице упрощенным методом // Межвузовский сборник «НАУКОВИ НОТАКИ».- ЛУЦК, Украина, ЛНТУ, 2019.- Выпуск N68.- С. 6-11.
12. **Бабаян А.А.** Исследование процесса экструзии спеченной тонкостенной трубы, нагруженной внутренним высоким давлением, при отсутствии трения и с учетом граничного условия при входе в матрицу // Вестник НПУА: Механика, Машиноведение, Машиностроение. – 2022. - №2. – С.23-34.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.11.2023:

А.А. БАБАЯН, Б.С. БАЛАСАНЯН, Г.Л. ПЕТРОСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ КОМПЬЮТЕРНЫМ
МОДЕЛИРОВАНИЕМ**

Задача решается с безразмерными величинами. Это позволяет получать решения из биметаллических композитных труб с учетом реальных свойств любого сплошного материала, а также спеченных материалов с различной пористостью.

Внутренняя трубка биметаллической трубы находится в плоском напряженном состоянии. Используются дифференциальное уравнение элемента конической части трубы и уравнения Лапласа тонкостенной цилиндрической трубы в конической матрице, а также упрощенная форма условия пластичности Мизеса. В результате интегрирования полученного дифференциального уравнения получены формулы для определения безразмерных меридиональных и окружных напряжений, а также текущих пористостей v . Кроме того, для определения v используются формулы деформационной теории пластичности пористых материалов.

Внешняя трубка биметаллической трубы находится в объемном напряженном состоянии, в результате чего изменяются уравнение Лапласа и упрощенное условие пластичности по сравнению с предыдущим случаем.

Проведены численные расчеты напряженно-деформированного состояния биметаллических комплектующих труб в программной среде MS EXCEL. В частности, выполнено компьютерное моделирование внешней трубы, предварительно задавая различные начальные значения меридионального безразмерного напряжения $\bar{\sigma}_{m0}$. Показано, что процессу экструзии трубы соответствует такое начальное значение $\bar{\sigma}_{m0}$ напряжения, при котором меридиональное напряжение $\bar{\sigma}_m$ трубы при выходе из матрицы равно нулю.

Ключевые слова: биметаллическая труба, экструзия, спеченный материал, пористость, компьютерное моделирование.

A.A. BABAYAN, B.S. BALASANYAN, G.L. PETROSYAN

**INVESTIGATING THE STRESS-STRAIN STATE OF OBTAINING
BIMETALLIC PIPES THROUGH COMPUTER MODELING**

The problem is solved with dimensionless quantities. This makes it possible to obtain solutions from bimetallic composite pipes taking into account the real properties of any solid material, as well as bimetallic materials with different porosities.

The inner tube of the bimetallic pipe is in a state of plane stress. The differential equation of the element of the conical part of the pipe and the Laplace equation of a thin-walled cylindrical pipe in a conical matrix, as well as a simplified form of the Mises plasticity condition are investigated. As a result, by integrating the obtained differential equation, formulas for determining dimensionless meridional and circumferential stresses are obtained, as well as current porosities v . In addition, to determine v , formulas from the deformation plasticity theory of porous materials are used.

The outer tube of the bimetallic pipe is in a state of dimensional stress. As a result, the Laplace equation and the simplified plasticity condition change compared to the previous one.

Numerical calculations of the stress-strain state of bimetallic completing pipes are carried out in the MS EXCEL software environment. In particular, computer modeling of the outer pipe is carried out by the preliminary determination of various initial values of the meridional dimensionless stress $\bar{\sigma}_{m0}$. It is shown that to the pipe extrusion process corresponds an initial stress value $\bar{\sigma}_{m0}$ at which the meridional stress $\bar{\sigma}_m$ of the pipe upon the exiting value is zero.

Keywords: bimetallic pipe, extrusion, sintered material, porous, computer modeling.

H.A. ISUNTS, A.H. DAVTYAN, V.SH. AVAGYAN**DEFORMED STATE'S SIMULATION OF THE FIRST-GRADE
TITANIUM FOIL OF THE ACCELERATOR OUTPUT WINDOW**

The output accelerator windows, particularly the used metal foils are studied. The work was carried out to assess the strength of the first-strength grade titanium foil and the choice of variable parameters of the thickness of the foil. Depending on the latter, the simulation was performed by the finite element analysis in the ABAQUS automated software environment. The distributions of displacements, plastic strains of concavity caused by pressure differences, and radial and circumferential stresses have been studied in the foil's static state for 10 metal foils with a thickness of 50...500 *microns*. The basic dimensions of the titanium metal film are introduced: thickness and diameter. Atmospheric pressure was applied as an external force of influence, and the vacuum pressure was assumed to be zero. The metal shells were divided into a large number of nodes, which ensured higher accuracy for simulations. As a result of simulation, curves of the displacements of the selected points of the metal foil in the direction of the Y axis, depending on the values of the radiuses, and the curves of the strains intensities distributions of the metal foil were built, which were also analyzed. The metal foil of the output window was investigated so that simulation results could be applied to both output windows: mechanical connection and diffusion connection.

Keywords: output window, titanium metal foil, vacuum, deformed state.

Introduction. Accelerator output windows play the primary role in accelerator technology, especially in the linear electron accelerator AREAL. Since an ultra-high vacuum is provided in the accelerator, it is necessary to transfer an electron beam from a vacuum to an atmospheric pressure environment, preserving the characteristics of the beam as much as possible.

Modern accelerators are used not only for research purposes but also for solving practical problems. Today particles generated by accelerators can penetrate into any surface, the size of which sometimes reaches several meters. This property of accelerated particles is widely used in a high number of fields. Accelerated particles are no less widely used in radiation technologies, particularly in new materials production (modification), sterilization of medical devices, environmental protection, radiation treatment of food, etc. Obtaining new materials significantly impacts modern mechanical engineering, aircraft engineering, automotive maintenance, the military industry, the production of household items, etc. New

materials make it possible to obtain parts with higher physical and mechanical properties in military aircraft, weapons, ammunition productions, and other places. Polymerization makes it possible to obtain new types of modified porous materials, which are also widely used in the production of heat pipes, filters, etc. Electron accelerators make it possible to clean the environment, for example, natural water, running water and its deposits, and emitted gases, as well as recycle solid waste.

Charged particle accelerators are complex equipment and combine various fields of science and technology: radio frequency systems, magnetic systems, vacuum systems, thermoregulation systems, radiation diagnostics technologies, etc. Only an effective combination of all systems and subsystems allows you to control the accelerator and get the desired result. The subsystems include the output windows (Fig. 1), which are an integral part of the accelerator and whose purpose is to extract charged particles from the environment of ultrahigh vacuum ($10^{-8} \dots 10^{-10}$ mbar).

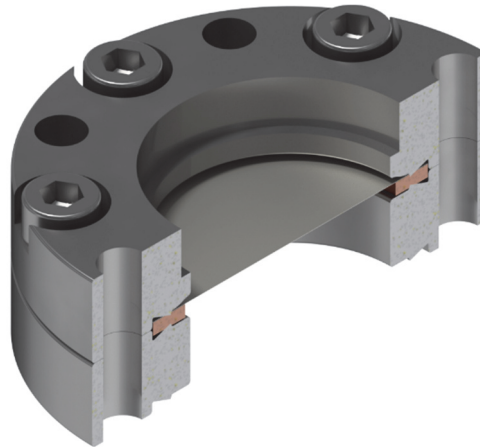


Fig. 1. An accelerator output window model

Since electron accelerators operate in a vacuum environment, a beam of electrons is exited into an atmospheric pressure environment through an output window. The latter has a simple design consisting of one or two flanges, gasket and a metal shell(s). Along with such a simple design, it is difficult to maintain the tightness of the connection, stability, and durability of foil. In literature, examples of patents for output windows with a mechanical connection are given [1-3], from which in [1] it is not determined from what material the sealing ring is made of, and the flange geometry is not shown in the area of its landing, which doesn't comply with international standards of vacuum connections. So, at least, there is a problem with the system's sealing. In [2], a constructive solution is given in terms of the strength of foil, taking two metal foils instead of one, however, in this case, repeated problems arise with inaccuracies in the assembly of the unit and

maintaining the stability of the foil. [3] is a solution of a mechanical construction with two foils, between which an intermediate gas (or atmospheric gas with a lower pressure or other inert gas) is poured, which pressure must be controlled by a measuring and signaling unit. Thus, in [3], the problem of stability of two foils was solved (although with the addition of assistive resources), but from the point of view of the beam, it will have a certain scattering in four layers (foil – inert gas – foil – atmosphere) instead of two (foil – atmosphere), which will negatively affect the output parameters of the accelerator. In [4], was designed and calculated a rectangular output window (for specific purposes), in which only the distribution of stress intensity on the foil was studied, and titanium flanges were used. In [5], the structure of the output window with a beryllium metal coating and titanium flanges was studied. It is obvious that in [4, 5] quite expensive and not accessible materials were used, and special-purpose output windows were obtained. In [6], a diagram of the deformation of the first-grade titanium foil with different granule sizes and different heat treatment temperatures was obtained experimentally. The diagrams obtained in [6-8] are applicable for performing virtual calculations of foils as properties characterizing their real elastic-plastic state, which are absent in all calculations in literature, leading to big inaccuracies. Thus, having studied the characteristics of the foils used in the output windows used in accelerator technology, we can say that the later deserves a more thorough study.

The purpose of the work is a computer simulation of the deformed state of the first-grade titanium foils used in accelerator technology.

The initial data of the task. The process was simulated in the SIMULIA 2019 software environment (ABAQUS) with the following initial data: the studied foil thicknesses $\delta = 50 \dots 500$ microns, diameter $d = 36.83$ mm. Since the function of the output windows is to conduct an electron beam from a vacuum to an atmospheric pressure environment with minimal losses, the atmospheric pressure of 1 atm used as an external influence.

The influence of the vacuum is assumed to be 0 atm since an ultra-high vacuum is provided in the accelerators, the pressure of which is $10^{-8} \dots 10^{-10}$ torr. The separation range of the foil finite element grid: the number of nodes is 1110...5166, the type of cubic elements is CAX4R, and the number of elements is 920...4422. The simulation was carried out for an axisymmetric foil section (Fig. 1).

Based on the studies carried out in [7], the deformation diagram of a pure first-grade titanium material was used for modeling (Fig. 2) as a plastic property of it. The following physical and mechanical properties of the material were also introduced as initial data: density $\rho = 4510$ kg/m³, Young's modulus $E = 1,05 \cdot 10^5$ MPa, Poisson's ratio $\mu = 0,37$.

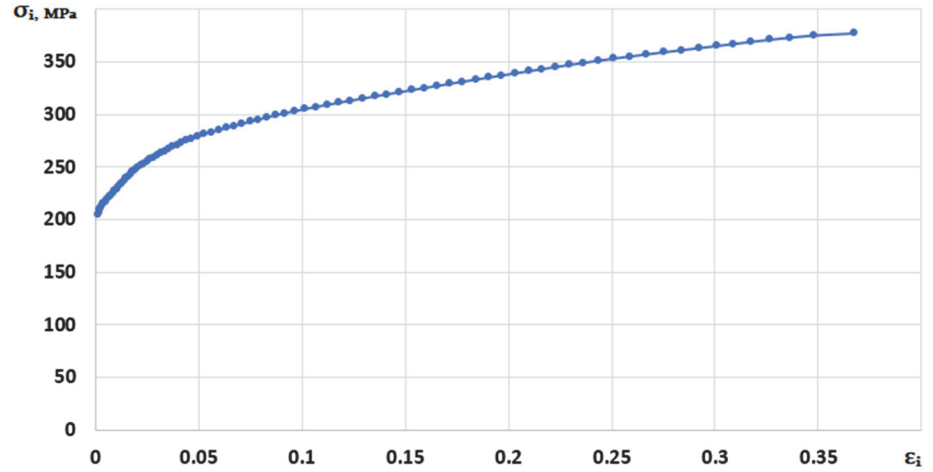
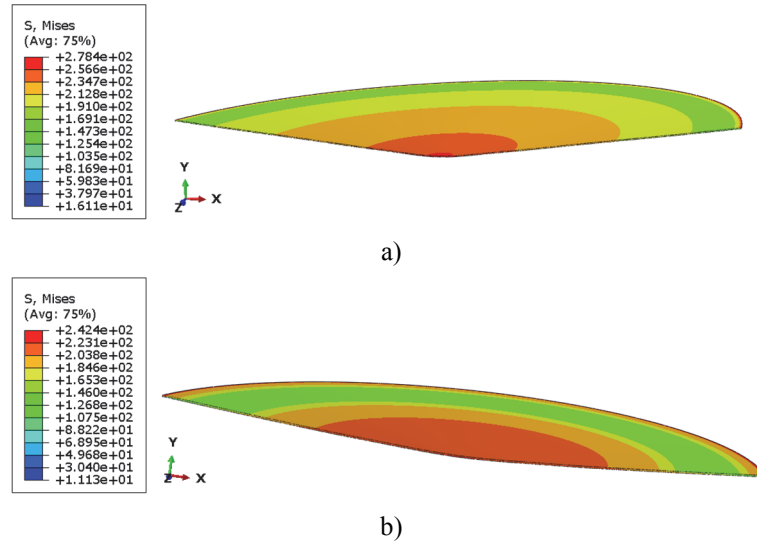


Fig.2. Deformation diagram of the first-grade titanium material

Modeling of the first strength grade titanium foil of accelerator output windows. Due to the influence of the atmospheric pressure, the titanium foil in the accelerator output window unit undergoes plastic deformation up to its plastic destruction. Since there are no studies of the stress-strain states of the foils of the output windows of accelerators in the available literature, the primary task is to study only the foil as the most vulnerable part of the output window.

Fig. 3 shows the zones of stress intensity distribution ($\sigma_i = Mises$) and deformations ($\varepsilon_i = PEEQ$) and displacements in the direction of the y axis ($u_y = U2$).



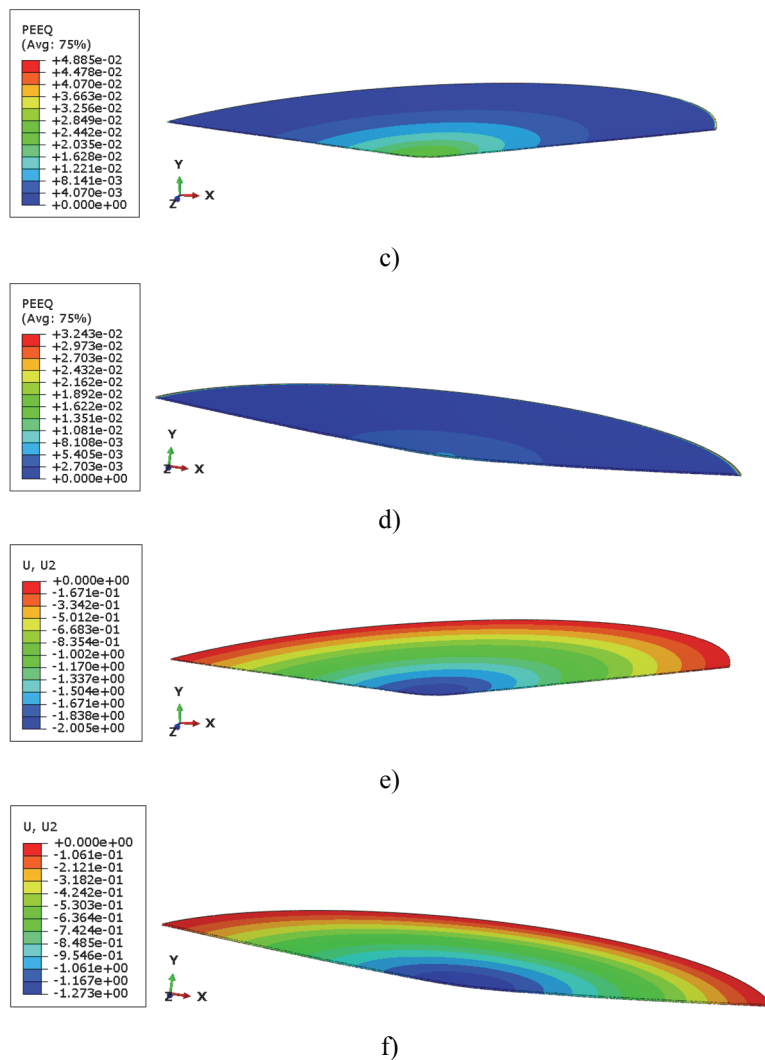


Fig. 3. Zones' distribution of the stress-strain state of the titanium shell: σ_i (a, b), ε_i (c, d), u_y (e, f), where: $\delta=60$ microns (a, c, e) and $\delta=100$ microns (b, d, f)

When the foil is mechanically connected, it is attached at the edges between the flange and the O-ring, i.e. the fastening is carried out along the flange's knife edge. Based on the above, in the ASE, the foil was fixed in diameter with the deprivation of six degrees of freedom. The modeling was carried out in the APS "ABAQUS" for the 10 thicknesses of the foils. A total of 30 distribution zones were obtained, 6 of which are shown in Fig. 2.

The simulation output from the finite element analyses was derived from the fixed section of the foil to the center. Since the foil bends towards the vacuum, and

the nodes on this side receive maximum displacements, it is advisable to take the values of the stress-strain state components from this side. The following diagrams were obtained for the above nodes (Fig. 4).

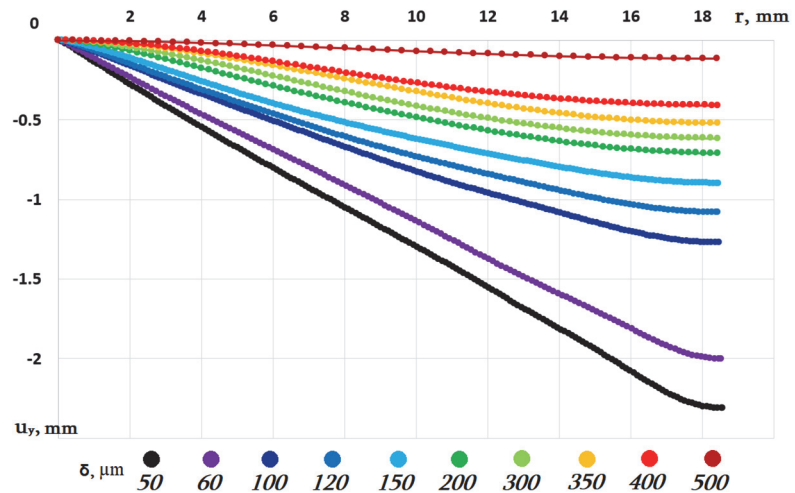


Fig. 4. Displacements of the selected nodes of the foil relative to the Y axis depending on the values of the radius

Fig. 4 shows the displacements of the selected nodes of the foil in the direction of the Y axis for 10 thicknesses of the range $\delta=50\ldots500$ microns. The diagrams obtained correspond to the shapes of the sections of foil. The greatest interest are the displacements of the central nodes of the foil, which at a thickness of 50 and 60 microns take quite large values. During the study of thicknesses, revealed the phenomenon that at a thickness of 60 microns, radial and circumferential stresses (σ_m, σ_θ) for all nodes in the fixation zone, they take positive values, whereas at a thickness of 100 microns, the stresses in the nodes from the atmospheric pressure side are positive, and in the nodes from the vacuum side are negative (Fig. 5). From the above, it is obvious that in the range from 60 to 100 microns there is a value δx of the foil thickness, starting from which, from the vacuum side, the stresses take negative values. Analyzing it, we can say that under the condition $\delta < \delta x$, the foil in the support nodes undergoes tensile deformations over the entire thickness, and at $\delta x > \delta$, the foil works like a beam (the upper fibers are stretched, the lower ones: compressed). The phenomenon is more clearly shown in Fig. 5.

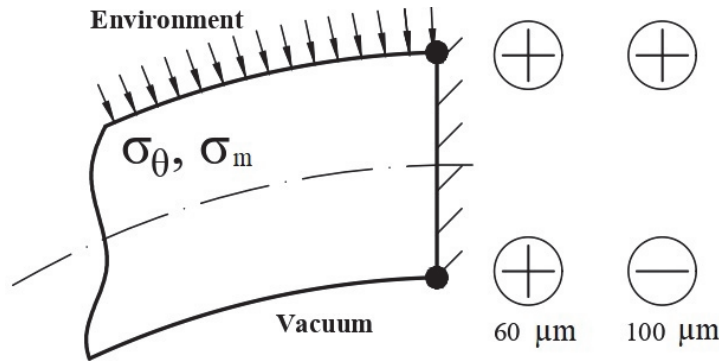


Fig. 5. σ_θ , σ_m stresses' signs in the fixed zone of foil for thicknesses in the range from 60 to 100 microns

To choose the optimal thickness, in addition to the displacements of the nodes, it is necessary to study another important parameter: plastic deformation. Fig. 6 shows the strain intensity curves (ϵ_i) of the foil's nodes from the vacuum side at the same 10 thicknesses in the range from 50 to 500 microns.

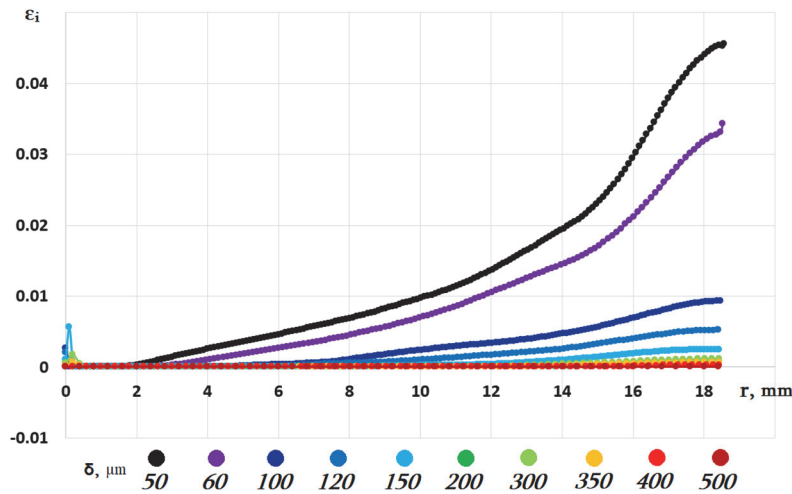


Fig. 6. Strain intensity distribution curves of the metal foil

Comparing the data obtained in Fig. 4-6 it can be assumed that the plastic strains of the central nodes of the foil, which began with the thickness δ_x , sharply decrease. It can be assumed that the sharp decrease in strains is due to the presence of the phenomenon shown in Fig. 5. As for the thicknesses $\delta < \delta_x$, their plastic strains in comparison with the case $\delta > \delta_x$ take on large values. For example, at a thickness of 100 microns, plastic strains of the central foil nodes account for ~27% of the strains at a thickness of 60 microns. Studying the support nodes for the

above thicknesses, it is obvious that there is the following range: 350... δ_y ...400, and when $\delta_x \leq \delta \leq \delta_y$, there are insignificant plastic strains in the support nodes ($\sim 0.56 \dots 0.001\%$). This phenomenon is explained by elastic strains caused by the tensile stresses of the support nodes at a thicknesses of $\delta < \delta_x$, and at $\delta_x \leq \delta \leq \delta_y$, the support nodes of the foil are subjected to bending deformations crossing the plasticity boundary. As for the case $\delta > \delta_y$, atmospheric pressure doesn't provide sufficient stress state (despite the presence of curvature) to cross the plasticity limit of the support nodes. Nevertheless, it should be noted that at $\delta > \delta_x$, the question arises about the permeability of the titanium foil for the electron beam, that is, deterioration of the initial parameters of the beam is possible. That is, the choice of the thickness of the first-grade titanium foil for the accelerator output windows should be made in the range $\delta_{\min} < \delta < \delta_x$, where $\delta_{\min}$ is the minimum allowable foil thickness. Since the modeling of foils in the ASE was carried out with a dynamic load, in this work only its static state (without vibration processes) is considered, so to accurately determine the thickness of $\delta_{\min}$, it is also necessary to study the dynamics of foils, since according to preliminary data, its plastic strains can increased several times, which greatly limits the permissible thickness range.

Conclusion. Studied the stress-strain state of the first-grade titanium foils of accelerator output windows, we obtained:

- with a thickness of 50 to 500 *microns*, the cross-section shapes of metal foils in deformed states as displacement curves of grid nodes;
- in the range from 60 to 100 *microns*, there is a value δ_x of the foil thickness, starting from which, from the vacuum side, the stresses σ_m and σ_0 take negative values, i.e. in the case of $\delta > \delta_x$, the foil is subjected to bending in the support zone;
- plastic strains of the central nodes of the foil, starting from the thickness δ_x , decrease sharply, and plastic strains for the thickness $\delta < \delta_x$ in comparison with the case $\delta > \delta_x$ take large values (for example: $(\varepsilon_t^{100 \text{ mkm}} / \varepsilon_t^{60 \text{ mkm}}) \cdot 100\% \approx \approx 27\%$);
- at $\delta_x \leq \delta \leq \delta_y$, there are insignificant plastic strains in the support nodes ($\sim 0.56 \dots 0.001\%$);
- it became clear that the choice of thicknesses should be made in the range $\delta_{\min} < \delta < \delta_x$, to clarify which it is also necessary to study the dynamics of metal foils.

This work was supported by the Higher Education and Science Committee of RA (Research project № 23AA-2D015).

REFERENCES

1. А.с. СССР. SU 1135416 А1. Выходное окно ускорителя заряженных частиц / **А.С. Иванов, В.И. Никишкин, М.П. Свиньин, М.Т. Федотов.**- 1995.
2. Изобретение к патенту РФ. RU 2742712 С1. Окно для вывода пучка электронов из вакуумной камеры ускорителя в атмосферу и ввода в рабочую камеру радиационно-химического реактора / **Ю.Д. Черноусов, О.А. Анисимов, В.А. Болотов, А.Г. Грибовский и др.**- 2021.
3. Изобретение к патенту РФ. RU 2137247 С1. Выходное окно ускорителя заряженных частиц / **Ю.А. Котов, С.Ю. Соковнин.**- 1999.
4. Accelerator Vacuum Windows: A Review of Past Research and a Strategy for the Development of a New Design for Improved Safety and Longevity for Particle Accelerators/ **C.R. Ader, M. Alvarez, J.S. Batko, R. Campos, et al** // The 10th International Particle Accelerator Conference (IPAC 2019).- Melbourne, Australia, 2019.- DOI:10.18429/JACoW-IPAC2019-WEXXPLS2.
5. Overview of Fabrication Techniques and Lessons Learned with Accelerator Vacuum Windows/ **C.R. Ader, M.W. McGee, L.E. Nobrega, and E.A. Voirin** // The 9th International Particle Accelerator Conference (IPAC 2018).- Vancouver, BC, Canada, 2018.- DOI:10.18429/JACoW-IPAC2018-MOZGBE4.
6. **Zheng Q., Shimizu T., and Yang M.** Effect of heat on tensile properties of thin pure titanium foils // Manufacturing Review.- 2015.- 2.- P.3.- DOI: 10.1051/mfreview/2015005.
7. Deformation behavior of commercially pure (CP) titanium under equi-biaxial tension/ **N. Srinivasan, R. Velmurugan, R. Kumar, et al** // Materials Science and Engineering.- 2016.-A, 674.- P. 540-551, <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.08.018>.
8. **Tekin M., Ertan R., and Özgül H.G.** Forming evolution of titanium grade2 sheets // Materials Testing.- 2022.- 64(1).- P.116-124, <https://doi.org/10.1515/mt-2021-2004>.

CANDLE Synchrotron Research Institute, National Polytechnic University of Armenia. The materials is received on 01.11.2023.

Հ.Ա. ԻՍՈՒՆՑ, Ա.Հ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Վ.Շ. ԱՎԱԳՑԱՆ

ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ԵԼՔԱՅԻՆ ՊԱՏՈՒՀԱՆԻ, ԱՌԱՋԻՆ ԴԱՍԻ ՏԻՏԱՆԵ ՄԵՏԱՂԱԹԱՂԱՆԹԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՎԱԾ ՎԻՃԱԿԻ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել են արագացուցչային էլքային պատուհանները, մասնավորապես՝ նրանց մեջ կիրառվող մետաղաթաղանթները: Աշխատանքներ են կատարվել առաջին ամրության դասի տիտանե մետաղաթաղանթի ամրության գնահատման համար՝ փոփոխական բնութագիր ընտրելով մետաղաթաղանթի հաստությունը: Վերջինից կախված՝ մոդելավորումներ է կատարվել ABAQUS ավտոմատացված ծրագրային միջավայրում (ԱԾՄ) վերջավոր տարրերի մեթոդով (ՎՏՄ): Ստատիկ վիճակում ուսումնասիրվել են 50...500 մկմ միջակայքի 10 հաստությունների մետաղաթաղանթների՝ ճնշման տարբերությունից առաջացած զոգավորության պլաստիկ դեֆորմացիաների, շառավղային և շրջանային լարում-

ների բաշխվածությունները, տեղափոխությունները: Ներմուծվել են տիտանի մետաղաթաղանթի հիմնական չափերը՝ հաստությունը, տրամագիծը: Որպես արտաքին ազդող ուժ կիրառվել է մթնոլորտային ճնշումը, իսկ վակուումի միջոցով ճնշումն ընդունվել է զրո: Մետաղաթաղանթները բաժանվել են մեծ թվով հանգույցների, որով ապահովվել են մոդելավորումների մեծ ճշտությունները: Մոդելավորումների արդյունքում կառուցվել են Y առանցքի նկատմամբ մետաղաթաղանթի ընտրված կետերի տեղափոխությունների գրաֆիկները՝ կախված շառավղի մեծություններից, և մետաղաթաղանթի դեֆորմացիաների ինտենսիվության բաշխման կորերը, որոնք ևս վերլուծվել են: Ելքային պատուհանի մետաղաթաղանթն ուսումնասիրվել է այնպես, որ մոդելավորումների արդյունքները կիրառելի լինեն ելքային պատուհանների և՛ մեխանիկական միացման, և՛ դիֆուզիոն միացման դեպքերում:

Առանցքային բառեր. Ելքային պատուհան, տիտանե մետաղաթաղանթ, վակուում, դեֆորմացված վիճակ:

Г.А. ИСУНЦ, А.А. ДАВТЯН, В.Ш. АВАГЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВОЙ ФОЛЬГИ ПЕРВОГО КЛАССА ВЫХОДНОГО ОКНА УСКОРИТЕЛЯ

Изучены выходные окна ускорителя, в частности, используемая в них металлическая фольга. Работа проводилась с целью оценки прочности титановой фольги первого класса прочности и выбора переменных характеристик толщины фольги. В зависимости от последнего выполнено моделирование методом конечных элементов в автоматизированной программной среде ABAQUS. В статическом состоянии изучены распределения, смещения 10 металлических пленок толщиной 50...500 мкм, пластические деформации вогнутости, вызванные разницей давлений, а также радиальные и окружные напряжения. Проведен сравнительный анализ полученных результатов и определен наиболее оптимальный диапазон толщины металлической фольги с точки зрения прочности для выбранного материала. В качестве внешней силы воздействия применялось атмосферное давление, а давление со стороны вакуума принималось равным нулю. Металлические оболочки были разделены на большое количество узлов, что обеспечивало большую точность в моделированиях. В результате моделирования построены графики смещений выбранных точек металлической фольги относительно оси Y в зависимости от значений радиуса и кривые распределения интенсивности деформаций металлической фольги, проведен их анализ. Металлическая фольга выходного окна была исследована таким образом, что результаты моделирования применимы к выходным окнам, как к механическому соединению, так и к диффузионному.

Ключевые слова: выходное окно, титановая металлическая фольга, вакуум, деформированное состояние.

Ս.Գ. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ն.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Հ.Ռ. ԴԱՇՏՈՅԱՆ,
Մ.Է. ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ

**ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՏԵԽՆԱԾԻՆ ԱՌԱՋԱՅՈՒՄՆԵՐԻՑ ՈՍԿՈՒ ԵՎ ԱՐԾԱԹԻ
ՍՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Մշակվել են քիմիական ներգործությունների նկատմամբ դիմադիր հանքային տեխնածին առաջացումներից ոսկու և արծաթի կորզման հալքանոթային հալման գործընթացի լավարկված ցուցանիշները, երբ հումքը հալվում է համակցված քիմիական ազդանյութերի ու ազնիվ մետաղների մետաղական կուտակիչների պայմաններում:

Առաջարկվել է տեխնածին առաջացումների մշակման հրահիդրոմետալուրգիական տեխնոլոգիական ուրվագիծ, համաձայն որի հումքի հալման արդյունքում առաջացած Դորեի համաձուլվածքի կազմն անցած ոսկու, արծաթի և այլ ազնիվ մետաղների լուծահանումը կատարվում է արքայաջրով տարրալուծման հիդրոմետալուրգիական եղանակով:

Առանցքային բառեր. տեխնածին առաջացումներ, հալում, Դորեի համաձուլվածք, տարրալուծում, ոսկի, արծաթ:

Ներածություն. Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության հանքային արդյունաբերությունը, ըստ [1] տեղեկատվական աղբյուրից ստացվող տվյալների, ապահովել է 2022 թվականի արտահանումների կեսից ավելին: Այստեղից հետևում է, որ այդ արտահանումների մեջ հիմնական ֆինանսական բաժինը ձևավորվել է ՀՀ-ի պղնձի, մոլիբդենի, ոսկու, արծաթի և այլ մետաղական հանածոները մշակելու շնորհիվ: Նշված ոլորտի գործունեությանը վերաբերող ընդհանրական տեղեկությունները ներկայացված են [2, 3] աշխատանքներում, այդուհանդերձ, դրանց մասնավորեցնելու պահանջը ակնառու է դրամական փոխարժույթի և կիրառական լայն նշանակությամբ օժտված ոսկու և արծաթի դեպքում [4, 5]: Այս առնչությամբ հարկ է նախ արձանագրել [6, 7] աղբյուրների տվյալները, ըստ որոնց ՀՀ-ի ընդերքում առկա են ոսկու (Տերտերասար, Մարջան, Տանձուտ, Սոֆի Բինան, Մեղրաձոր, Թուխմանուկ, Սոթք և այլն) և ոսկի-բազմամետաղային (Այգեձոր, Լիճքվազ-թեյ, Ագատեկ, Արմանիս և այլն) տասնյակ հանածոներ, որոնց մեջ ոսկու պարունակությունը համապատասխանաբար կազմում են 3...20 և 2...11 g/տ, իսկ արծաթինը՝ 7...25 և 40...90 g/տ: Համաձայն [7]-ում բերված տվյալների՝ ՀՀ-ի ոսկու ընդհանուր պաշարները 2000 թվականին կազմել է 369 տ, իսկ արծաթինը՝ 5144 տ, ընդ որում՝ ոսկու հանածոներում ոսկին կազմել է 314 տ (85%), իսկ արծաթը՝ 2155 տ (42%):

Նույն աղբյուրներից տեղեկանում ենք, որ ՀՀ-ում գործում են մի շարք հանաժոնների վերամշակման հարստացուցիչ կոմբինատներ, որոնցում ստացվում են ոսկու հիմքով բազմամետաղային խտանյութեր, իսկ «Գեոպրոմայնինգ Գոլդ» և «ԱՍՄԱԹ» ձեռնարկությունների վերջնական արտադրանքը՝ ոսկի-արծաթային կամ տեխնիկական անվանումով, Դորեի համաձուլվածքի տեսքի են:

Ինչպես տեսնում ենք, ոսկու և արծաթի հանաժոնների պաշարները ՀՀ-ում բավարար են, ակնառու է, սակայն, դրանց մշակումից ստացվող խտանյութերի՝ որպես վերջնական արտադրանքի վաճառքը դադարեցնելու պահանջը, քանի որ ինքնաբերաբար շարունակվող այդպիսի գործելակերպը, բացի ֆինանսական կորուստներից, կարող է նպաստել երկրի ռազմավարական նշանակության ծրագրերի իրականացմանն այդքան պիտանի հանաժոնների արագ սպառմանը:

Խնդրի դրվածքն ու մեթոդաբանությունը: ՀՀ-ում քիմիական մաքուր ոսկու և արծաթի՝ վերջնական արտադրանքի խնդրի լուծումը այլևս հրամայական պահանջ է՝ կապված տարատեսակ տեխնիկական և կենցաղային նպատակներով կիրառությունների հետ: Դրանից հետո, օրինակ, հնարավոր է ոսկու և արծաթի՝ զարդեղենի տեսքով իրացումը, որի շնորհիվ ֆինանսական հասույթը շուկայական գնի համեմատությամբ կարող է ավելանալ մոտավորապես 40%-ով: Դժվար չէ նկատել, որ տնտեսական կորուստների վերացումը, ինչպես և ոլորտի ձեռնարկությունների գործունեության հետ փոխկապված բնապահպանական խնդիրների լուծումը, հնարավոր է հանքային հումքի և դրանց տեխնածին առաջացումների համալիր օգտահանման՝ քիմիական առաջադեմ մետալուրգիական և զտման տեխնոլոգիաներ ՀՀ-ում ներդնելու ճանապարհով:

Պահանջվող տեխնոլոգիաների մշակմանը նվիրված սույն աշխատանքում որպես հումք օգտագործվել են տեխնածին՝ քիմիական ազդանյութերի նկատմամբ դիմակայուն հանքային առաջացումներ: Վերջիններս լիարժեք քայքայելու նպատակով հալքանոթային հալման գործընթացում օգտագործվել են նատրիումի կարբոնատից (Na_2CO_3), նատրիումի տետրաբորատից ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) և փայտածուխից (C), կազմված համակցված քիմիական ազդանյութեր, իսկ հումքում պարունակվող ոսկին և արծաթը կորզելու նպատակով՝ ազնիվ մետաղների՝ մետաղական կուտակիչներով հալքանոթային հալման եղանակները [8-10]: Նշված պայմաններում հալման ընթացքում հումքում պարունակվող ազնիվ մետաղները, մասնավորապես ոսկին և արծաթը, անցնում են մետաղական կուտակիչների կազմը, իսկ SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 և այլ միացությունները՝ հալույթների կամ խարամի մեջ:

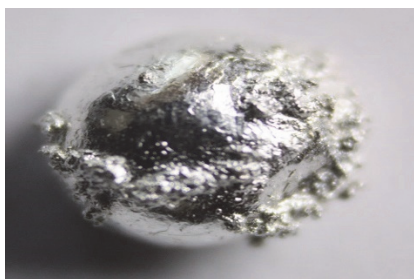
Հետազոտության ընթացքը և արդյունքները: Ոսկու և արծաթի կորզման տեխնոլոգիական հետազոտությունում փորձարկվել են ՀՀ-ի մետաղարդյունաբերության ոլորտի՝ «ԱՍՄԱԹ» ՍՊԸ-ի պինդ արտադրական առաջացումները: [2, 3]-ում առկա տվյալները վկայում են, որ նշված տեխնածին ելանյութի մեջ սիլիկահողը (SiO_2)

կազմում է 50...51 %, Fe_2O_3 , MnO_2 և CrO_2 սև մետաղների օքսիդները՝ 34,0...35,0%, CuO , NiO , TiO_2 , HgO_2 , PbO գունավոր մետաղների օքսիդներինը՝ 4,0...6,0%, Al_2O_3 -ը՝ CaO -ի և MgO -ի հետ՝ 1...2%, իսկ թրծման կորուստը՝ 8,0...8,7: Պարզվում է նաև, որ ելանյութի կազմում պարունակվում են ազնիվ մետաղներ, որոնք հանդես են գալիս քիմիական փոխազդիչների նկատմամբ դիմադիր միացությունների տեսքով:

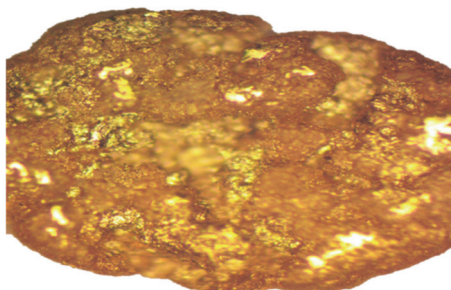
Հետազոտությունում օգտագործվել են ելանյութի չորացումներով և մանրացումներով նախապատրաստված հումք և վերջինիս հարստացումով ստացված ծանր մետաղների խտանյութ: Նշված 50-ական g զանգվածով փորձանմուշների՝ 900...1100 $^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում հալքանոթային հալման գործընթացում օգտագործվել են 70...85 g ՝ նատրիումի կարբոնատ, 30...40 g ՝ նատրիումի տետրաբորատ և մինչև 3 g ՝ փայտածուխ: Բացի դրանցից, բովախառնուրդ են ներկրվել 35...40 g ՝ կապարի օքսիդ և 0,005...0,010 g ՝ արծաթի քլորիդ, որոնք հալման ընթացքում վերածվել են ազնիվ մետաղների կապարային և կապարարծաթային կուտակիչների: Բովախառնուրդի՝ 30...40 *քույե* հալումից հետո ստացվել են 33,3... 34,3 g զանգվածով՝ կապարի հիմքով ձուլածո կամ վերկրել, որի հետագա բովազտումը կատարվել է ցեմենտյա հալքանոթի մեջ, 920...960 $^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում՝ 1 *ժամկա* ընթացքում: Արդյունքում հալքանոթի հատակին գոյացել է Դորեի համաձուլվածք, ինչը տարրալուծվել է ազոտական թթվի՝ 1:4 և 1:1 հարաբերությամբ տաք ջրային լուծույթներով: Տարրալուծման ընթացքում արծաթն անցել է լուծույթի մեջ, որտեղից աղաթթվով վերականգնված արծաթի քլորիդը բերվել է մետաղական տեսքի՝ նատրիումի կարբոնատի հետ հալելու միջոցով: Նույն տարրալուծումից անջատված փխրուն ոսկին մնացել է նստվածքի կազմում, ընդ որում, արտաքուստ արծաթափայլ մետաղների հետ՝ խառնուրդի կամ համաձուլվածքի տեսքով (նկ. 1-3): Նկարագրված միջոցներով և պայմաններում կատարված փորձերի արդյունքները զետեղված են աղ.-ում: Վերջինիս մեջ բերված տվյալները ամբողջացնելու համար հարկ է հավելել, որ 1...4 փորձերում ոսկու և արծաթի կորզման հումքը ելանյութն է, իսկ 5-ում՝ 300 g ելանյութի մշակումներով ստացված ծանր մետաղների խտանյութը: 1,2 և 5 փորձերում ստացված Դորեի համաձուլվածքի թթվային տարրալուծումներից հետո առանձնացված ոսկին ենթարկվել է լրացուցիչ բովազտման՝ 2,5...3,0 g կապարի և մոտավորապես 0,01 g արծաթի պայմաններում՝ նրա մեջ մնացած արծաթը և այլ մետաղների խառնուրդները հեռացնելու նպատակով [9]: Վերջում հարկ է հավելել, որ փորձերի արգասիքները կշռվել են KERN ֆիրմայի ABT 120-5DM տեսակի էլեկտրոնային կշեռքով:

Փորձերում կորզված ոսկու համաձուլվածքը և արծաթը՝ կախված հումքի հալման գործընթացում կիրառված մետաղական կուտակիչներից

Հ/հ	Վերկրել	Դորեի համաձուլվածք, մգ	Au-ի համաձուլվածք		Ag	
			մգ	գ/տ	մգ	գ/տ
1	Կապարային	0,70	0,21	4,2	0,49	9,8
2	Կապարային	0,73	0,35	7,0	0,38	7,6
3	Կապար-արծաթային	7,71	0,32	6,4	7,39	147,8
4	Կապար-արծաթային	7,16	0,29	5,8	6,87	137,4
5	Կապարային	1,20	0,41	1,37	0,79	2,63



Նկ. 1. Փորձ 1: Դորեի համաձուլվածքի մանրակառուցվածքը, խոշորացումը - x 200



Նկ. 2. Փորձ 2: Ոսկու համաձուլվածքի մանրակառուցվածքը, խոշորացումը - x 500



Նկ. 3. Փորձ 3: Ոսկու համաձուլվածքի մանրակառուցվածքը, խոշորացումը - x 200

Հետազոտության արդյունքների ամփոփում: Ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ ելանյութի՝ վերը նշված տեխնոլոգիաներով փորձարկումների արդյունքում ստացվում են 0,21...0,35 *մգ* ոսկու հիմքով ազնիվ մետաղական համաձուլվածք և 0,38...0,49 *մգ* արծաթ, որոնք նույն հաջորդականությամբ համապատասխանում են 4,2...7,0 և 7,6...9,8 *գ/տ* պարունակություններին: Փորձ 5-ում, խտանյութից ստացված 1,2 *մգ* Դորեյի համաձուլվածքը քիչ է տարբերվում 1...4 փորձերի համանման արդյունքներից, իսկ ոսկու համաձուլվածքը տեսականորեն սպասվածից պակաս է մոտավորապես 5 անգամ: Այստեղից հետևում է, որ խտանյութի ստացման նպատակով ելանյութի մշակման գործընթացում առաջանում են ոսկու և արծաթի կորուստներ, և որ այդ ազնիվ մետաղները ելանյութում մեծ մասամբ հանդես են գալիս սև և այլ ծանր մետաղներից համեմատաբար թեթև միացությունների տեսքով, իսկ բնությամբ, տեխնոլոգիական տվյալի համաձայն, առավել արդյունավետ պետք է ընդունել 3 և 4-ը՝ կապար-արծաթային կուտակիչներով փորձերի արդյունքները, քանի որ դրանցում լրացուցիչ բովազտում անհրաժեշտ չէ: Նույն տեղեկություններն իրենց հերթին վկայում են, որ ոսկու և արծաթի կորզման փորձերում առավել բարձր արդյունքները հնարավոր է ապահովել, երբ՝

- հալման գործընթացում օգտագործվող տեխնածին առաջացումների մեջ 100 *մկմ* չափերից ցածր բաղադրամասը կազմում է ավելի քան 50%,

- տեխնածին առաջացումների հարաբերությունը հալման բովախառնուրդում պարունակվող քիմիական ազդանյութերի ընդհանուր քանակին համապատասխանում է 1 : 3,35,

- տեխնածին առաջացումների, քիմիական ազդանյութերի և ազնիվ մետաղների՝ կապար-արծաթային կուտակիչի հետ հալումը կատարվում է 920...1050°C ջերմաստիճանային տիրույթում՝ մոտավորապես 30 *րոպե* և այլն:

Եզրակացություն: Անհրաժեշտ է արձանագրել, որ աշխատանքում կիրառված տեխնոլոգիական գործընթացը հնարավորություն է ընձեռել՝ ստանալու արծաթի տարրերի տեսքով և մետաղական խառնուրդների պարունակությամբ՝ ոսկու հիմքով ազնիվ մետաղական համաձուլվածք: Համաձայն [11] աղբյուրի տեղեկությունների՝ բարձր մաքրությամբ ոսկու ստացման խնդրի լուծումը հնարավոր է հումքի հալման արդյունքում՝ Դորեյի համաձուլվածքի մեջ անցած ազնիվ մետաղները լուծահանելու նպատակով, աշխատանքում կիրառված ազոտական թթվի լուծույթները՝ արքայաջրով տարրալուծման հիդրոմետալուրգիական եղանակով փոխարինելու ճանապարհով:

Հարկ է վերջում հավելել, որ տեխնածին առաջացումների հալման արդյունքում գոյացող խարամը՝ որպես քիմիական թթուներում դյուրին լուծվող հումք, կարող է օգտագործվել ինչպես տարբեր արժեքավոր մետաղներ արդյունահանելու, այնպես էլ սիլիցիումի երկօքսիդ ստանալու նպատակով:

Հետազոտությունը կատարվել է ՀԱՊՀ «Միկրո- և նանոէլեկտրոնիկա» բազային լաբորատորիայի գիտական ծրագրերի շրջանակում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. <https://hy.wikipedia.org> > wiki.
2. **Հայրապետյան Ս.Գ., Սասունցյան Մ.Է., Սուրադյան Գ.Ն.** Հայաստանի Հանրապետության հանքային հումքի տեխնոլոգիաների արգասիքի մետաղաբերության հետազոտությունը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2022.- Մաս II.- էջ 451 – 456:
3. **Айрапетян С.Г., Даштоян А.Р., Мурадян Г.Н., Сасунцян М.Э.** Исследование состава и фазовой структуры техногенного продукта минерального сырья Республики Армения // Вестник НПУА: Metallurgy, materials science, non-ferrous metallurgy.-2020.- № 2.-С. 9-17.
4. Формирование наночастиц благородных металлов в пористых кремнеземах и биологических матрицах / **А.К. Трохимчук, А.В. Легенчук, В.И. Подольская, Е.Ю. Войтенко и др.** // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии.- 2008.- Т. 6, № 2. - С. 509-528.
5. **Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.А., Кротов А.М.** Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: Учебное пособие / Международный университет природы, общества и человека “Дубна”. Филиал “Угреша”. – М., 2007. - 125 с.
6. **Խոջաբաշյան Գ.Ս.** Սյունիքի հանքային նահանգ. Երկրաբանական կառուցվածքի, հանքաբերության, օգտակար հանածոների հանքավայրերի որոնման, հայտնաբերման, հետախուզման, ուսումնասիրման և նրանց գնահատման համառոտ պատմությունը: - Եր.: Փրինթինգ, 2016.-272 էջ:
7. **Алоян П.Г., Алоян Гайк П.** Платиноиды в промышленных рудах Армении. – Ереван: ГЕОИД, 2003.- 182 с.
8. Патент RU 2156820. МПК С 22В 11/02. Способ переработки концентратов гравитационного обогащения, содержащих благородные металлы / **С.Г. Рыбкин, А.Ф. Панченко, Г.М. Панченко, Н.Н. Кулинин.**- Оpubл. 27.09.2000.
9. Концентраты медные. Методы определения содержания золота и серебра. ГОСТ 15934 10-82 / Государственный комитет СССР по стандартам.- М., 1982.- 12 с.
10. Патент RU 2078840. Способ извлечения благородных металлов из руд и концентратов / **В.В. Гостищев, А.А. Ковалев.**- Оpubл. 10.05.1997.
11. **Синицын Н.М., Печков В.Н.** Экстракция платиновых металлов в гидрометаллургии.-М.: Институт цветметинформации, 1967. -28 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.04.2023:

**С.Г. АЙРАПЕТЯН, Н.В. МАРТИРОСЯН, А.Р. ДАШТОЯН,
М.Э. САСУНЦЯН**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПОЛУЧЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ РУДНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ
ОБРАЗОВАНИЙ**

Разработаны оптимальные параметры процесса тигельной плавки извлечения золота и серебра из рудноупорных к химическим воздействиям техногенных образований, где сырье плавится в условиях комбинированных химических реагентов и металлических коллекторов благородных металлов.

Предложена пирогидрометаллургическая технологическая схема переработки техногенного образования, согласно которой экстрагирование перешедшего в результате плавки сырья в состав образованного сплава Доре золота, серебра и других благородных металлов осуществляется с помощью гидрометаллургического способа царскowodочного выщелачивания.

Ключевые слова: техногенные образования, плавка, сплав Доре, выщелачивание, золото, серебро.

**S.G. AYRAPETYAN, N.W. MARTIROSYAN, H.R. DASHTOYAN,
M.E. SASUNTSYAN**

**INVESTIGATING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING GOLD
AND SILVER FROM TECHNOGENIC ORE FORMATIONS**

Optimal parameters of the process of crucible smelting of extracting gold and silver from ore-resistant to chemical influences technogenic formations, where raw materials are melted under the conditions of combined chemical reagents and metal collectors of precious metals, have been developed.

A pyro-hydrometallurgical flowsheet for processing technogenic formation is proposed, according to which the extraction of gold, silver and other noble metals transferred as a result of raw material melting into the composition of the formed Doré alloy is carried out using the hydrometallurgical method of aqua leaching.

Keywords: technogenic formations, melting, Doré alloy, leaching, gold, silver.

Հ.Վ. ԱՎԱԳՅԱՆ

ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՅՄԱՍԲ ՊՂՆՁԻ ՕՔՍԻԴԱՅՎԱԾ
ՀԱՆՔԱՆՑՈՒԹԻ ՍՈՒԼՖԻԴԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Վերջին տարիներին մետալուրգիական գործընթացներում տեղ է գտել նոր ուղղություն, համաձայն որի խտանյութերի մշակումը կատարվում է մեխանաքիմիական և մետաղաթերմային վերականգնման եղանակների զուգակցմամբ: Դա նպաստում է հետագա օքսիդավերականգնման գործընթացների ինտենսիվացմանը և սկզբունքային նոր մոդիֆիկացված արգասիքների ստացմանը:

Պղնձային օքսիդացած միներալների հարստացման դեպքում մակերևույթների ակտիվացման ավելի ընդունելի տեսակ են հանդիսանում ավելացվող ռեագենտների համակցությամբ մեխանաքիմիական գործընթացները: Պարզվել է, որ էլեմենտար ծծմբով պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացումն ընթանում է ավելի ակտիվ, քան սիլիցիումի սուլֆիդով: Որոշվել են պղնձի օքսիդացած հանքաքարերի սուլֆիդացման օպտիմալ ռեժիմները:

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի վերամշակման տեխնոլոգիա՝ աղացում սուլֆիդացմամբ և հետագա ֆլոտացմամբ:

Առանցքային բառեր. պղինձ, օքսիդացած հանքաքար, սուլֆիդարար, մանրացում, ծծումբ, սուլֆիդացում:

Ներածություն: Հանքանյութերի մանրացման ընթացքում, որը կատարվում է մեխանիկական ուժերի ազդեցության տակ, տեղի է ունենում հանքանյութի էներգետիկ վիճակի, ֆիզիկական ու քիմիական հատկությունների փոփոխություն, ընդ որում՝ էներգետիկ վիճակի փոփոխությունը հիմնականում վերաբերում է հետերոֆազ համակարգերին:

Մանրացնող սարքերում հանքանյութերի մանրացման ժամանակ պետք է հաշվի առնել մանրացման գործընթացների առանձնահատկությունները, հատկապես պինդ նյութերի իոնացման գործընթացը, որը կատարվում է մեխանիկական ազդակներով: Ինչ վերաբերում է մեխանաքիմիական գործընթացին, ապա այս դեպքում այն ուղեկցվում է քիմիական և ֆիզիկաքիմիական փոխարկումներով:

Մեխանիկական ազդեցության ուսումնասիրմանն են նվիրված Օստվալդի աշխատանքները [1], որոնք հիմք դրեցին «մեխանաքիմիա» հասկացությանը, և այն դիտարկվեց որպես ֆիզիկական քիմիայի ինքնուրույն բաժին: Արդյունքում

ստեղծվեց հանքնայութերի որակական վերլուծության մեթոդ՝ հիմնված մեխանաքիմիական գործընթացների ազդեցությամբ տեղի ունեցող պինդ ֆազային ռեակցիաների վրա: Կատարվեցին ապատիտներից և ֆոսֆորիտներից մեխանաքիմիական ակտիվացման եղանակով ֆոսֆորական պարարտանյութերի, մետաղական օքսիդներից համաձուլվածքների, կատալիզատորների, իկոսաէդրիկ կառուցվածքների, բարդ օքսիդների, հիդրիդների, կարբիդների, սիլիցիդների, ակտիվացված մեխանիկական թափոններից շինանյութերի, դեղանյութերի ստացման, գունանյութերի և ինտերմետաղական ֆազերի սինթեզի ուղղությամբ աշխատանքներ [2, 3]:

Մեխանաքիմիայի ուղղությամբ որոշակի աշխատանքներ են կատարվել նաև Հայաստանի Հանրապետության ԳԱԱ Ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտում, որտեղ կազմակերպվել է լաբորատորիա, և ուսումնասիրվել են պինդֆազային ռեակցիաների կինետիկան, բարձր ճնշումների և դեֆորմացիաների պայմաններում ընթացող մեխանաքիմիական ռեակցիաները, սուլֆիդների մեխանաքիմիան և այլն [4-7]: Մեխանաքիմիայի առանձին բաժիններ են ուլտրաձայնային, հարվածային ալիքների, բարձր ճնշումների քիմիաները: Շփմամբ պայմանավորված փոխակերպումները երբեմն առանձնացվում են որպես մեխանաքիմիայի առանձին բաժին, որը կոչվում է տրիբոքիմիա: Ելնելով մեխանաքիմիական գործընթացների առանձնահատկություններից՝ ներկայացված խնդիրը, որը վերաբերում է մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պղնձի օքսիդացված հանքանյութի սուլֆիդացման գործընթացի հետազոտմանը, խիստ արդիական է և պահանջարկված:

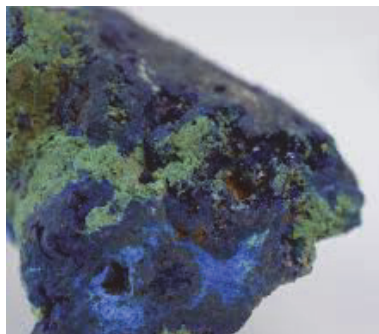
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Օքսիդացած միներալների մակերևութային շերտի խոր սուլֆիդացմամբ սուլֆիդային հանքանյութերի ստացման մեթոդը հիմնված է հանքանյութերի բյուրեղային կառուցվածքի աղավաղման գործընթացի վրա: Հանքանյութի վրա մեխանիկական էներգիայի ազդեցությունը բյուրեղային ցանցում մեծացնում է արատների քանակը, և ազդելով կառուցվածքաքիմիական փոխակերպումների գործընթացի վրա՝ ծծմբի միջավայրում տեղի է ունենում սուլֆիդացում, որը նպաստում է արատավորության աստիճանի, հետևապես՝ ներքին էներգիայի նվազմանը: Միներալների արատավորության աստիճանն էլ ազդում է ֆլոտացման գործընթացի վրա:

Ելնելով վերոհիշյալից՝ հետազոտության նպատակն է թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորել Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացը, ուսումնասիրել աղացում սուլֆիդացման գործընթացների մեխանիզմը, կինետիկան, սուլֆիդացման գործընթացի ինտենսիվացման և սուլֆիդացված պղնձի մասնաբաժնի ավելացման հնարավորությունները, ինչպես նաև հիմնավորել Թեղուտի պղնձի օքսիդային հանքանյութերից ստացված սուլֆիդային խտանյութերի ֆլոտացման գործընթացը:

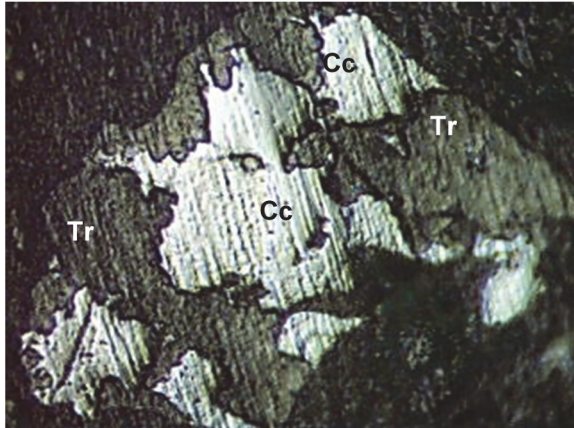
Գրականության ակնարկի տվյալների և կատարված փորձարարական հետազոտությունների վերլուծության հիման վրա աշխատանքում առաջարկվում է ծծումբ պարունակող սիլիցումի սուլֆիդի, նատրիումի թիոկոմպլեքսի կամ ծծմբի առկայությամբ օքսիդացած պղնձային հանքաքարերի հիդրոջերմային սուլֆիդացման և մանրացման գործընթացների համատեղում: Գործընթացը կարելի է իրականացնել սովորական գնդադացներում մինչև 373 Կ ջերմաստիճանում՝ արգասիքի հետագա ֆլոտացմամբ:

Այսպիսով, ի տարբերություն ավտոկլավային մեթոդի, հնարավոր է լինում նվազեցնել սուլֆիդացման գործընթացի տեխնոլոգիական պայմանները, պարզեցնել վերամշակման սխեման՝ ի հաշիվ սուլֆիդացման ու մանրացման օպերացիաների համատեղման, նվազեցնել նաև սուլֆիդացման գործընթացի իրականացման տնտեսական ծախսերը: Պղնձի օքսիդային միներալների և սիլիցիումի սուլֆիդի, նատրիումի սուլֆիդի ու ծծմբի հետ փոխազդեցության ռեակցիաներն ընթանալու հավանականությունը պարզելու համար կատարվել են նախնական թերմոդինամիկական հաշվարկներ: Որպես ռեակցիաների ընթանալու չափանիշ, հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում, Գիբսի էներգիայի՝ ΔG -ի նվազումն է, որի հաշվարկները կատարվել են Տեմկին-Շվարցմանի մեթոդով [8-15]:

Քանի որ Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացած գոտու հանքաքարերն ունեն բարդ միներալաբանական կազմ, և նրանցում առկա են նաև սուլֆիդային միներալներ, այդ իսկ պատճառով հարստացման համար ընտրվել է նախնական մալերնությային սուլֆիդացումը՝ օգտագործելով սուլֆիդարարներ (SiS_2 , $\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$ և S) և այնուհետև՝ փրփրաֆլոտացում: Նկ. 1-ում ներկայացված է Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացված գոտու ազուրիտ միներալի մակրոկառուցվածքը: Նկարից երևում է, որ ազուրիտին ուղեկցում է մալախիտ միներալը: Իսկ նկ. 2-ում ներկայացված է Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացված գոտու տենորիտ միներալի տեսքը մալախիտի և ազուրիտի հետ միասին:



Նկ. 1. Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացման գոտու հանքաքարերում ազուրիտ միներալի մակրոկառուցվածքը ($\times 50$)



Նկ. 2. Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացման գոտու հանքաքարի տենորիտ (Tr) միներալի ներփակումները (x 400)

Հետազոտության արդյունքները: Առաջին անգամ թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորվել է Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային խոր սուլֆիդացման տեխնոլոգիական գործընթացը, որը կատարվել է ծծմբի (S) առկայությամբ՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի աղացման ու մանրացման գործընթացներում:

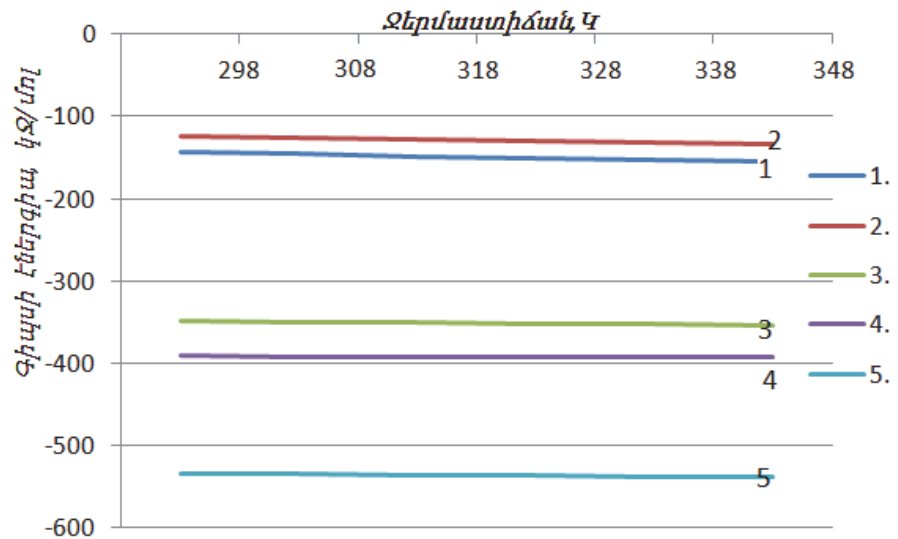
Ստորև բերված են հիմնական ռեակցիաները և թերմոդինամիկական հաշվարկների արդյունքները (աղյուսակում և նկ. 3-ում): Ցույց է տրված, որ փոխադրեցությունն ընթանում է Գիպսի էներգիայի մեծ բացասական արժեքով, որը և անհրաժեշտ է պղնձի սուլֆիդների ստացման համար:

1. $2CuO + 2S = Cu_2S + SO_2$,
2. $2CuO + 3S = 2CuS + SO_2$,
3. $2Cu_2O + 7S + H_2O = 6CuS + H_2SO_4$,
4. $Cu_2(OH)_2[CO_3] + 2S + H_2O = Cu_2S + H_2CO_3 + H_2SO_3$,
5. $\frac{2}{3}Cu_3(OH)_2[CO_3]_2 + 3S + \frac{2}{3}H_2O = 2CuS + SO_2 + \frac{4}{3}H_2CO_3$:

Օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի ֆլոտացման նախապատրաստման ամենաարդյունավետ մեթոդը սուլֆիդացումն է [16]: Մանրացման փուլում հեռանկարային տարբերակներից է սիլիցիումի սուլֆիդով, նատրիումի թիոկոմպլեքսով կամ ծծմբով սուլֆիդացումը: Նատրիումի թիոկոմպլեքսը պատրաստվել է հետևյալ կերպ. նատրիումի սուլֆիդի վրա ավելացվել է ստեխիոչափ քանակով սիլիցիումի սուլֆիդ, այնուհետև այն տաքացվել է, և ստացվել է համասեռ զանգված:

Գիրսի էներգիայի փոփոխության արժեքների կախվածությունը ջերմաստիճանից

Ռեակցիայի համարը	Ջերմաստիճանը, $^{\circ}\text{C}$					
	298	308	318	328	338	348
1	-143,53	-145,88	-148,28	-150,67	-153,04	-155,42
2	-123,46	-125,48	-127,71	-129,94	-132,10	-134,40
3	-348,30	-349,41	-350,55	-351,70	-352,80	-354,00
4	-391,30	-391,45	-391,59	-391,74	-391,88	-392,02
5	-533,97	-534,85	-535,73	-536,60	-537,48	-538,40



Նկ. 3. Գիրսի էներգիայի կախվածությունը ջերմաստիճանից

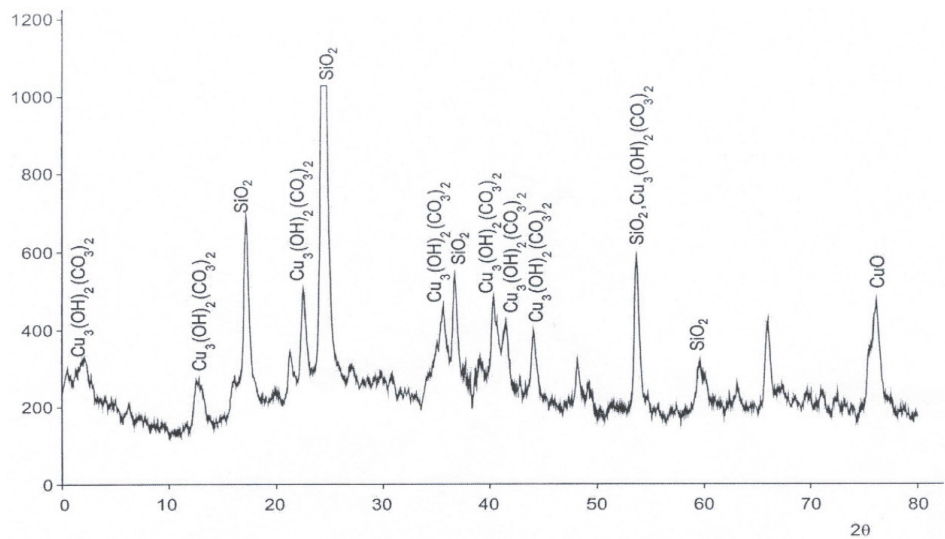
Ուսումնասիրվել են աղացում սուլֆիդացման գործընթացները:

Մանրացման ինտենսիվության և մեխանիզմի վրա որոշիչ դեր են խաղում թմբուկի պտտման արագությունը, մանրացնող մարմինների (գնդերի) ձևն ու քանակը, բեռնված նյութի (պղնձի օքսիդացած միներալներ) ծավալը, մանրացման տևողությունն ու միջավայրը: Թմբուկի պտտման արագության մեծացմանը զուգընթաց, կենտրոնախույս ուժի աճի ու վերամբարձ անկյան մեծացման հետ կապված՝ գնդերը սկսում են վայր ընկնել ավելի մեծ բարձրություններից՝ ավելի արդյունավետ մանրացնելով նյութը: Պտտման արագության հետագա մեծացման դեպքում կենտրոնախույս ուժը կարող է այնքան աճել, որ գնդերն ու մանրացնող նյութը պտտվեն թմբուկի հետ միասին՝ հպված մնալով նրա պատերին, հետևապես՝ մանրացում տեղի չի ունենա, այսինքն՝ կստեղծվի կրիտիկական արագություն ($N_{կր}$) կամ կրիտիկական պտտության արագություն ($N_{պտ}$):

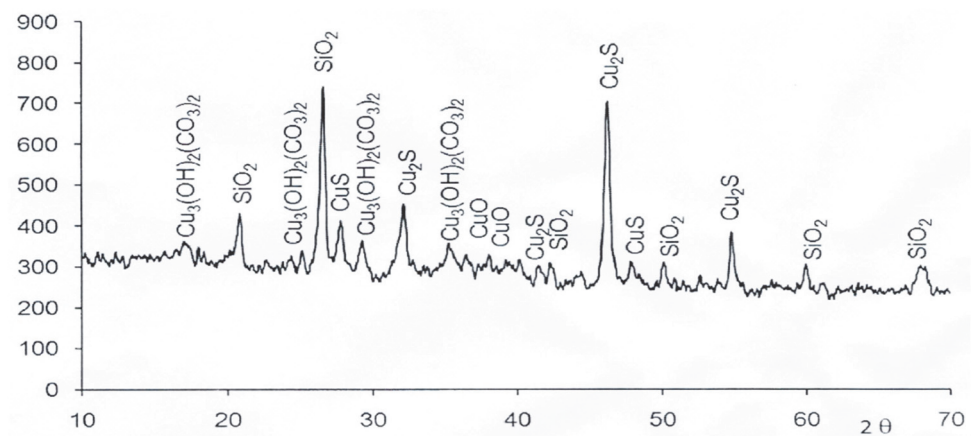
Մանրացման արդյունավետության բարձրացման նպատակով գործնականում թմբուկի պտուտաթվերը վերցվում են կրիտիկականի ($N_{կր}$) 75...80%-ի սահմաններում [17]:

Կատարվել են ուսումնասիրություններ՝ մեխանիկական ակտիվացման միջոցով սուլֆիդացման գործընթացի ինտենսիվացման նպատակով: Ցույց է տրված, որ մեխանիկական ակտիվացման օգտագործումը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել պինդ մարմինների ռեակցիոն ունակությունը՝ ի հաշիվ բյուրեղային կառուցվածքում արատների առաջացման և դիֆուզիայի գործընթացի արագացման: Սիլիցիումի սուլֆիդով, նատրիումի թիոկոմպլեքսով կամ ծծմբով պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացի արագությունը դանդաղում է միներալների մակերևույթին սուլֆիդային թաղանթների առաջացման հետևանքով, ինչը բացատրվում է սիլիցիումի սուլֆիդի, նատրիումի թիոկոմպլեքսի կամ ծծմբի առկայությամբ դիֆուզիայով առաջացած սուլֆիդային (Cu_2S) թաղանթի հաստության մեծացմամբ, որն արգելակում է ռեագենտների հետագա ներթափանցմանը ավելի խոր շերտեր: Մեխանիկական ակտիվացման, այսինքն մանրացման գործընթացի կիրառումը, որի ընթացքում տեղի է ունենում օքսիդացած միներալների թարմ մակերևույթների սուլֆիդացում և այդ սուլֆիդացած շերտի հեռացում, հնարավորություն է տալիս ներքին դիֆուզիայի ռեժիմից անցնել կինետիկական ռեժիմի, որի հետևանքով գործընթացի արագությունը մեծանում է, և ավելանում է սուլֆիդացված պղնձի մասնաբաժինը: Այսպիսով, սուլֆիդացման ռեակցիայի արագությունը որոշվում է մակերևույթների առաջացման արագությամբ: Սուլֆիդացման գործընթացը պինդ ֆազային տիպական ռեակցիա է, որը սկսվում է միներալների հատիկների մանրացումով:

URD-63 (Գերմանիա) ռենտգեն դիֆրակտաչափով կատարվել են Թեղուտի հանքավայրի ազուրիտ և տենորիտ միներալների ռենտգենաֆազային հետազոտություններ: Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, ազուրիտ միներալի կառուցվածքի գերակշռող ֆազն ազուրիտ է, իսկ նկ. 5-ից երևում է, որ առաջանում է պղնձի սուլֆիդ (Cu_2S), որը հաստատվում է սուլֆիդացումից հետո ազուրիտի ռենտգենագրի վրա գագաթների ինտենսիվության նվազմամբ: Արդյունում ռենտգենագրի վրա հայտնվում են պղնձի սուլֆիդի գագաթները (Cu_2S): Նմուշները պատրաստվել են 343 Կ ջերմաստիճանում և 70 *րոպ* տևողության պայմաններում:

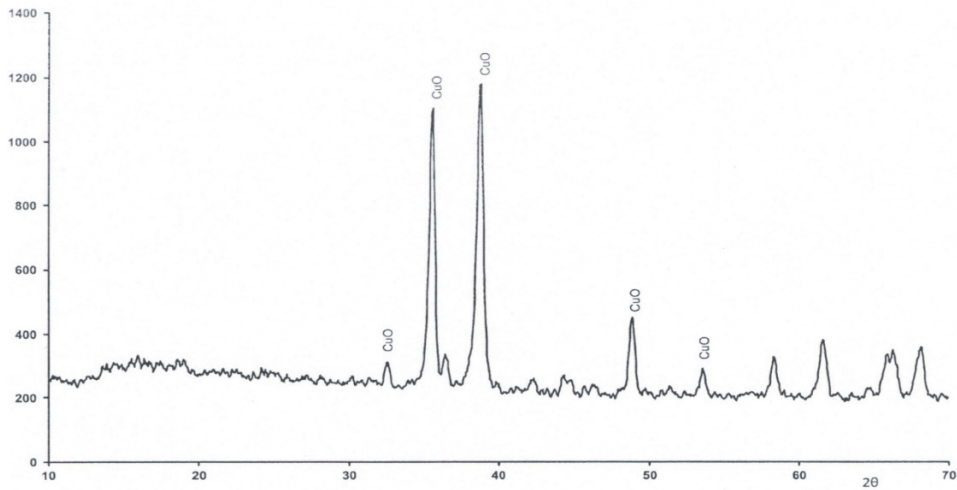


Նկ. 4. Ազդուրիտ միներալի ռենտգենագիրը՝ նախքան սուլֆիդացումը

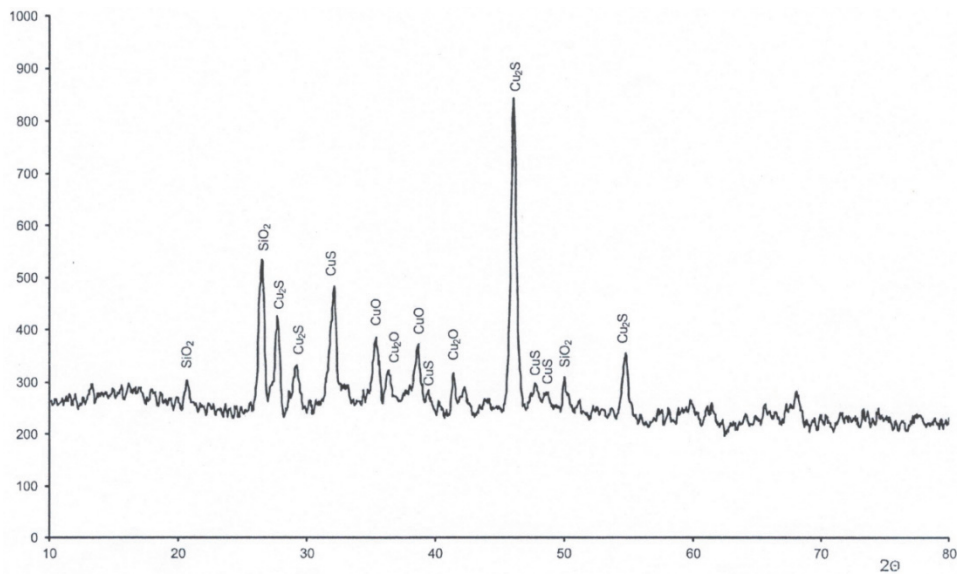


Նկ. 5. Ազդուրիտ միներալի ռենտգենագիրը՝ սուլֆիդացումից հետո

Նկ. 6-ում և 7-ում համապատասխանաբար ներկայացված են Թեղուտի հանքավայրի տենորիտ միներալի ռենտգենագրերը՝ նախքան սուլֆիդացումը և սուլֆիդացումից հետո:



Նկ. 6. Տենորիտ միներալի ռենտգենագիրը՝ նախքան սուլֆիդացումը



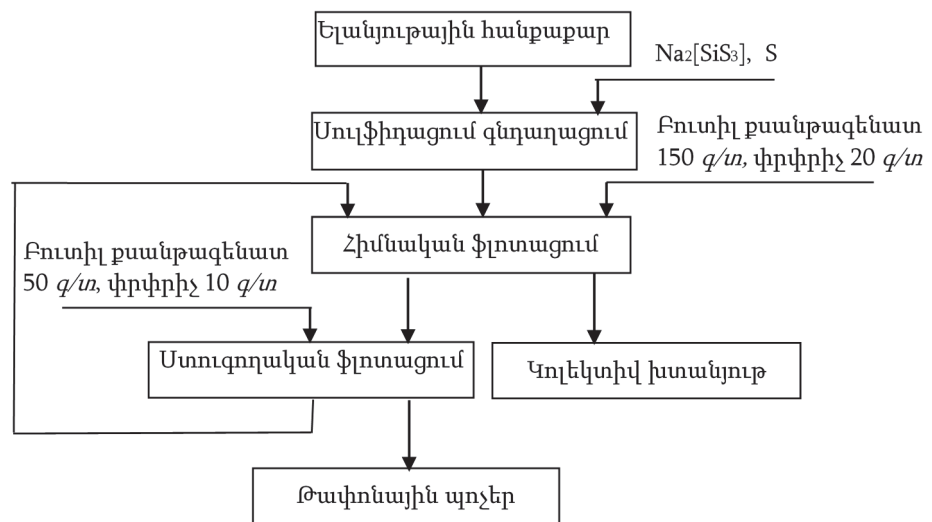
Նկ. 7. Տենորիտ միներալի ռենտգենագիրը՝ սուլֆիդացումից հետո

Նկ. 6-ից երևում է, որ միներալի գերակշռող մասը տենորիտ է, իսկ նկ. 7-ից երևում է, որ առաջանում են պղնձի սուլֆիդներ՝ Cu_2S և CuS , որը հաստատվում է սուլֆիդացումից հետո տենորիտի ռենտգենագրի գագաթների ինտենսիվության նվազմամբ: Միաժամանակ, ռենտգենագրի վրա հայտնվում են սուլֆիդների գագաթները՝ Cu_2S և CuS :

Վերլուծելով օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման աստիճանի կախվածության գրաֆիկական պատկերները՝ կարելի է եզրակացնել, որ օքսիդացած

միներալների սուլֆիդացման գործընթացի վրա ազդում են սուլֆիդացման տևողությունը, ջերմաստիճանը, սուլֆիդարարի ծախսը, ինչպես նաև հանքանյութերի մանրության աստիճանը: Գործընթացի տևողության և սուլֆիդարարի ծախսի ավելացումը բարձրացնում է օքսիդացած միներալների՝ ազուրիտի, կուպրիտի, տենորիտի և մալախիտի սուլֆիդացման աստիճանը: Սուլֆիդացման աստիճանն ուղիղ համեմատական է սուլֆիդարարի ծախսին:

Նկ. 8-ում բերված է օքսիդացած և խառը պղնձային հանքաքարերի վերամշակման սխեման: Այն պարզեցված է, որովհետև բոլոր մնացած տեխնոլոգիական գործողությունները նույն են, ինչ որ բազայինը, այսինքն չեն փոխվում: Տեխնոլոգիական սխեման առավելագույնս հարմարեցված է գործող հանքահարստացման ձեռնարկությունների տեխնոլոգիաներին, ավելացվել է միայն աղացում սուլֆիդացման գործընթացը: Սարքավորումները նույնպես չեն փոխվում. մնում են նույնը:



Նկ. 8. Պղնձի օքսիդացած հանքանյութերից պղնձի սուլֆիդների ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Եզրակացություն: Առաջին անգամ թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորվել է Թեդուտի պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային խոր սուլֆիդացման տեխնոլոգիական գործընթացը, որը կատարվում է սուլֆիդարարի (սիլիցիումի սուլֆիդի, նատրիումի թիոկոմպլեքսի կամ ծծմբի) առկայությամբ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի աղացման ու մանրացման գործընթացներում: Ցույց է տրված, որ փոխազդեցությունն ընթանում է Գիպսի էներգիայի մեծ բացասական արժեքով, որը և անհրաժեշտ է պղնձի սուլֆիդների ստացման համար:

Ուսումնասիրությունների արդյունքում պարզվել է, որ էլեմենտար ծծմբով պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացումն ընթանում է ավելի ակտիվ, քան սիլիցիումի սուլֆիդով: Հետազոտությունների արդյունքում որոշվել են պղնձի օքսիդացած հանքաքարերի սուլֆիդացման օպտիմալ ռեժիմները:

Հետազոտվել է սուլֆիդացված հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացը: Որոշվել է բութիլային քսանթոգենատի ծախսը՝ 200գ/տ , փրփրիչի ծախսը՝ 30գ/տ , սուլֆիդարարի՝ էլեմենտար ծծմբի դեպքում:

Մշակվել է օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի վերամշակման տեխնոլոգիա՝ աղացում սուլֆիդացմամբ և հետագա ֆլոտացմամբ: Առաջարկվող տեխնոլոգիական գործընթացը հնարավորություն է տալիս՝ վերամշակելու պղնձային օքսիդացած հանքանյութերը և համարվում է հեռանկարային:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. О влиянии механической активации на СВС – составы NiAl и TiAl / **Н.Ф. Шкодик, Н.А. Кочетов** и др.// Цветная металлургия.- 2006.- N5.- С. 44-50.
2. **Янева В.А., Петкова В.И., Домбалов И.** Структурные преобразования сирийского фосфорита при механохимической активации // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005.- N13.- С. 351-358.
3. **Яценко Г.Л., Базарнова Н.Г., Шахтхейдер Т.П., Болдырев В.В.** Механическая активация как способ получения композиций хитозона с лекарственными веществами // Материалы учебно-методической конференции.- Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002.-С. 234-235.
4. **Торосян А.Р.** Поведение некоторых твердофазных систем под воздействием высокого давления, сочетаемых деформацией сдвига: Дис. ...канд. физ.-мат. наук/ ИППФ.- Ереван, 1996.- 85с.
5. **Danielyan N.G., Janazyan S.K., Melnichenko V.V.** X-ray Investigation of Metal Reduction by Mechanical Alloying and Solid State Reaction // Modern Physics Letters B.- 1991.-V. 5, N20.- P.1355-1359.
6. **Ostwald W.** Lehrbuch der allgemeine Chemie. Bd.2.- Stchiometrie: Engelmann.- Leipzig, 1891.-1163 s.
7. **Ostwald W.** Die chemische Literatur und die Organisation der Wissenschaft: Engelmann.- Leipzig, 1919.
8. **Дорогокунец П.И., Карпов И.К.** Термодинамика минералов и минеральных равновесий. – Новосибирск: Наука, 1984.- 184 с.
9. **Рузинов П.П., Гуляницкий Б.С.** Равновесные превращения металлургических реакций.- М.: Металлургия, 1975.- 416 с.
10. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание: В 4-х т. / **В.П. Глушко, Л.В. Гурвич** и др.- М., 1978.- Т. 1.- 496 с.
11. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание: В 4-х т. / **В.П. Глушко, Л.В. Гурвич** и др.- М., 1979.- Т. 2.- 341 с.

12. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание: В 4-х т. / **В.П. Глушко, Л.В. Гурвич** и др.- М., 1981.- Т. 3.- 400 с.
13. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание: В 4-х т. / **В.П. Глушко, Л.В. Гурвич** и др.- М., 1982.- Т. 4.- 560 с.
14. **Карпов И.К., Конник С.А., Лашкевич Т.М.** Константы веществ для термодинамических расчетов в геохимии и недрологии.- М.: Наука, 1986.- 143 с.
15. **Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А.** Справочник неорганической химии. Константы неорганических веществ.- М.: Химия, 1987.- 320 с.
16. **Сиденко П.М.** Измельчение в химической промышленности.- 2-е изд.- М.: Химия, 1977.- 382с.
17. **Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых.- 3-е изд.- М.: Недра, 1980.- 415 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 14.07.2023:

А.В. АВАГЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУЛЬФИДИРОВАНИЯ ОКИСЛЕННОЙ МЕДНОЙ РУДЫ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ

В последние годы в металлургических процессах появилось новое направление, согласно которому переработка концентратов осуществляется сочетанием механического и металлотермического методов восстановления. Это способствует интенсификации дальнейших окислительно-восстановительных процессов и получению принципиально новых модифицированных продуктов.

В случае обогащения медных окисленных минералов более приемлемым видом поверхностной активации являются процессы механоактивации путем комбинации добавляемых реагентов. Установлено, что сульфидирование окисленных медных минералов элементарной серой, сульфидами кремния и натрия протекает активно. Определены оптимальные режимы сульфидирования окисленных медных руд.

В результате комплексных исследований разработана технология переработки окисленных медных минералов в мельнице путем сульфидирования и последующей флотации.

Ключевые слова: медь, окисленная руда, сульфидатор, измельчение, сера, сульфидирование.

H.V. AVAGYAN

**STUDYING THE PROCESS OF SULFIDING AN OXIDIZED COPPER
ORE BY THE METHOD OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION**

In recent years, a new direction has appeared in metallurgical processes according to which the processing of concentrates is carried out by a combination of mechanical and metal-thermal methods of recovery. This contributes to the intensification of further redox processes and the production of fundamentally new modified products.

In the case of enrichment of oxidized copper minerals, a more acceptable type of surface activation are mechanical activation processes with a combination of added reagents. It is established that sulfiding of oxidized copper minerals with elemental sulfur, silicon and sodium sulfides proceeds actively. As a result of the research, the optimal modes of sulfiding oxidized copper ores are determined.

As a result of comprehensive research, a technology has been developed for processing oxidized copper minerals in a mill by sulfiding and subsequent flotation.

Keywords: copper, oxidized ore, sulfidator, grinding, sulfur, sulfiding.

Գ.Ա. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Վ.Գ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

ԲԱՑԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ՊԱՅԹԵՑՄԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ
ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ՄՇԱԿՄԱՆ
ԴԵՊՔՈՒՄ

Բացահանքերում պայթեցման արդյունավետությունը որոշող հիմնական ցուցանիշներից մեկը պայթեցված զանգվածի մանրացվածության աստիճանն է: Հայտնի է, որ մեծացնելով պայթուցիկ նյութի (ՊՆ) լիցքի քանակը հորատանցքային ցանցի խտացման ճանապարհով՝ լավանում է պայթեցված զանգվածի մանրացվածության որակը: Սակայն նման մոտեցումը մեծացնում է հորատման աշխատանքների ծավալը և ՊՆ-ի ծախսը: Իր հերթին այս եղանակը մեծացնում է պայթեցվող բլոկի սահմաններից դուրս զանգվածի բնական կառուցվածքային խախտման չափերը, ինչը հանգեցնում է արտաչափս կտորների առաջացմանը: Անհրաժեշտ է նշել, որ մեծացնելով պայթեցման էներգիայի քանակը, հնարավոր է կարգավորել պայթեցվող զանգվածի մանրացվածության աստիճանը, բայց միայն չափազանց խոշոր բլոկայնության (համեմատաբար մոնոլիտ) լեռնային զանգվածում պայթեցում իրականացնելու դեպքում, իսկ միջին և խոշոր բլոկայնության ապարներում ՊՆ-ի քանակի մեծացումը մասնակիորեն լավացնում է զանգվածի պայթեցման որակը: Սահմանվել է, որ միջին և խոշոր բլոկայնության ապարներում պայթեցման էներգիայի հիմնական կրողը համարվում է լեռնային զանգվածի անհամասեռությունը:

Աշխատանքում առաջարկվել է անհամասեռ շերտային կառուցվածքով բացահանքերում հանքաստիճանի պայթեցման նոր տեխնոլոգիա: Պայթեցման առաջարկված մեթոդը թույլ է տալիս մեծացնել ապարի կանոնակարգված մանրացման վրա պայթեցման էներգիայի օգտակար ազդեցությունը, նվազեցնել ՊՆ-ի ծախսը, ստանալ տրված պարամետրերով պայթեցված զանգվածի փլվածք:

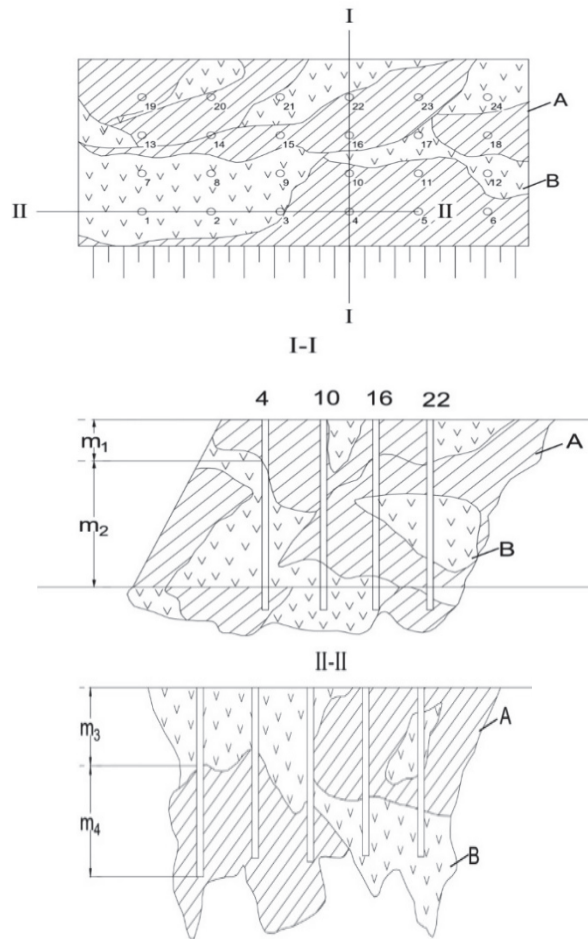
Առանցքային բառեր. պայթուցիկ նյութի տեսակարար ծախս, լեռնային զանգվածի անհամասեռություն, մանրացվածության աստիճան:

Ներածություն: Բացահանքերում հորատապայթեցումը համարվում է պինդ օգտակար հանածոյի արդյունահանման առանցքային գործընթաց, որի արդյունավետությունը որոշիչ է հանքաքարի արդյունահանման ընդհանուր ծախսերի նվազեցման համար: Բացահանքերում պայթեցման աշխատանքների կատարման արդյունավետությունն արտահայտվում է ոչ կոնդիցիոն ֆրակցիաների փոքր ելքով (գերմանրացման և արտաչափս կտորների ելքով) և պայթեցված զանգվածի կոմպակտ փլվածքով:

Հանքաստիճանային բլոկի ապարային զանգվածի պայթեցման պրակտիկայում հորատապայթեցման օպտիմալ պարամետրերի հաշվարկը ընդունված է կատարել՝ ըստ պայթուցիկ նյութի վերականգնվող տեսակարար ծախսի մեծության, որն արտահայտվում է ՊՆ-ի տիպի, քանակի ընտրությամբ, հորատանցքային ցանցի, ՊՆ-ի լիցքի տրամագծի և հանքաստիճանի հիմքի դիմադրության գծի մեծությամբ: Նշված տեխնոլոգիական պարամետրերի փոփոխմամբ հնարավոր է ստանալ անհրաժեշտ լայնքով պայթեցված զանգվածի փլվածք և կարգավորել ապարի մանրացվածության աստիճանը միայն չափազանց խոշոր բլոկավորվածության զանգվածում: Սա պայմանավորված է նրանով, որ չափազանց խոշոր բլոկայնության միջավայրը (համեմատաբար մոնոլիտ միջավայր) միասեռ է, և զանգվածում լարվածության ալիքի ամպլիտուդի նվազում գրեթե տեղի չի ունենում, և պայթեցման էներգիայի կարգավորումը պայթեցման պարամետրերի փոփոխմամբ (հորատանցքային ցանցի պարամետրերի խտացմամբ) դառնում է հնարավոր: Մակայն միջին, խոշոր և անհամեմատ խոշոր բլոկայնության ապարներում, որոնք բնորոշվում են անհամասեռությամբ (նկ.1), պայթեցման պարամետրերի փոփոխմամբ հնարավոր է կարգավորել մանրացվածության աստիճանը մասնակիորեն, քանի որ անհամասեռ ապարներում պայթեցման լարվածության ալիքի և զազառաջացման արգասիքի ճնշման մեծությունը նվազում է տարբեր ակուստիկ կոշտությամբ օժտված ապարների բաժանման սահմանին [1-3]: Ըստ Է.Ի. Եֆրեմովի՝ պայթեցման էներգիան անհամասեռ զանգվածում բաշխվում է անհավասարաչափ, որը չի ապահովում պայթեցված ապարի անհրաժեշտ մանրացվածություն [2]:

Շինանյութերի՝ հանքավայրերում զանգվածի անհամասեռությունն արտահայտվում է բլոկավորված ապարներով և վերջիններս առանձնացնող տարբեր դասավորությամբ և հզորությամբ ճեղքերով, լցված փոքր ակուստիկ կոշտության ապարներով (կավ-ավազաքարերով, կավահողերով, հրաբխային խարամներով): Մետաղական հանքավայրերում բարձր պարունակությամբ օգտակար հզորությունը սահմանափակվում է տարբեր միներալային կազմ ունեցող ապարներով, ցածր օգտակար բաղադրիչ պարունակող հանածոյով, դայկաներով: Մետաղական հանքավայրերում անհրաժեշտ է օգտակար հզորությունը տարանջատել հարակից ապարներից, ինչը կնվազեցնի օգտակար հանածոյի կորուստները և աղքատացումը:

Ներկայումս ՀՀ հանքավայրերում լեռնային ապարային զանգվածի պայթեցման գործող տեխնոլոգիաները հիմնված են պայթեցման պարամետրերի փոփոխման վրա: Իսկ պայթեցման պարամետրերի հաշվարկման մեթոդիկան սահմանափակվում է ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի մեծությամբ, որը գրեթե չի ապահովում պայթեցման անհրաժեշտ որակ և պահանջում է հորատապայթեցման լրացուցիչ ծախսեր:



Նկ.1. Խոշոր բլոկավորվածության հանքաստիճանային բլոկի կառուցվածքը.
A, B – անհամասեռ միջավայրեր, m_1, m_2, m_3, m_4 - օգտակար հզորության և այն սահմանազատող ապարների հզորությունները

Պայթեցված զանգվածի մանրացվածության աստիճանի կարգավորման վերաբերյալ մի շարք հեղինակների կողմից առաջարկված լուծումները սահմանափակ են և մշակված են յուրաքանչյուր կոնկրետ հանքավայրերի կառուցվածքային պայմանների համար [1,4,5]: Ուստի հանքաստիճանի լեռնային զանգվածի կառուցվածքային պայմանները հաշվի առնող պայթեցման նոր տեխնոլոգիայի մշակումը, որը անհամասեռ լեռնային ապարային զանգվածում կապահովի անհրաժեշտ մանրացվածության պայթեցված զանգվածի կոմպակտ փլվածք, ՊՆ-ի նվազագույն ծախսով դառնում է արդիական խնդիր:

Խնդրի դրվածքը և հետազոտության մեթոդները: Պայթեցվող բլոկի անհամասեռությունը բնորոշվում է երկու և ավելի տարբեր բնութագրերով անհամասեռ

շերտերով, որոնք ներկայացված են շերտերի տարբեր հզորությամբ, տարբեր ակուստիկ կոշտությամբ և ամրության բնութագրիչներով: Ուստի պայթեցման օպտիմալ պարամետրերի հաշվարկ իրականացնելիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել անհամասեռ շերտերի հզորությունը, դրանց դասավորությունը, ամրության բնութագրիչները, ակուստիկ կոշտությունը:

Պայթեցման էներգիայի օգտակար գործունեությունը բնորոշվում է պայթեցվող բյուկում վերջինիս հավասարաչափ բաշխվածությամբ: Այն որոշվում է հորատանցքային ցանցի պարամետրերով և հորատանցքում ՊՆ-ի լիցքի երկարությամբ: Հորատանցքային ցանցի պարամետրերի և ՊՆ-ի լիցքի երկարության ընտրությունը կախված է պայթեցվող միջավայրի բյուկայնությունից, ապարի ամրության բնութագրից, կիրառվող ՊՆ-ի հզորությունից: Պայթեցման էներգիայի հավասարաչափ բաշխվածության ապահովումը ապարի ամրության տարբեր բնութագիր ունեցող անհամասեռ միջավայրում բարդ գործընթաց է, և դրա համար անհրաժեշտ է կատարել հորատանցքային ցանցի պարամետրերի հաշվարկ, ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքի և նրա երկարության ընտրություն, հաշվի առնելով անհամասեռ շերտերի հզորությունը, դրանց դասավորությունը, ամրության բնութագրիչները, ակուստիկ կոշտությունը հորատանցքի ողջ երկարությամբ:

Նման միջավայրում ապարային զանգվածի պայթեցման որակի ապահովումը պահանջում է ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքի մշակում՝ տարբեր դետոնացման արագություն ունեցող ՊՆ-երի կիրառմամբ:

Այդ կապակցությամբ անհրաժեշտ է լուծել հետևյալ խնդիրները.

1. Ունենալ հստակ տեղեկություն պայթեցվող բյուկում անհամասեռ շերտերի հզորության, ամրության բնութագրիչների, ակուստիկ կոշտության և դրանց դասավորության վերաբերյալ:
2. Որոշել անհամասեռ շերտերի և՛ մակերևութային, և՛ խորքային հստակ սահմանները:
3. Ընտրել ՊՆ-ի տեսակը՝ ըստ անհամասեռ շերտերի ակուստիկ կոշտության:
4. Որոշել ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքը՝ ըստ շերտերի հզորության և ամրության բնութագրի:

Պայթեցվող բյուկի անհամասեռ շերտերի հզորությունների և դասավորության ազդեցության ուսումնասիրությունը պայթեցման որակի վրա ներկայումս իրականացվում է արտադրափորձարարական եղանակով Արամուսի բազալտի բացահանքի պայմանների համար:

Առաջադրված խնդիրների լուծման համար հորատանցքային ցանցի պարամետրերը և հորատանցքի խորությունը որոշվում են երկրաչափական մոտեցմամբ, հաշվի առնելով հանքաստիճանային բյուկի երկրաչափական չափերը և հանքաստիճանի էլեմենտները:

Խոշոր բլոկայնության ապարների համար հորատանցքի տրամագիծը ընտրվում է $d_h=180$ մմ համաձայն [6]- ի:

Հանքաստիճանային բլոկի էլեմենտների որոշվում են ըստ [7].

1. Հանքաստիճանի հիմքի դիմադրության գծի երկարությունը.

$$w = H_{\text{հան}} \operatorname{ctg} \alpha + c = 53d_{\text{հոր}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{պն}}}{\gamma_{\text{ապ}}}}, \text{ մ}, \quad (1)$$

որտեղ $H_{\text{հան}}$ -ը հանքաստիճանի բարձրությունն է, α -ն՝ հանքաստիճանի թեքման անկյունը, w -ը, c -ն՝ անվտանգության բերմայի չափը, $\gamma_{\text{ապ}}$ -ը՝ ապարի խտությունը, $\rho_{\text{պն}}$ -ը՝ ՊՆ-ի խտությունը, $\operatorname{ctg} \alpha$.

2. Հորատանցքի գերհորատման չափը.

$$l_{\text{գեր}} = \sqrt{H_{\text{հան}}^2 + w^2} - H_{\text{հան}}, \text{ մ}: \quad (2)$$

3. Հորատանցքի երկարությունը.

$$L_{\text{հոր}} = H_{\text{հան}} + l_{\text{գեր}}, \text{ մ}: \quad (3)$$

4. Հորատանցքային ցանցի պարամետրերը.

$$a = b = 0,8w = 2d_{\text{հոր}} \sqrt{\frac{P_0}{\kappa \sigma_{\Delta q}}}, \text{ մ}, \quad (4)$$

որտեղ P_0 -ն ՊՆ-ի գազագոյացման արգասիքի սկզբնական ճնշումն է հորատանցքի պատին.

$$P_0 = \frac{1}{8} \rho_{\text{պն}} D_{\text{պն}}^2 U \eta w, \quad (5)$$

$D_{\text{պն}}$ -ն ՊՆ-ի դետոնացման արագությունն է, $U/\text{վ}$.

$$\kappa = 1 + (2\gamma_{\text{հգ}} P_0)^{\frac{1+\mu}{E}}, \quad (6)$$

$\gamma_{\text{հգ}}$ -ը՝ իզոտրոպիայի գործակիցն է ($\gamma_{\text{հգ}} = 3$), E -ն՝ Յունգի մոդուլը ($E = 10^4 U \eta w$), μ -ն՝ Պուասոնի գործակիցը.

$$E = \frac{v_1^2}{1-\mu} (1-2\mu)(1+\mu) \gamma_1: \quad (7)$$

Հանքաստիճանային բլոկի էլեմենտների որոշումից հետո, ըստ հորատանցքային ցանցի և հորատանցքի խորության պարամետրերի, կատարվում է հորատանցքերի հորատում հետևյալ սկզբունքով. սկզբում պայթեցվող բլոկի ողջ երկայնքով $\alpha x c$ պարամետրերով հորատվում են առաջին շարքի հորատանցքերը, տրվում է հորատանցքերի երկրաբանական նկարագիրը, ինչը բնութագրում է զանգվածում անհամասեռ շերտերի դասավորությունը և հզորությունը՝ ըստ հորատանցքի երկարության:

Այնուհետև ուսումնասիրվում է հանքաստիճանային բլոկի 2 ազատ մակերևույթներում (հանքաստիճանի թեք և վերին մակերևույթներ) անհամասեռ շերտերի դասավորությունը՝ ըստ պայթեցվող բլոկի մակերևութի և բարձրության, դրանով իսկ որոշելով շերտերի դասավորությունը առաջին շարքում: Ըստ նմուշարկման՝ որոշվում են անհամասեռ շերտերի ակուստիկ կոշտությունը և ամրությունը: Նման կերպ որոշվում են երկրորդ և մյուս շարքերում անհամասեռ շերտերի հզորությունը և դասավորությունը պայթեցվող բլոկում, ինչը ցույց է տրված նկ.1-ում:

Երկրորդ և մյուս շարքերում հորատանցքերը հորատվում են axb հորատանցքային ցանցով:

Անհամասեռ միջավայրում պայթեցման էներգիայի հավասարաչափ բաշխվածությունը կախված է ՊՆ-ի տեսակից և բնութագրվում է պայթեցման ջերմունակությամբ, ՊՆ-ի լիցքավորման խտությամբ, ՊՆ-ի դետոնացման արագությամբ:

Օգտվելով (1), (4) և (5) արտահայտություններից՝ որոշենք ՊՆ-ի դետոնացման արագությունը, երբ $a = b = 0,8w$ որոշվում է.

$$D_{\text{պն}} = 42,5 \sqrt{\frac{2\kappa\sigma_{\Delta q}}{\gamma_{\text{պպ}}}} : \quad (8)$$

Այս արտահայտությունը կիրառելի է համասեռ միջավայրի համար:

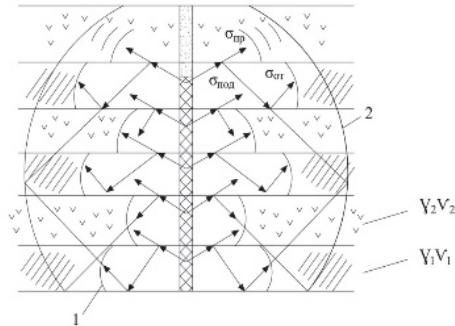
Ոչ համասեռ միջավայրի համար տարբեր ակուստիկ կոշտությամբ ապարներում լարվածության ալիքը կորցնում է իր ամպլիտուդային արժեքը: Այս դեպքում թուլացած լարվածության ալիքը, հասնելով միջավայրերի բաժանման սահմանին, տրոհվում է անդրադարձման ($\sigma_{\text{անդ}}$) և բեկման լարվածության ($\sigma_{\text{բեկ}}$) ալիքների (նկ.2), և թուլացող լարվածության ալիքի մեծությունը նվազում է հետևյալ կախվածությամբ.

$$\sigma_{\text{բեկ}} = (\sigma_{\text{անդ}} - \sigma_{\text{բեկ}}) \kappa_w , \quad (9)$$

որտեղ κ_w –ն լարվածության ալիքի անկման գործակից է՝ կախված 2 տարբեր ակուստիկ կոշտության միջավայրերի առկայությունից, և որոշվում է [7].

$$\kappa_w = \frac{2(\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}}{(\gamma_1 * v_1) \sqrt{A_1} + (\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}} , \quad (10)$$

որտեղ $(\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}$ և $(\gamma_1 * v_1) \sqrt{A_1}$ –ը ապարային միջավայրերի ակուստիկ կոշտությունն է, lq/u^2 , γ_1, γ_2 – ը՝ անհամասեռ միջավայրերում ապարի ծավալային կշիռը, lq/u^3 , v_1, v_2 –ը՝ տարբեր միջավայրերում երկայնական ալիքի տարածման արագությունը, u/u , A_1, A_2 –ը՝ միջավայրի ակուստիկության գործակիցը [8]:



Նկ.2. Տարբեր ակուստիկ կոշտությամբ ապարներում լարվածության ալիքի տրոհման գործընթացը.

1 - լարվածության ալիքի զարգացման սահմանագիծը (ապարի կանոնակարգված մանրացման սահմանագիծ), 2 - ձեղքառաջացման սահմանագիծը

Օգտվելով տարբեր ակուստիկ կոշտությամբ օժտված միջավայրերում լարվածության ալիքի ամպլիտուդային արժեքի նվազման պայմանից՝ ՊՆ-ի դետոնացման արագությունը երկու տարբեր միջավայրերի համար կորոշվի.

$$D_{\text{պն1}} = \frac{85(\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}}{(\gamma_1 * v_1) \sqrt{A_1} + (\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}} \sqrt{\frac{2K_1 \sigma_{\text{dq1}}}{\gamma_1}}, \quad (11)$$

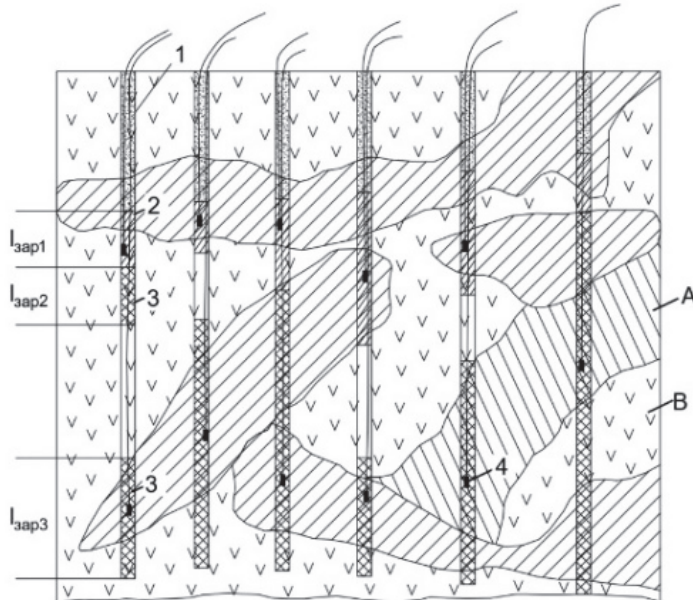
$$D_{\text{պն2}} = \frac{85(\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}}{(\gamma_1 * v_1) \sqrt{A_1} + (\gamma_2 * v_2) \sqrt{A_2}} \sqrt{\frac{2K_2 \sigma_{\text{dq2}}}{\gamma_2}}. \quad (12)$$

(11) և (12) բանաձևերը թույլ են տալիս եզրակացնելու, որ փոքր ակուստիկ կոշտությամբ ապարներում կիրառելի է ցածր փշրողականությամբ ՊՆ, իսկ բարձր ակուստիկ կոշտությամբ ապարներում՝ միջին և բարձր փշրողականությամբ ՊՆ:

ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքի ընտրումը կատարվում է ըստ հորտանցքի լիցքավորման հետևյալ սկզբունքով: Ըստ անհամասեռ շերտերի ակուստիկ կոշտության, ապարի երկրամեխանիկական հատկությունների և ամրության բնութագրի՝ ընտրվում է ՊՆ-ի տեսակը: Այնուհետև կատարվում է հորատանցքերի լիցքավորում՝ հաշվի առնելով անհամասեռ շերտերի դասավորությունը և հզորությունը՝ ըստ պայթեցվող բլոկի բարձրության: Կիրառվում է ինչպես հոծ, այնպես էլ օդային բացակով ապակենտրոնացված լիցքի կառուցվածքը: Օդային բացակի երկարության ընտրությունը կատարվում է՝ կախված է փոքր ակուստիկ կոշտությամբ (փխրուն) շերտի (B) հզորությունից (նկ.3), և որոշվում է հետևյալ կերպ.

$$l_{\text{օ. ք}} \leq \frac{m_{\text{օ}}}{3}: \quad (13)$$

Նման տեխնոլոգիայով պայթեցումն ապահովում է ՊՆ-ի նվազագույն ծախսով պայթեցման բարձր արդյունավետություն:



Նկ.3. Հորատանցքերի լիցքավորման սխեման՝ կախված անհամասեռ շերտերի հզորությունից և դասավորությունից

Հետազոտության արդյունքները: Անհամասեռ միջավայրի ելակետային ցուցանիշների ուսումնասիրությունը և այդ ցուցանիշների հիման վրա առաջադրված տեխնոլոգիայի կիրառումն իրականացվել են Արամուսի բազալտի բացահանքի պայմաններում, միջին բլոկավորվածության հանքաստիճանային բլոկի պայթեցման դեպքում: Հանքաստիճանի էլեմենտները, ապարի երկրամեխանիկական հատկությունները, ուսումնասիրության ցուցանիշները բերված են աղ. 1-ում: Հորատանցքային ցանցի պարամետրերի ընտրությունը կատարվել է՝ համաձայն ապարի ամրության բնութագրիչների և երկրամեխանիկական հատկությունների: Ըստ հորատանցքի հանուկի տվյալների՝ որոշվել են բազալտի և կավավազի հզորությունը, ակուստիկ կոշտությունը, դրանց դասավորությունը պայթեցվող բլոկում: ՊՆ-ի ընտրությունը կատարվել է՝ համաձայն ՊՆ-ի դետոնացման արագության հաշվարկման բանաձևերի: Բազալտի շերտում կիրառվել է Անֆո, որի դետոնացման արագությունը կազմում է $3200 \dots \frac{3600 u}{l}$ (հաշվարկային ցուցանիշ - $D_{\text{պն1}} = 3070 \text{ մ/վ}$): Կավահողում կիրառվել է Անֆոյի և փրփրապոլիստիոլի խառնուրդ Անֆո+ՓՊ [9], որի դետոնացման արագությունը, կախված խառնուրդում ՓՊ-ի պարունակությունից, տատանվում է $2400 \dots 3000 \text{ մ/վ}$ (հաշվարկային ցուցանիշը - $D_{\text{պն2}} = 2100 \text{ մ/վ}$) տիրույթում:

*Արամուսի բազալտի բացահանքի պայթեցվող բլոկի ֆիզիկամեխանիկական
հատկությունները և ուսումնասիրության արդյունքները*

Ելակետային ցուցանիշները		Ուսումնասիրության արդյունքները					
1		2					
Միջավայրի բլոկավորվածությունը	Խոշոր բլոկավորվածության	Հորատանցքերի համարները	Անհամասեռ շերտերի գումարային հզորությունները, <i>u'</i>				
Անհամասեռ ապարների անվանումը	Բազալտ, կավահող		Բազալտ	Կավավազ	Կավահող	Խարստ	
Ապարի պայթելիությունը	Բազալտ միջին պայթելիության <i>f</i> = 10...14						1
			2	8.0		2.2	2.8
			3	8.5	2.6		1.9
			4	10.5		1.3	1.2
		5	9.3	1.1	2.2	0.4	
Ապարի ամրության սահմանը՝ ըստ սեղմման	Բազալտ, $\sigma_{սեղ}$ = 80...120, ՄՊա	6	11.3	1.7			
		7	9.3	0.9		2.8	
		8	8.6	1.0	2.3	1.1	
	Կավավազաքար, $\sigma_{սեղ}$ =4,5...18,5 ՄՊա	9	7.9		4.2	0.9	
		10	11.0	0.6	1.0	0.4	
11		10.6	0.8		1.6		
Ապարի ամրության սահմանը ըստ ձգման	Բազալտ $\sigma_{\Delta q}$ = 4,0...125, ՄՊա	12	8.8		1.8	2.4	
		13	5.3	3.7	2.5	1.5	
		14	7.7	0.9	3.0	1.4	
	Կավավազաքար $\sigma_{\Delta q}$ = 0,4...1,8, ՄՊա	15	7.8		3.2	2.0	
		16	8.6	2.3	1.1	1.0	
Անհամասեռ շերտերի ծավալային կշիռը,	Բազալտ, γ_1 = 2650...2850, կգ/մ ³	17	9.5	1.2	2.3		
		18	10.8		2.2		
		19	8.2		3.8	1.0	
	Կավահող, γ_2 =1750...2150,կգ/մ ³	20	10.2	0.8	1.0	1.0	
		21	10.3	0.7	2.0		
Անհամասեռ շերտերում երկայնական ալիքի տարածման արագությունը	Բազալտ, v_1 = 3700 մ/վ	22	10.0	1.2	1.8		
		23	10.8	0.9		1.3	
		24	8.9		3.8	0.3	
	Կավահող, v_2 = 1830 մ/վ	25	8.3	3.4		1.3	
		26	9.2	1.8	1.1	0.9	
Պուասսոնի գործակիցը	μ = 0,27	27	8.9	1.6	1.8	0.7	
ՊՆ-ի հաշվարկային դետոնացման արագությունը	Բազալտ $D_{պն}$ = 3070մ/վ	28	12.0	0.4		0.6	
	Կավահող $D_{պն}$ = 2100մ/վ	29	6.9	3.0	2.3	0.8	
		30	7.6		4.8	0.6	

Աղյուսակ 1-ի շարունակությունը

1		2				
Անհամասնե շերտերի ակուստիկ կոշտությունը	$\sqrt{A_1}(\gamma_1 * v_1) = 4,9 \cdot 10^6 \text{ կգ/մ}^2$ $A_1 = 0.25$	31	7.8	2.2	2.4	0.6
		32	6.0	3.0	2.8	1.2
		33	7.4	2.3	2.4	0.9
	$\sqrt{A_2}(\gamma_2 * v_2) = 1,2 \cdot 10^6 \text{ կգ/մ}^2$ $A_2 = 0.1$	33	6.4		3.8	2.8
		34	8.0	1.5	3.5	
		35	7.8	2.5	2.7	
Առաձգականության մոդուլը	Բազալտ, $E = 2,9 \cdot 10^4 \text{ ՄՊա}$	36	8.9	2.3	1.0	0.8
		37	7.5	1.8	2.3	1.4
		38	9.0	1.0	1.8	1.2
	Կավահող $E = 0,007 \cdot 10^4 \text{ ՄՊա}$	39	8.5	1.5	2.0	1.0
		40	9.6	2.4		1.0

Հորատանցքի լիցքավորումը կատարվել է՝ համաձայն հորատանցքի նկարագրի, որը բնութագրում է անհամասնե շերտերի դասավորությունը և հզորությունը:

Ընտրվել է սեղանաձև ներհատումով պայթեցման սխեման [9], դանդաղեցման տևողությունն ընդունվել է 42 մ/վ: Պայթեցման գնահատման չափանիշ են ընդունվել պայթեցված զանգվածի կոնդիցիոն և ոչ կոնդիցիոն չափաբաժինների ելքը, պայթեցված զանգվածի փլվածքի լայնքը, ՊՆ-ի ծախսը:

Պայթեցման առաջարկված տեխնոլոգիան ապահովում է պայթեցված զանգվածի կոմպակտ փլվածքը, նվազեցում է ՊՆ-ի ծախսը 12,7%-ով: Գերմանրացված զանգվածի ելքը նվազում է 6,9%-ով, արտաչափս կտորների ելքը՝ 7,7 %-ով, ինչը ցույց է տրված աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

Հորատապայթեցման պարամետրերը և պայթեցման արդյունքները

ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքը ըստ հորատանցքերի				Հորատապայթեցման պարամետրերը	
Հորատանցքերի համարները	Լիցքի երկարությունը	Խցանյութի երկարությունը	Օդային բացակի երկարությունը	Պայթեցվող հանքաստիճանային բլոկի պարամետրերը	Պայթեցման տեխնոլոգիա գործող
				Հանքաստիճանի բարձրությունը, մ	առաջարկված
				Հորատանցքի տրամագիծը, մ	
				Հանքաստիճանի թեքման անկյունը, աստ	
1	8.0	3.2	1.8	10	12
2	8.2	2.8	2.0	0,14	0,18
3	8.0	3.4	1.6	75 ... 80	75...80
4	8.5	4.5			
5	8.5	4.5			
6	8.5	4.5			
7	8.0	4.0	1.0		

Աղյուսակ 2-ի շարունակությունը

8	8.5	4.5		Հանքաստիճանի հիմքի		
9	7.2	3.5	2.3	դիմադրության գիծը, <i>ս</i>	4,0	5,0
10	8.5	4.5		Հորատանցքային ցանցի		
11	8.5	4.5		պարամետրերը, <i>ս</i>	3,2 x 3,2	4,2 x 4,2
12	8.0	3.5	1.5	Հորատանցքի երկարությունը, <i>ս</i>	11.0	13.0
13	8.2	3.0	1.8	Կիրառվող ՊՆ-ի տեսակը	Անֆո	Անֆո
14	8.5	4.5				Անֆո+ՓՊ
15	8.0	3.8	1.2	ՊՆ-ի լիցքի կառուցվածքը	Հոծ	Հոծ, ապա-
16	8.2	3.9	0.9			կենտրոն.
17	8.5	4.5				
18	8.0	4.0	1.0	Պայթեցման սխեման	Սեպաձև	Սեղանաձև
19	8.0	3.8	1.2		ներհատու-	ներհատու-
20	8.5	4.5			մով	մով
21	7.7	3.8	1.5	Հորատանցքերի քանակը, հատ	80	40
22	8.5	4.5				
23	8.0	4.0	1.0	Շարքերի թիվը, հատ	4	2
24	6.8	4.0	2.2			
25	7.7	4.0	1.3	ՊՆ-ի ընդհանուր քանակը, <i>կգ</i>	7569	6187/ 7090
26	8.5	4.5				
27	8.0	4.0	1.0	Պայթեցած զանգվածի ընդհանուր	9480	10450
28	8.5	4.5		ծավալը, <i>ս³</i>		
29	7.1	3.0	2.9	ՊՆ-ի փաստացի ծախսը, <i>կգ/ս³</i>	0,79	0,59/0,68
30	8.0	3.0	2.0			
31	7.3	3.8	1.9	Պայթեցած զանգվածի ելքը՝ ըստ չափաբաժինների, <i>ս³</i>		
32	6.9	3.5	2.6			
33	7.6	3.4	2.0	Գերմանրացված զանգվածի ելքը, <i>ս³</i> ,	1160/12,3	565/5,4
33	8.0	3.8	1.2	%		
34	7.6	3.3	2.1	Արտաչափս կտորների ելքը, <i>ս³</i> , %	1350/14,3	685/6,6
35	7.5	3.7	1.8	Պայթեցված զանգվածի փլվածքի պարամետրերը, <i>ս</i>		
36	8.0	4.0	1.0			
37	8.3	3.5	1.2	Լայնքը, <i>ս</i>	38,5	29,5
38	8.5	4.5				
39	8.0	3.7	1.3	Բարձրությունը, <i>ս</i>	8,8	7,5
40	8.0	4.0	1.0			

Եզրակացություն.

1. Անհամասեռ միջավայրում լեռնային զանգվածի ակուստիկ կոշտությունը բնորոշում է պայթեցման էներգիայի ներգործությունը լեռնային ապարների քայքայման գործընթացի վրա:

2. Ոչ համասեռ, խոշոր բլոկավորվածության ապարներում ՊՆ-ի տեսակարար ծախսի մեծացումը չի կարող ուղիղ համեմատական կախվածությամբ մեծացնել ապարների մանրացվածության աստիճանը: Այն էապես կախված է անհամասեռ շերտերի հզորությունից:

3. ՊՆ-ի հավասարաչափ բաշխումը զանգվածում բնութագրվում է ՊՆ-ի տեսակի ընտրությամբ՝ կախված ապարի սահմանային ամրության բնութագրից և միջավայրի ակուստիկ կոշտությունից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Мосинец В.Н., Абрамов А.В.** Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород.- М.: Недра, 1982.- 248 с.
2. **Ефремов Э.И.** Подготовка горной массы на карьерах. - М.: Недра, 1980.- 271с.
3. **Агаронян Г.А., Агаронян А.Г.** Выбор оптимальных параметров взрывания при отделении строительных каменных блоков от горного массива // Вестник Национального политехнического университета Армении: Металлургия, материаловедение, недропользование. - Ереван, 2015.— N 1.- С.108-116.
4. **Chakraborty A.K., Riana A.K., Ramulu M.A.** Parametric study to develop guidelines for blats fragmentation improvement in jointed and massive formations //Eng. Geol.- 2004.- P. 105-116.
5. **Кутузов Б.Н.** Взрывные работы.- М.: Недра, 1980. – 392 с.
6. **Агаронян Г.А.** Новая методика расчета параметров буровзрывных работ на карьерах // Известия НАН РА и НПУА. Сер. Техн. наук.- 2022. - Т.75, N1. - С.43-54.
7. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. – М.: Недра, 1972.- 240 с.
8. **Азаркович А.Е., Шуйфер М.И., Тихомиров А.П.** Взрывные работы вблизи охраняемых объектов. - М.: Недра, 1984.-213 с.
9. **Ահարոնյան Գ.Ա.** Բացահանքերում զանգվածային պայթեցման բացասական ներգործությունների նվազեցման տեխնոլոգիա// ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխ. գիտ. Սերիա. – 2022. - Հ.75, N2. - Էջ.239- 251:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.06.2023:

Г.А. АГАРОНЯН, В.Г. ОВСЕПЯН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕОДНОРОДНЫХ ГОРНЫХ МАССИВОВ НА КАРЬЕРЕ

Одним из основных показателей, определяющих эффективность взрывных работ на карьерах, является степень дробления взорванной массы. Принято, что с увеличением массы заряда взрывчатого вещества (ВВ) путем сгущения сетки скважин улучшается качество дробления взорванной горной массы. Однако подобный подход ведет к увеличению объема работ по бурению и повышению затрат на ВВ. В свою очередь, метод приводит к увеличению размера нарушения естественной структуры

за контуром взрываемого блока, что является очагом выхода негабарита. Следует отметить, что с увеличением количества энергии взрыва возможно регулировать степень дробления взорванной массы, но только лишь при взрывании в чрезвычайно крупноблочном (относительно монолитном) массиве, а в средне- и крупноблочных массивах с ростом количества ВВ качество взрыва улучшается частично. Установлено, что в средне- и крупноблочных породах основным носителем энергии взрыва считается неоднородность массива.

В работе предлагается новая технология ведения взрывных работ на уступах неоднородного, слоистого строения. Предложенный метод отбойки позволяет увеличить полезные действия энергии взрыва на дробление, снизить затраты ВВ, получить развал взорванной массы заданных параметров.

Ключевые слова: удельный расход взрывчатого вещества, неоднородность массива, степень дробления.

G.A. AHARONYAN, V.G. HOVSEPYAN

IMPROVING THE BLASTING TECHNOLOGY AT THE DEVELOPMENT OF NON-HOMOGENEOUS ROCKS IN AN OPEN PIT

One of the main indicators that determine the effectiveness of blasting in open pits is the degree of crushing of the blasted mass. It is accepted that with an increase in the mass of the explosive charge by thickening the grid of holes, the quality of crushing the blasted rock mass improves. However, this approach leads to an increase in the amount of drilling work and an increase in the cost of explosives. In its turn, the method leads to an increase in the size of the violation of the natural structure behind the contour of the blasted block, which is the focus of oversized output. It should be noted that with an increase in the amount of explosion energy, it is possible to regulate the degree of crushing of the exploded mass, but only when blasting in an extremely large-block (relatively monolithic) array, and with an increase in the number of explosives, the quality of the explosion partially improves. It has been established that in medium and large-block rocks, the main carrier of the explosion energy is considered to be the heterogeneity of the mass.

The paper proposes a new technology for blasting operations on ledges of heterogeneous, layered structures. The proposed breaking method makes it possible to increase the useful effect of the explosion energy on crushing, reduce the cost of explosives, and obtain the collapse of the exploded mass of the given parameters.

Keywords: specificity of explosives, mass inhomogeneity, crushing degree.

Դ.Վ. ԱՂԱԲԵԿՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ռ.Ա. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԴԻՍԿՐԵՏ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ԱՐԵՎԻՆ ՀԵՏԵՎՈՂ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Մշակվել և փորձարկվել է արևային կայանների համար դիսկրետ կարգավորման ռեժիմում արևին հետևող համակարգ: Ցույց է տրվել, որ կողմնորոշման կարճ դադարների կիրառումը հանգեցնում է պտտող սարքակազմի էլեկտրաէներգիայի ծախսի մի քանի անգամ նվազեցմանը՝ արևային կայանով գեներացված էլեկտրաէներգիայի աննշան փոքրացման դեպքում:

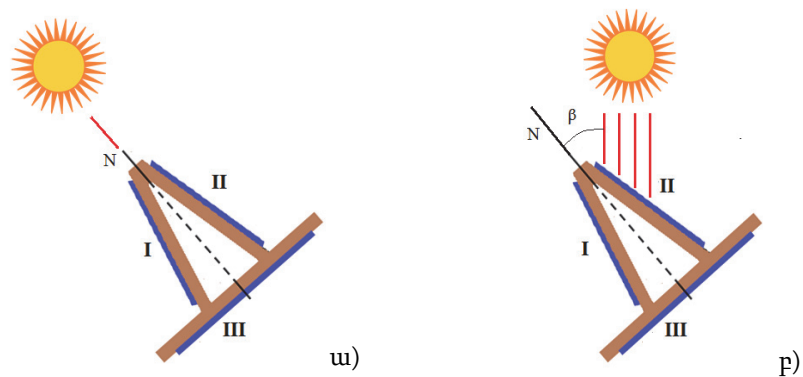
Առանցքային բառեր. արևային էլեմենտ, կայան, արևին հետևում, դիսկրետ ռեժիմ:

Ներածություն: Արևային էլեմենտները (ԱԷ) կարող են աշխատել առանց կամ լույսի խտարարներով: Վերջին դեպքում կիրառվում է խտարարի ուժեղացման գործակցի համեմատ ավելի քիչ մակերեսով ԱԷ: Լույսի խտարարներով ԱԷ-ներից են նաև, այսպես կոչվող, «ուղղահայաց p-n անցումով» սիլիցիումային ԱԷ-ները, որոնց լուսային ճառագայթների ուղղությունը համընկնում է p-n անցման հարթությանը [1, 2]: Դրանց հիման վրա պատրաստված արևային կայանների գործնական կիրառման համար անհրաժեշտ է ապահովել առավելագույն լուսաընկալում՝ իրականացնելով արևին հետևում:

Արևին հետևելու համար ներկայումս լայնորեն օգտագործվում են լուսազգայուն սովիչներ, որոնք կազմված են 2...4 կիսահաղորդչային ֆոտոէլեկտրական տարրերից՝ ֆոտոռեզիստոր, ֆոտոդիոդ, ֆոտոտրանզիստոր, արևային էլեմենտ [3-5]: Երբ արևը գտնվում է արևային համակարգի կենտրոնում, բոլոր ֆոտոէլեկտրական տարրերը ստանում են լույսի ինտենսիվության նույն քանակությունը: Մակայն օրվա ընթացքում նշված դիրքից շեղման ժամանակ դրանց վրա ընկնող լուսային ինտենսիվությունները կլինեն տարբեր: Այս դեպքում որոշակի ակտիվությամբ համապատասխան ազդանշանը տրվում է արևային կայանի պտտող սարքակազմին, որն էլ կայանը տեղաշարժում է այնպիսի դիրքի, երբ բոլոր ֆոտոէլեկտրական տարրերի պարամետրերը կլինեն հավասար: Դա թույլ է տալիս ճշգրտորեն հետևել արևի հետագծին օրվա ընթացքում և տարվա կտրվածքով:

Մեր կողմից մշակվել և փորձարկվել էր երեք ԱԷ-ից բաղկացած արևին հետևող լուսազգայուն սովիչ, որի կառուցվածքը բերված է նկ. 1-ում [6, 7]: Դրա թեք մետաղական միջնորմների վրա տեղակայված են երկու դիմային ԱԷ (I և II),

իսկ հիմքին՝ թիկունքային ԱԷ (III): Դիմային ԱԷ-ները նախատեսված են արևի դիրքի որոշման համար, իսկ թիկունքայինը՝ առավոտյան արևային կայանի գործարկման համար:

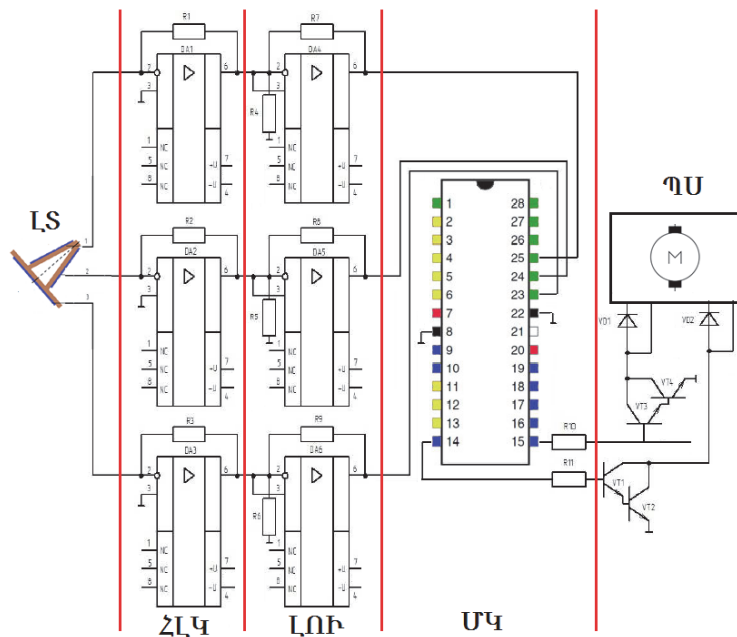


Նկ. 1. Լուսազգայուն տվիչի կառուցվածքը և դիրքերն արևային ճառագայթների անկման ուղղության նկատմամբ զուգահեռ (ա) և շեղված (բ) դիրքերում

Այս և հայտնի այլ լուսազգայուն տվիչներով արևային կայանների արևին հետևումն իրականացվում է անընդհատ ռեժիմով, որը հանգեցնում է էլեկտրական էներգիայի զգալի կորուստների: Սույն աշխատանքում մշակվել և փորձարկվել է լուսազգայուն տվիչներով դիսկրետ (ընդհատ) կարգավորման ռեժիմում արևին հետևող համակարգ:

Համակարգի նկարագրությունը: Նկ. 2-ում բերված է լուսազգայուն տվիչով (LS) արևին հետևող համակարգի սկզբունքային էլեկտրական սխեման: Այն ներառում է հոսանք-լարում կերպափոխիչ (ՀԼԿ), լարման ուժեղարար (ԼՈւ) և միկրոկոնտրոլեր (ՄԿ): Հոսանք-լարում կերպափոխիչներն իրականացնում են ԱԷ-ների հոսանքների կերպափոխում՝ համապատասխան լարումներին, որոնք լարման ուժեղարարների միջոցով ուժեղացվում են, որպեսզի համապատասխանեցվեն միկրոկոնտրոլերի մուտքային ազդանշանների պահանջվող մակարդակին: Միկրոկոնտրոլերն իրականացնում է ստացված տեղեկատվության մշակում. լարման արժեքները ներքին անալոգա-թվային ձևափոխիչներով փոխարկում է համապատասխան թվային կոդերի, որոնք էլ մշակում են (համեմատում են) ըստ ծրագրավորված ալգորիթմի: Միկրոկոնտրոլերի ելքից պատռող սարքակազմի (ՊՄ) մուտքին տրվում է համապատասխան տեղեկություն՝ պտտման ուղղության, քայլի և հակադարձ լրիվ պտտման վերաբերյալ: Էլեկտրական սխեմայում հոսանք-լարում կերպափոխիչը և լարման ուժեղարարն իրականացվել են AD82 օպերացիոն ուժեղարարների հիման վրա, իսկ որպես միկրոկոնտրոլեր կիրառվել է Atmega 8 մանիշի միկրոկոնտրոլերը: Դիոդները ծառայում են տրանզիստորների պաշտ-

պանության համար կոմուտացիոն մեծ լարումների ժամանակ: Դարվինգտոնի սխեմաները (VT, VD) նախատեսված են ՄԿ-ի էլքային բեռնվածքային հնարավորությունը մեծացնելու համար:



Նկ. 2. Արևին հետևող համակարգի էլեկտրոնային հանգույցի սկզբունքային էլեկտրական սխեման

Մշակվել է որոշակի Δt ժամանակային դադարներով դիսկրետ կարգավորման ռեժիմում համակարգի աշխատանքային ալգորիթը: Հաշվի են առնվել հետևյալ պահանջները.

- Որպեսզի բացառվի պտտող սարքակազմի գործառույթը օրվա ընթացքում, երբ բոլոր ԱԷ-ներն ունեն մոտավորապես հավասար հոսանքներ (օրինակ, փոփոխական ամպամածության պայմաններում), ապա հարկավոր է հաշվի առնել III ԱԷ-ի հոսանքի չափման հարաբերական սխալանքը: Այս պայմանը նշանակում է, որ պտտող սարքակազմի հետադարձ պտույտ հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ հարաբերական սխալանքը փոքր է թույլատրելի շեմային արժեքից՝ m .

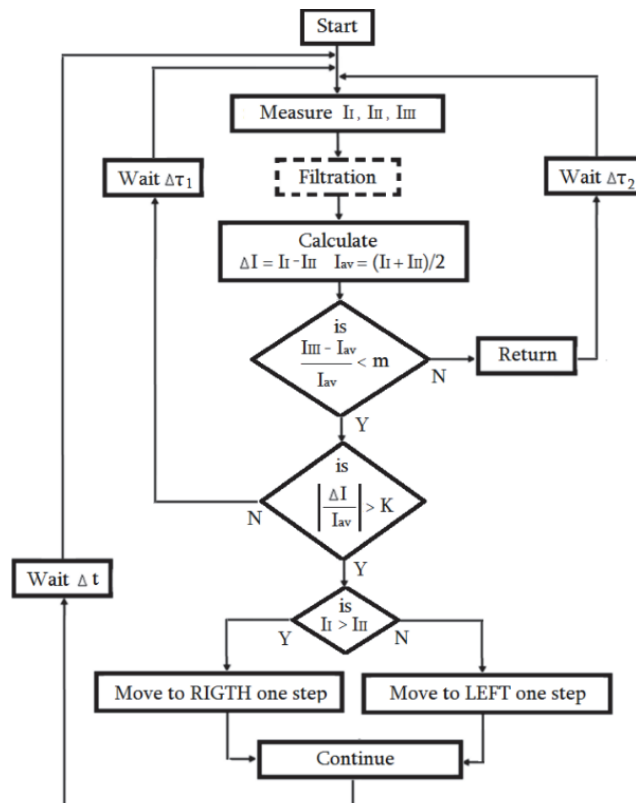
$$\frac{I_{III} - (I_I + I_{II})/2}{(I_I + I_{II})/2} = \frac{I_{III} - I_{av}}{I_{av}} < m:$$

- Քանի որ ՊՄ-ի անկյունային քայլը կատարվում է սահմանափակ արագացմամբ և արագությամբ, ապա հաջորդական քայլերի միջև անհրաժեշտ է նախատեսել որոշակի ժամանակային դադար՝ Δt :

- Անհրաժեշտ է բացառել ՊՄ-ի գործառույթը, երբ I և II ԱԷ-ների հոսանքների տարբերությունների չափման հարաբերական սխալանքը փոքր է թույլատրելի շեմային արժեքից՝ k : Այս պայմանը նշանակում է, որ ՊՄ-ն գտնվում է դադարի վիճակում Δt ժամանակահատվածում, երբ՝

$$\left| \frac{I_I - I_{II}}{(I_I + I_{II})/2} \right| = \left| \frac{\Delta I}{I_{av}} \right| < k:$$

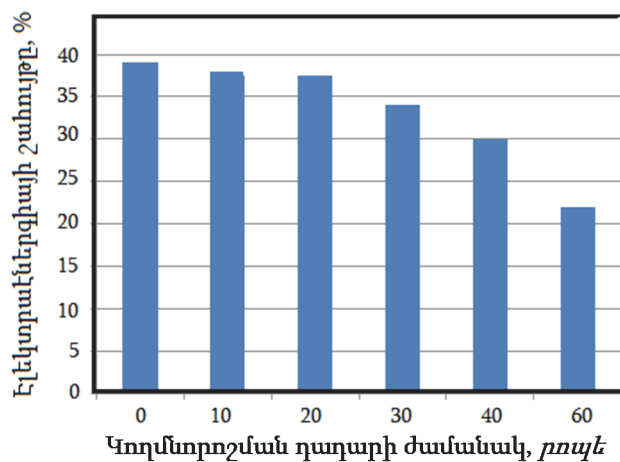
Նկ. 3-ում բերված է համակարգի աշխատանքային ալգորիթը, որում Filtration գործողությունը մատնանշում է հոսանքների չափված արժեքների զտում-միջինացում:



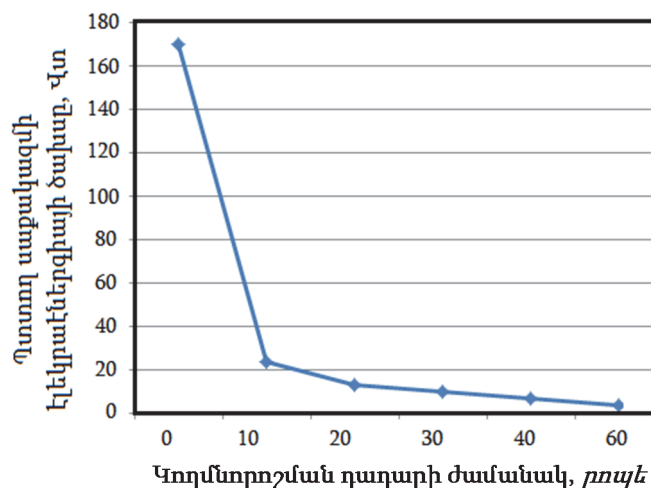
Նկ. 3. էլեկտրոնային հանգույցի աշխատանքի ալգորիթը

Ալգորիթի գործնական կիրառման համար ընտրվել են հետևյալ թվային արժեքները՝ $m=0.05$, $k=0.05$, $\Delta\tau_1=10\text{վրկ}$ և $\Delta\tau_2=60\text{վրկ}$, համապատասխանաբար մեկ քայլ (one step) և հետադարձ ամբողջական պտույտ (return) կատարելու դեպքում: Համակարգի միկրոկոնտրոլերի ծրագրավորումն իրականացվել է Embedded C ծրագրային միջավայրում:

Համակարգի փորձարկումը: Համակարգը փորձարկվել է «Բարվա» ինովացիոն կենտրոնի արևային փորձակայանի վրա [8]: Նկ. 4-ում բերված են փորձակայանի հունիս ամսին օրական գեներացրած էլեկտրաէներգիայի շահույթի միջինացված արժեքներն անշարժ (առանց արևին հետևելու) դեպքի համեմատ՝ կողմնորոշման դադարի տարբեր տևողությունների դեպքում ($\Delta t = 0$ -ն համապատասխանում է արևին անընդհատ հետևմանը): Նկ. 5-ում բերված են ՊՄ-ի էլեկտրաէներգիայի օրական ծախսի միջինացված արժեքները՝ կախված կողմնորոշման տեղաշարժի դադարի տևողությունից:



Նկ. 4. Արևային փորձակայանի օրական գեներացրած էլեկտրաէներգիայի շահույթի միջինացված արժեքները դադարի տարբեր ժամանակների դեպքում



Նկ. 5. Արևային փորձակայանի պտտող սարքակազմի էլեկտրաէներգիայի ծախսի միջինացված արժեքները՝ կախված դադարի ժամանակից

Ինչպես հետևում է բերված տվյալներից, $\Delta t=20$ րոպե տևողությամբ կողմնորոշման տեղաշարժի դադարը հանգեցնում է ՊՍ-ի էլեկտրաէներգիայի ծախսի մոտավորապես 10 անգամ նվազմանը՝ արևային կայանով գեներացված էլեկտրաէներգիայի աննշան նվազման պայմաններում:

Եզրակացություն: Մշակվել են արևային կայանների արևին հետևող համակարգ և դրա աշխատանքային ալգորիթներ: Էլեկտրական էներգիայի ծախսի խնայողության համար առաջարկվել է արևին հետևումն իրականացնել դիսկրետ կարգավորման ռեժիմում կողմնորոշման տեղաշարժի և պտտող սարքակազմի հաջորդական քայլերի որոշակի ժամանակային դադարներով: Հիմնավորվել են այդ դադարների տևողությունները՝ 20 րոպե, 10 վրկ և 60 վրկ համապատասխանաբար տեղաշարժ, մեկ քայլ և հետադարձ պտույտ կատարելու դեպքերում: Դա հանգեցնում է արևային կայանի պտտող սարքակազմի էլեկտրաէներգիայի ծախսի մոտավորապես 10 անգամ նվազմանը՝ կայանով գեներացված էլեկտրաէներգիայի աննշան փոքրացման պայմաններում:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 22AA-2B001 և 22YR-2B001 ծածկագրերով գիտական թեմաների շրջանակներում:

ՓԼԱՄԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Варданын А.А., Айвазян Г.Е., Киракосян Г.Г., Петросян А.В.** Исследование ВАН планарных и торцевых солнечных элементов // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2005.- Т. LVIII, № 1. - С. 127-131.
2. **Վարդանյան Ա.Ա., Թովմայան Ռ.Ա.** Ուղղահայաց p-n անցումով արևային տարրերի հիման վրա արևային էներգիայի փոխակերպիչների պատրաստումը և հետազոտումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր.- 2022.- Մաս I.- Էջ 245-249:
3. A Review on Photovoltaic Systems: Mechanisms and Methods for Irradiation Tracking and Prediction/ **H. Loschi, Y. Iano, J. León, A. Moretti, F.D. Conte, H. Braga** // Smart Grid and Renewable Energy.- 2015. - N 6.- P. 187-208.
4. **Hafez A.Z., Yousef A.M., Harag N.M.** Solar Tracking Systems: Technologies and Trackers Drive Types – A Review // Renewable and Sustainable Energy Reviews.- 2018.- V. 91.- P. 754–782.
5. **Le C., Chou P., Chiang C., Lin C.** Sun Tracking Systems: A Review // Sensors.- 2009.- V. 9.- P. 3875-3890.
6. **Айвазян А.Г., Агабекян Д.В., Варданын А.А.** Солнечное электропитание базовых станций сотовой связи // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2020.- N2.- С. 81-85.
7. **Айвазян Г.Е., Агабекян Д.В., Варданын А.А., Петросян О.А.** Система отслеживания за Солнцем для фотовольтаических станций // Вестник НПУА. - Часть 1. – 2018. – С. 160-165.

8. **Ayvazyan A.G., Aghabekyan D.V., Vardanyan A.A.** Remote Monitoring System using GSM for Photovoltaic Stations // Proc. of 11th Int. Conf. on Semiconductor Micro- and Nanoelectronics.- Yerevan, Armenia, 2017.- P. 153-156.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.10.2023:

Д.В. АГАБЕКЯН, А.Г. АЙВАЗЯН, Р.А. ТОВМАСЯН, А.А. ВАРДАНИЯН

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ В
ДИСКРЕТНОМ РЕЖИМЕ СОЛНЕЧНЫХ СТАНЦИЙ**

Для солнечных станций разработана и испытана система слежения за Солнцем в режиме дискретного регулирования. Показано, что применение коротких остановок позиционирования приводит к сокращению энергопотребления поворотного устройства в несколько раз, при этом дневная выработка электроэнергии уменьшается незначительно.

Ключевые слова: солнечный элемент, станция, слежение за Солнцем, дискретный режим.

**D.V. AGHABEKYAN, A.G. AYVAZYAN, R.A. TOVMASYAN,
A.A. VARDANYAN**

**DEVELOPING A SUN TRACKING SYSTEM IN THE DISCRETE MODE
OF SOLAR STATIONS**

A solar tracking system in discrete control mode has been developed and tested for solar stations. It has been shown that the use of short positioning stops leads to a reduction in the power consumption of the rotary device several times, while the daily power generation decreases slightly.

Keywords: solar cell, station, sun tracking, discrete mode.

S.A. GHUKASYAN, H.V. VARDANYAN, E.T. PAPYAN,
E.Y. KARAPETYAN, R.N. KHACHATRYAN

IBIS MODEL ACCURACY IMPROVEMENT USING VARIABLE STEP

In all times of integrated circuits (IC) manufacturing, the speed of getting the product on the market has been the main problem for all manufacturers. The main reason for late products has always been the speed of the tools that carry out the testing. The main simulator used by every manufacturer is the SPICE simulator, but with the SPICE simulator it can take up to months to simulate the whole TXRX macro. But since the 1990s with the introduction of the I/O Buffer Information Specification (IBIS) models, the testing time has decreased dramatically.

A method is proposed to generate IBIS models with a variable step, that will help to increase the accuracy of the IBIS model during signal integrity (SI) simulations and will correlate with SPICE simulations better. The proposed method can be implemented for all types of TX drivers and IBIS models.

Keywords: transmitter, signal integrity, variable step, accuracy, IBIS.

Introduction. From the start of integrated circuit (IC) design, SPICE simulation has always been used in areas such as IC design to simulate the design because of its high level of accuracy. However, at the system level, the SPICE simulation has a few cons for the user and the device manufacturer. SPICE simulations could only model a circuit at the transistor level, so the simulator should have exact information about the circuit and PVT parameters. Many IC vendors consider this type of information unacceptable and avoid making their models available to the public. Even though SPICE simulations are very accurate, simulation speeds are very slow for transient simulation analysis, which is often used when assessing signal integrity performance. Also, not all SPICE simulators are fully compatible. Default simulator options may also differ with different SPICE simulators. Because some very essential options control accuracy, convergence, and algorithm type, any inconsistency in options may produce poor correlation in simulation results between different simulators. As SPICE variants exist, models are often incompatible between simulators so they should be extracted for a specific simulator. Another choice for SPICE simulation is I/O Buffer Information Specification (IBIS) [1]. Intel initially developed IBIS to give customers access to accurate I/O buffer models without risking their intellectual property. The core of the IBIS model consists of V_t , I_t , I_v ,

and capacitance tables. At first, the IBIS models included only 2 types of tables: current vs. voltage (Iv) and voltage vs. time (Vt). But because IBIS models were just models for TX, they would not give the same result as the SPICE simulation. That is why the standard of the IBIS models has changed since then. During the development of the IBIS model, developers created a new type of IBIS model called IBIS-AMI [1].

The If simulations are used for calculating the capacitance value on the output and the power rails. The clamp simulation is used for characterizing the ESD diodes on the output. Then the characterization tool uses the DEC algorithm to get power and ground clamp values. The pullup and pulldown simulations are used for calculating the impedance of pullup (PU) and pulldown (PD) segments respectively. The resistance is calculated on the termination voltage, which is $VDDQ/2$ for most cases. ISSO_PU and ISSO_PD simulations are used to calculate the noise coming from the power and ground rails. The Vt waveforms are used to see the transition speed, the VOH and VOL values. The rise/fall_gnd and rise/fall_sup differ from each other by the 50 Ohms termination resistance (for _sup simulation, the resistance is connected to the VDDQ and for _gnd simulation, it is connected to the ground). For these simulations, the input signal is ideal (1 ps transition time) as per IBIS standard. The testbenches for It and Vt simulations are the same except for the probe values. The impedance of the IBIS models can be calculated from the pullup(pulldown) and Vt simulations [2]. Three-state output buffer consists of pull up/down characteristics, ESD structure and package parameters (Fig. 1).

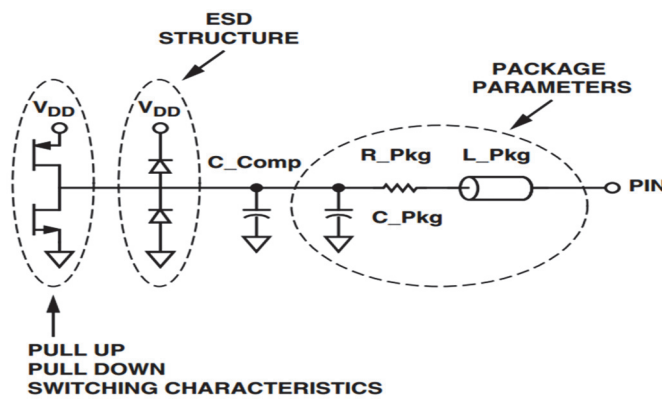


Fig. 1. Three-State Output Buffer

In case of the ISSO_PU simulation, the driver is in a high state, the voltage source of the VDD sweeps from $-VDDQ$ to $VDDQ$. In case of ISSO_PD simulation the driver is in a low state and the voltage source of the VDD sweeps

form $-VDDQ$ to $VDDQ$. In case of pullup/pulldown simulation the driver is in a high/low state, voltage source of the VDD and voltage source of the VSS have DC values and the Vtable_1 sweeps from $-VDDQ$ to $2*VDDQ$. The GND and power clamp data need to be subtracted from the pull-up and pull-down data. Otherwise, the simulator takes this into account twice. The ramp rate (dV/dt) describes the transition time when the output is switching from the current logic state to another logic state. It is measured at the 20% and 80% points with a default resistive load of 50 Ω . The falling and rising waveforms show the time it takes the device to go from a high to low and from a low to high when driving a resistive load connected to ground and VDD. For a standard push/pull CMOS, four different waveforms can be generated: two rising and two falling (Fig. 2). In each case, one is with the load connected to VDD and the other with the load connected to GND.

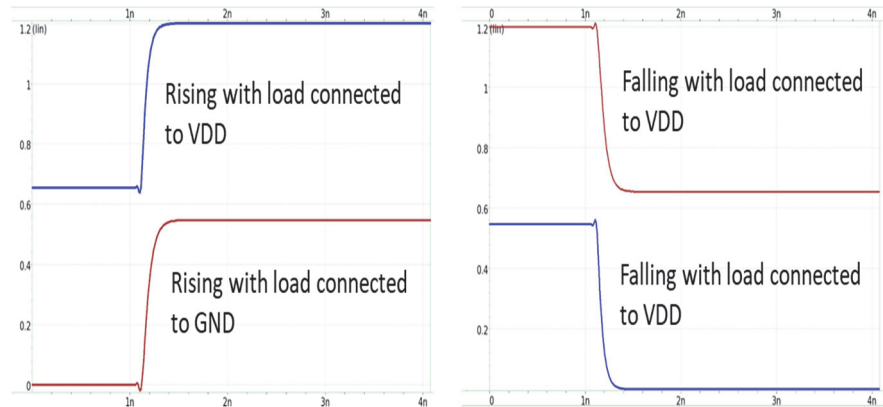


Fig. 2. V-T waveforms of IBIS model with both terminations

Currently used IBIS models and their restrictions. There are types of IBIS models that are currently being used. The first one is called clipped IBIS model which contains all I_v and I_f tables but contain only the edge part of the V_t and I_t tables [3]. The V_t and I_t tables have 1 ps step which gives better accuracy for edges. But for higher frequencies it is not good to use clipped model, as it may not include correct VOH and VOL as well as overshoot and undershoot [4]. This may cause to a bad correlation with SPICE simulations on high frequencies. That is why non_clipped IBIS models are used to exclude those mismatches. But with non_clipped models, the edge of V_t and I_t waveforms have 10 ps step due to table data point restriction. The restriction states that IBIS model table should not contain more than 999 data points, or the ibischk6 parser will find errors in the IBIS model, and the simulator that will be used for IBIS simulations will not parse the data correctly [5]. To show the comparison of correlations between 10 ps step IBIS vs SPICE and 1 ps IBIS vs SPICE simulations have been done (Fig. 3).

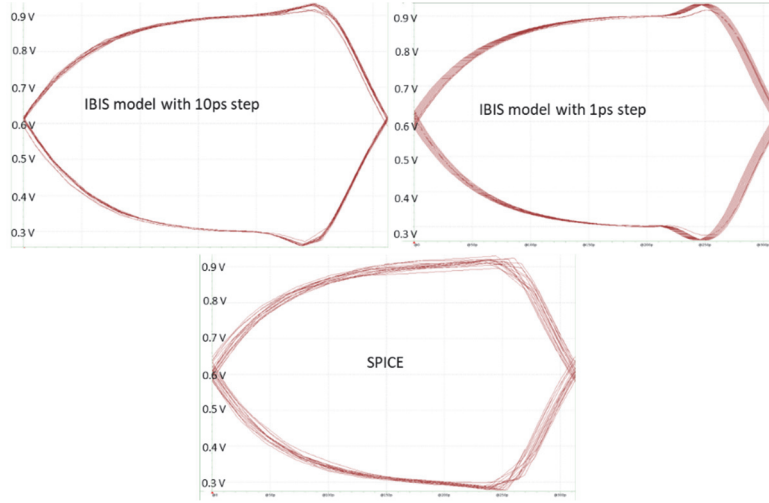


Fig. 3. Simulation results with 10ps, 1ps IBIS models and the SPICE

The proposed solution and simulation results. To exclude the restrictions that clipped and non_clipped models have, it is proposed to have an IBIS model with a variable step, where the edge of the V_t and I_t waveforms have 1 ps step size and the DC portions of the waveforms have variable steps. This way the edge will be most accurate, and there will be no losses as in clipped model. This approach will give an opportunity to have better correlation with SPICE. To achieve that, automation script has been developed which separates the edge part from the DC part and generates the IBIS tables with separate steps by considering that the combined data points should not exceed 999 data points. The start and end points of the edge are given by the user. The user should open the V_t and I_t raw SPICE data, check the start and end points of the edge and manually put those values in the automation script [6].

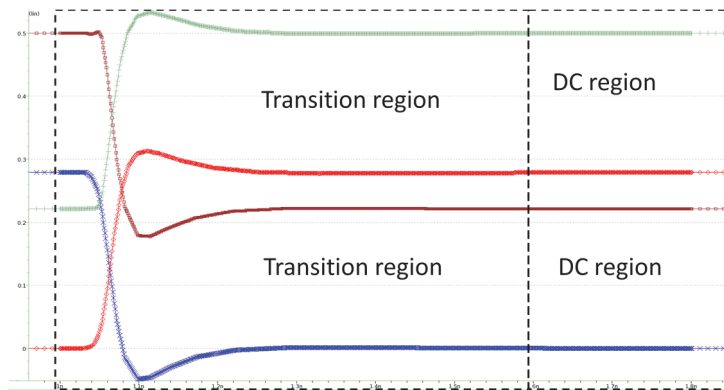


Fig. 4. Transition and DC regions of the V_t and I_t waveforms

Fig. 4 shows the transition and DC regions of the V_t and I_t waveforms. During the variable step IBIS model generation, the user should take into account the transition time start and end point of all PVT corners. As the IBIS model includes tables for 3 PVT corners the end point should be the value of the furthest end point between PVT corners. Generally, it is the value of the SS corner because the edge of the SS corner is the slowest [7]. This approach can also be used to exclude overclocking issues during high frequency simulations [8]. The Table below shows the results of 3 IBIS models (10 ps step, 1 ps step and variable step) and the SPICE simulations.

Table

Summary table

	Crosspoint (mV)	EYE height (mV)	EYE width (ps)
SPICE	128	283	313
1 ps IBIS model	133	283	312
10 ps IBIS model	135	283	311
Variable step IBIS model	129	283	313

Simulations results of the Table above are taken from the EYE diagram (Fig. 5).

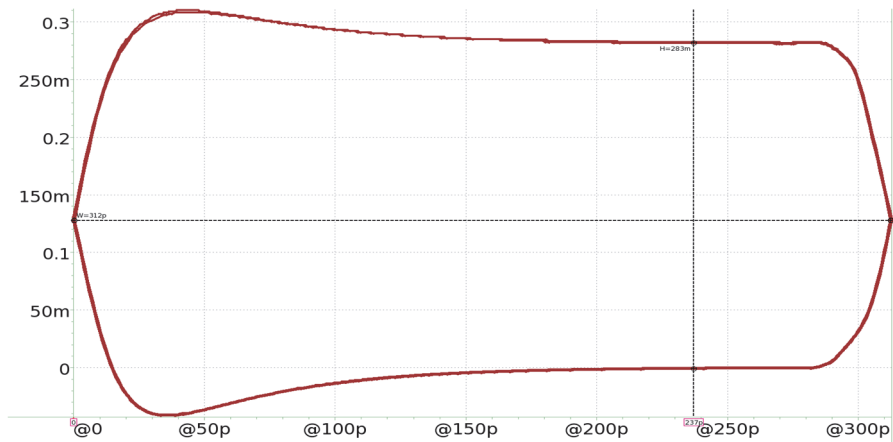


Fig. 5. EYE diagram

Conclusion. A new approach to increase the accuracy of the IBIS model has been proposed and designed using the Galaxy Custom Designer tool [9]. The two types of the IBIS models have been discussed and pointed out the limitations of those models. The new approach gives an opportunity to have an IBIS model that correlates with SPICE better than the other two models, exclude the overclocking issues for high frequency IBIS models. To exclude human error while generating the variable step IBIS model, automation script has been developed.

REFERENCES

1. **K C D., Elechithaya V., and Padmini T.N.** IBIS model generation and validation of CMOS Buffer // 2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN). - Vellore, India, 2019. - P. 1-4.
2. A Study on an IBIS-like Model to Ensure Signal/Power Integrity for I/O Drivers / **S. Saxena, M. Souilem, W. Dghais, et al** // 2021 8th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). - Noida, India, 2021. - P. 233-236.
3. **Sun Y., and Hwang C.** Improving Power Supply Induced Jitter Simulation Accuracy for IBIS Model // 2021 IEEE International Joint EMC/SI/PI and EMC Europe Symposium. - Raleigh, NC, USA, 2021. - P. 1127-1132.
4. **Vardanyan H.** Driver's Output Impedance Correction Approach Using CCCS // 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). - Prague, Czech Republic, 2022. - P. 1-4.
5. **Baker R.J.** CMOS Circuit Design, Layout and Simulation. - 3rd Edition. - John Wiley & Sons, 2010. – 1214p.
6. **Razavi B.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits. - 2nd edition. - Mc Graw Hill, India, 2017. - 782p.
7. Hspice Reference Manual, Synopsys Inc. - 2017. – 846p.
8. **Gao B., Wei K., and Tong L.** An eye diagram parameters measurement method based on K-means clustering algorithm // 2019 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS). - Boston, MA, USA, 2019. -P. 901-904.
9. Galaxy Custom Designer Schematic Editor User Guide. - Synopsys Inc, 2014. – 236p.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 10.10.2023.

**Ս.Ա. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ, Հ.Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Է.Տ. ՊԱՊՅԱՆ, Է.Ե. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ,
Ռ.Ն. ԽԱԶԱՏՐՅԱՆ**

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՔԱՅԼԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ ՄՈՒՏՔ/ԵԼՔ ԿՐԿՆԻՉԻ ՏԵՂԵԿԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ՄՈՂԵԼԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ

Ինտեգրալ սխեմաների արտադրության՝ բոլոր ժամանակներում արտադրանքը շուկա դուրս բերելու արագությունը եղել է բոլոր արտադրողների հիմնական խնդիրը: Ապրանքների ուշացման հիմնական պատճառը միշտ եղել է փորձարկում կատարող գործիքների արագագործության ունակությունը: Հիմնական սիմուլյատորը, որն օգտագործում է յուրաքանչյուր արտադրող, SPICE նմանական գործիքն է, որով փորձարկումը կարող է տևել մինչև ամիսներ ամբողջ հաղորդիչ/ընդունիչ հանգույցի մոդելավորման դեպքում: Սակայն 1990-ականներից սկսած, մուտք/ելք կրկնիչի տեղեկատվության (ՄԵԿՏ) մոդելների ներդրմամբ, թեստավորման ժամանակը կտրուկ նվազել է:

Առաջարկվում է փոփոխական քայլով ՄԵԿՏ մոդելներ ստեղծելու մեթոդ, որը կօգնի՝ բարձրացնելու ՄԵԿՏ մոդելի ճշգրտությունը ազդանշանի ամբողջականության մոդելավորման ժամանակ և ավելի լավ կկապակցի SPICE սիմուլացիաների հետ: Առաջարկվող մեթոդը կարող է կիրառվել բոլոր տեսակի հաղորդիչ հանգույցների և ՄԵԿՏ մոդելների դեպքում:

Առանցքային բառեր. հաղորդիչ, ազդանշանի ամբողջականություն, փոփոխական քայլ, ճշտություն, ՄԵԿՏ:

**С.А. ГУКАСЯН, А.В. ВАРДАНЯН, Э.Т. ПАПЯН, Э.Е. КАРАПЕТЯН,
Р.Н. ХАЧАТРЯН**

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ СПЕЦИФИКАЦИИ
ИНФОРМАЦИИ О БУФЕРЕ ВВОДА/ВЫВОДА С ПОМОЩЬЮ
ПЕРЕМЕННОГО ШАГА**

Во все времена производства микросхем скорость вывода продукта на рынок была главной проблемой для всех производителей. Основной причиной позднего выпуска продуктов всегда была скорость инструментов, выполняющих тестирование. Основным симулятором, который использует каждый производитель, является SPICE, но с его помощью моделирование всего макроса TXX может занять несколько месяцев. Начиная с 1990-х годов, с появлением моделей спецификации информации о буфере ввода/вывода (СИБВ), время тестирования резко сократилось.

Предлагается метод генерации моделей СИБВ с переменным шагом, который позволит повысить точность модели СИБВ во время моделирования целостности сигнала и будет лучше коррелировать с моделированием SPICE. Предложенный метод может быть реализован для всех типов драйверов и моделей СИБВ.

Ключевые слова: передатчик, целостность сигнала, переменный шаг, точность, СИБВ.

H.T. GRIGORYAN

**THE DATA TO CLOCK ALIGNMENT METHOD IN QUARTER-RATE
HIGH SPEED TRANSMITTERS**

Modern hyperscale data centers are increasingly using DSP-based transceivers to compensate for high channel loss. Transceivers operating at a speed equal to or greater than 56 Gbps, prove to be a viable alternative to analog transceivers in terms of power and area requirements, delivering better overall performance. The design process of such transceivers is very challenging. The most sensitive parts are the transmitter and receiver which are the main building blocks for such systems. In addition, clocking architecture and data-to-clock alignment is critical for achieving optimal performance. This article provides a data and clock alignment method for high-speed quarter-rate transmitters.

Keywords: SERDES, transmitter, current mode logic, clock, receiver, PAM4.

Introduction. In recent years, there has been a transition from 28 Gbps to 56 Gbps and 112 Gbps serial links, which enable switches and networking ASICs to increase throughput from 6.4 Tbps to 12.8 Tbps and 25.6 Tbps, respectively. To keep up with the exponential growth of data center servers, the throughput is forecasted to reach 51.2 Tbps in the next few years. Higher SERDES speeds mean fewer server ports, cables and beach-front congestion in the data center, which helps keep up with the throughput growth. However, the power efficiency of SERDES needs to be improved or at least remain the same. Advances in package, connectors, and PCB technology are also necessary, but they have not been able to keep up with the increase in bandwidth and speed. Consequently, the burden is placed on SERDES designers and circuits innovation. For example, at a 112 Gbps speed, every channel is a long reach channel, and a common WAN port switch channel has at least 20 dB loss, compared to a 14 dB loss at a speed of 56 Gbps. Most of the 112 Gbps channels have more than 35 dB channel loss.

The clocking architectures. The clock frequency and data serialization scheme are the most critical design decisions in the TX architecture. To achieve an output data rate of 112 Gb/s using PAM-4 modulation, one practical approach is to use either a half-rate architecture with a 28 GHz differential clock or a quarter-rate architecture with 14 GHz quadrature clocks [1]. The half-rate architecture eliminates the need for quadrature clock spacing error calibration, but it has a high power consumption in the clock distribution network due to the small fan-outs required to

guarantee optimal jitter performance. Additionally, meeting timing requirements across the process voltage temperature variations is challenging in the 1-UI-window data-serialization path. In contrast, the quarter-rate TX design mitigates clock generation and distribution challenges by using half the clock frequency. Using multi-phase clocks for the 4:1 data-serialization scheme, the serializer timing window is also relaxed to 3 UI. However, the quarter-rate architecture presents challenges in designing quadrature clock spacing error detection/correction circuits and a high-bandwidth 4:1 serializer.

Performing the 4:1 serialization [2] before the final driver stage, as shown in Fig.1a reduces the serializer power consumption, but increases the number of full-rate signal nets and leads to extra power consumption in the pre-driving stage [3].

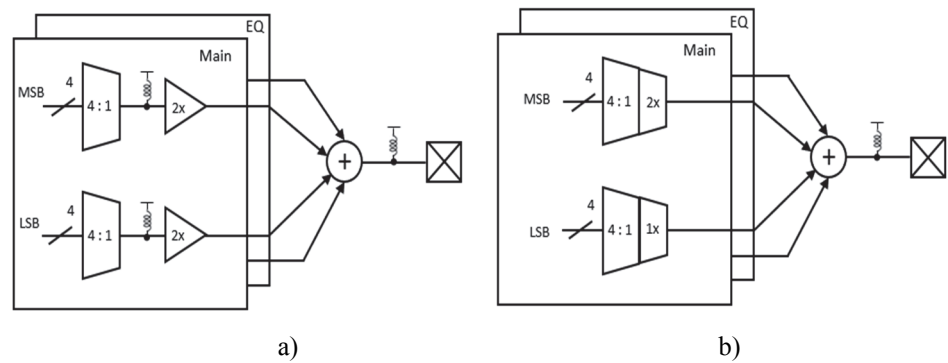


Fig. 1. A 4:1 Serialization

To extend the bandwidth at the internal nets, passive or active inductive compensation techniques can be used, but this comes at the penalty of increased area or additional power consumption. Combining the serializer with the output driver and performing data serialization directly at the pad significantly reduces overall area (Fig. 1b). However, this approach requires an inductor only at the pad to compensate for the large capacitance from the driver and ESD protection diodes. The main challenge with this architecture is seamlessly combining the 4:1 serializer with the driver to provide a sufficiently large output swing and bandwidth

The problem description. Maintaining sufficient bandwidth to support the full-rate output is crucial for the final 4-to-1 serializer, which is one of the most essential components in a quarter-rate transmitter. Let's consider current mode driver with 4:1 mux shown in Fig. 2.

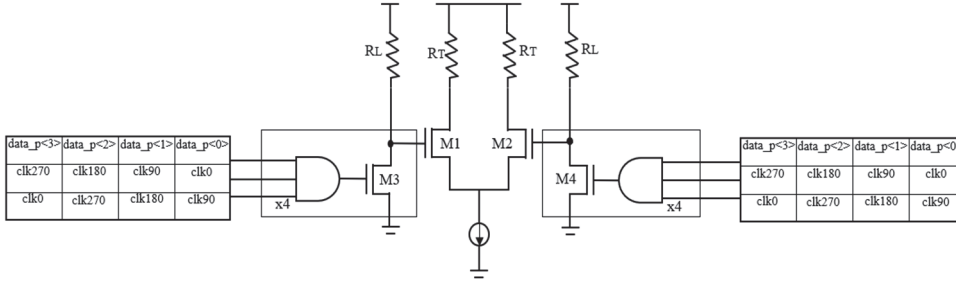


Fig. 2. The current mode driver with 4x1 multiplexor

The data serialization process is as follows. With quarter rate different phases the corresponding data signals are selected. With clk0 and clk90, data0 is sampled. With clk90 and clk180 data1 is sampled respectively. It is crucial to have correct data-to-clock alignment in order to have setup hold margins for data selection and omit data errors.

In Fig. 3, we can see that because of PVT variation there is a data-to-clock alignment issue for one of the 3 input NANDs which is part of 4:1 mux. As the data selection takes place when the corresponding phases of the clock are both logically high, the most desirable data-clock alignment will be to have the clock overlap section in the middle of the data.

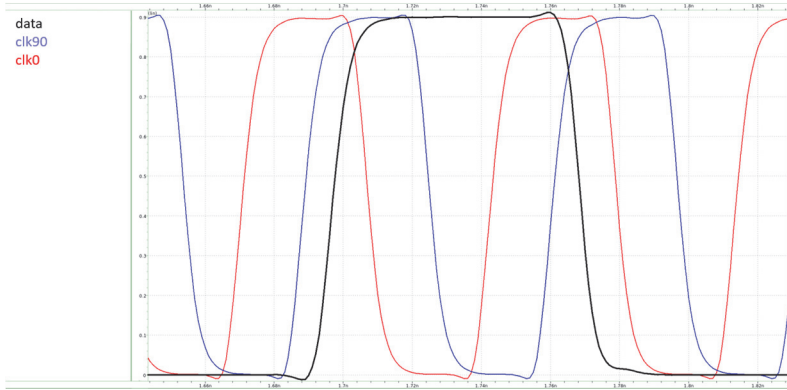


Fig. 3. The Data-to-clock relation

The proposed method. The proposed method performs calibration before starting the actual data transmission. The output of serializer has dedicated data outputs which will go to calibration unit. data_cal<0> and data_cal<2> are shifted from each other by 90 degrees. The purpose of this algorithm to have clk90 and data_cal<0> aligned so that from both sides of data signal there is a 1UI margin. Calibration starts with a defined calibration code. Then it sweeps downwards. By the code sweep phase the mixer changes the phase of the serializer clock (Fig. 4).

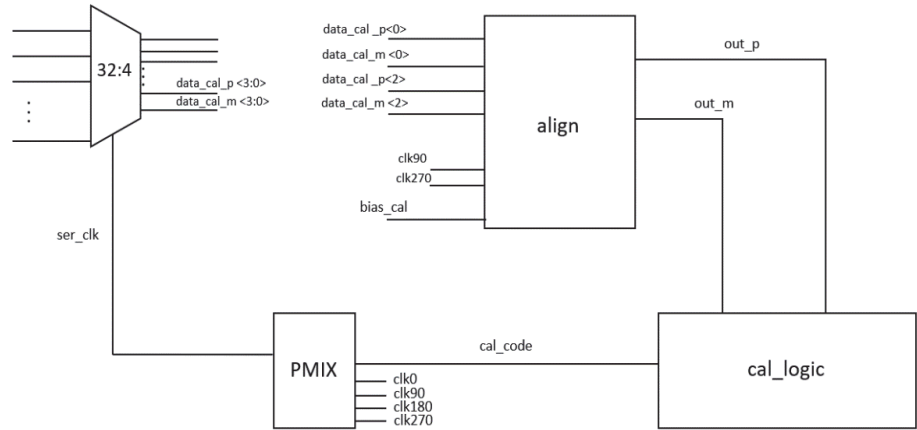


Fig. 4. A block diagram for data-to-clock alignment

This results in a shift in the output serialized data. By decreasing the code, the data is shifted left. out_p and out_m voltages are generated using the cell in Fig. 6 which is inside the align block. The cells steer the current unit into the left and right branches. When both signals are logic, high current will flow through the unit and out_p/m will start to decrease. So, based on the time when the clock and the data signals overlap, voltage will be generated. The calibration process ends after out_p and out_m signals are equal. This indicates that clk90 is in the middle of the data_cal_p<0> signal. Fig. 5 shows how the calibrated clock and data signals should look like.

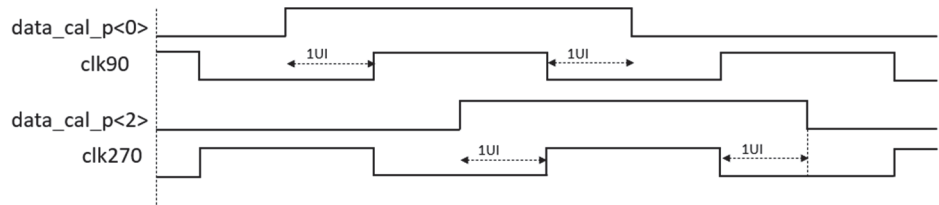


Fig. 5. The calibrated data-to-clock relation

The align cell is shown in Fig. 6. Eight identical units are used and input signals are chosen in a way to have each unit operating during 1 clock period. Each unit has 3 serially connected nmos devices. Let's consider one scenario for the left most unit. It has as an input clk270, data<0> and data<2>. The last 2 already have 90 degree phase shift from each other. All 3 transistors will be open when 3 of these signals overlap and are logic high. This will steer the current to left most branch and out_p voltage will decrease. Similarly other units will start to conduct each one after 1 UI.

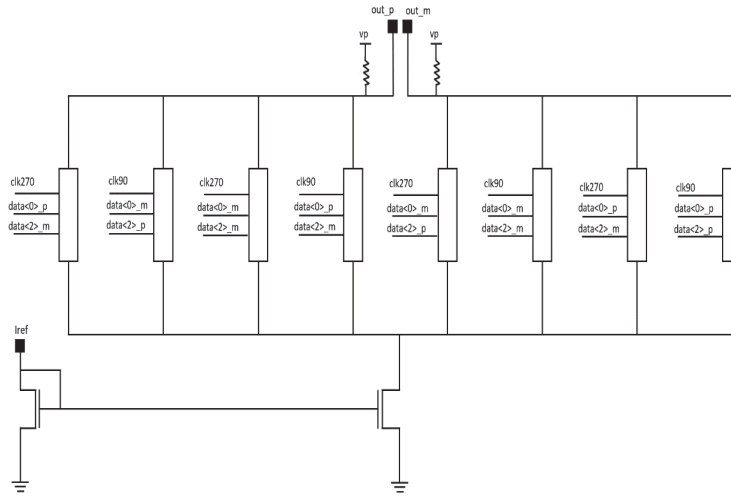


Fig. 6. The schematic view of the align cell

The left 4 units are responsible for out_p voltage generation and the right 4 is out_m voltage generation. If the clock is left from the center, this translates to lower out_p voltage as visible from the start process of calibration (Fig. 7). Afterwards the calibration logic increases the code which results in the data shift into the right. This reduces the overlap of data and clock between the right 4 units and increases the left 4 units. This results in an increase in filtered out_p voltage and a decrease of out_m voltage because in 1 period the right branch is open more than the left branch. Fig. 7 shows that for code 89, voltages are equal. At the end several times code is increased and decreased to make sure that 89 is the most optimal code.

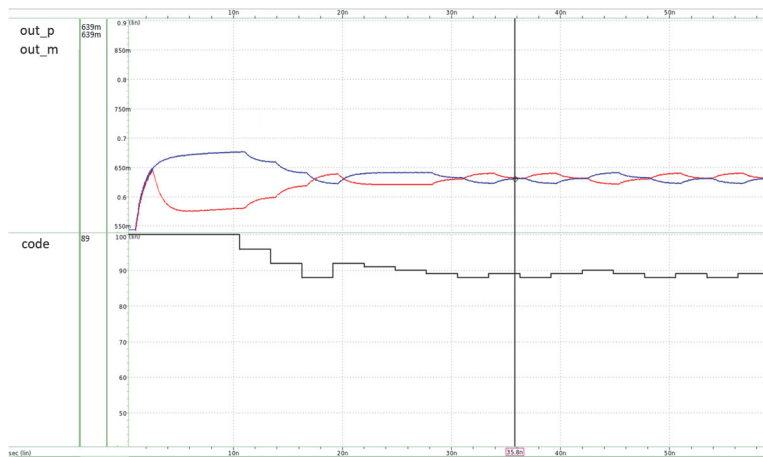


Fig. 7. The calibration process

Simulation Results. After this the calibration process data transmission is started with the obtained code. Eye diagrams before and after calibration are shown in Fig. 8. Both vertical and horizontal openings are increased. The vertical opening is increased from 401 *mv* to 865 *mv* and the horizontal one is improved from 10.8 *ps* to 16.6 *ps*. Simulation is done with Hspice [4] simulator using various PVT variations. Eye diagrams shown in Fig. 8 are for typical process. The temperature for this corner is 25°C. Also, the supply noise is included in simulation to calculate the jitter impact because of supply variation.

Besides the code value, setup time between clk90 and data<0> is calculated. For a typical a case, after calibration, it is 18 *ps*. Considering that ideal UI value is 17.6 *ps* the obtained results are acceptable for proper operation in 112 *Gbps*. In case of SS corner with 125°C the calibrated setup time is 18.8 *ps* and for FF this 16.6 *ps* respectively. Most parts that are used for the calibration process are already available in modern transceivers [5, 6]. The only added blocks are the align unit and the cal logic. The calibration process is performed before data transmission and consumes 0.62 *mA*. The verall calibration process takes 60*ns* to complete.

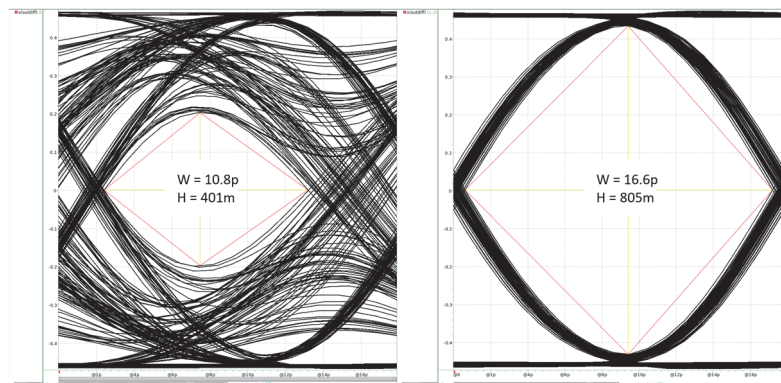


Fig. 8. Eye diagrams for transmitter NRZ mode

Conclusion. The proposed method performs data-clock alignment by which eye vertical and horizontal openings are improved. It can be used in high speed SERDES transceivers. For simulations, SAED 14 *nm* FinFet [7] technology is used.

REFERENCES

1. A 112Gb/S 2.6pJ/b 8-Tap FFE PAM-4 SST TX in 14nm CMOS / **C. Menolfi, et al** // 2018 IEEE International Solid - State Circuits Conference (ISSCC).- San Francisco, CA, USA, 2018.- P. 104-106.
2. A 40-to-64 Gb/s NRZ Transmitter With Supply-Regulated Front-End in 16 nm FinFET / **Y. Frans, et al** // IEEE Journal of Solid-State Circuits.- Dec. 2016.-Vol. 51, no. 12.- P. 3167-3177.-. doi: 10.1109/JSSC.2016.2587689.

3. A 112 Gb/s PAM-4 56 Gb/s NRZ Reconfigurable Transmitter With Three-Tap FFE in 10-nm FinFET / **J. Kim, et al** // IEEE Journal of Solid-State Circuits.- Jan.2019.-Vol. 54, no. 1.- P. 29-42, doi: 10.1109/JSSC.2018.2874040.
4. Hspice Reference Manual, Synopsys Inc.- 2017. -846p.
5. **Roshan-Zamir A., Elhadidy O., Yang H. -W., and Palermo S.** A Reconfigurable 16/32 Gb/s Dual-Mode NRZ/PAM4 SerDes in 65-nm CMOS // IEEE Journal of Solid-State Circuits. - Sept. 2017. - Vol. 52, no. 9.- P. 2430-2447, doi: 10.1109/JSSC.2017-.2705070.
6. 3.5 A 16-to-40Gb/s quarter-rate NRZ/PAM4 dual-mode transmitter in 14nm CMOS / **J. Kim, et al** // 2015 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), Digest of Technical Papers. - San Francisco, CA, USA, 2015.- P. 1-3, doi: 10.1109/ISSCC.2015.7062925.
7. **Melikyan V., Martirosyan M., Piliposyan G.** 14nm Educational Design Kit // Capabilities, Deployment and Future, Small Systems Simulation Symposium. - 2018. - P. 42-55.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 29.08.2023.

Հ.Տ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԱՐԱԳԱԳՈՐԾ ՔԱՌԱՓՈՒԼ ՏԱԿՏԱՎՈՐՄԱՄԲ ՀԱՂՈՐԴԻԶ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ ՏՎՅԱԼԻ ԵՎ ՏԱԿՏԱՅԻՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՀԱՄԱՁԱՅՆԵՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԸ

Ժամանակակից հիպերմասշտաբային տվյալների կենտրոններն օգտագործում են ազդանշանի թվային մշակման վրա հիմնված հաղորդիչ-ընդունիչ հանգույցներ՝ կանալի մեծ կորուստները փոխհատուցելու համար: Ավելի քան 56 *Գբ/թվ* արագությամբ աշխատող այս հանգույցները կենսունակ այլընտրանք են անալոգային տարբերակներին էներգիայի և զբաղեցրած մակերեսի պահանջների առումով, ինչպես նաև ապահովում են ավելի լավ ընդհանուր արտադրողականություն: Այսպիսի համակարգերի նախագծման գործընթացը շատ բարդ է: Առավել զգայուն մասերը տանող հանգույցն ու ընդունիչն են, որոնք նման համակարգերի հիմնական կառուցվածքային մասերն են: Ի հավելում այդ ամենի՝ տակտային ազդանշանի ճարտարապետությունը և դրա համաձայնեցումը տվյալի հետ շատ կարևոր նշանակություն ունի օպտիմալ արտադրողականություն ապահովելու համար: Ներկայացվում է տվյալների և տակտային ազդանշանի համաձայնեցման մեթոդը գերաբազ քառափուլ տակտավորմամբ հաղորդիչ հանգույցների համար:

Առանցքային բառեր. SERDES, հաղորդիչ հանգույց, հոսանքի ռեժիմով տրամաբանություն, տակտային ազդանշան, ընդունիչ հանգույց, ազդանշանի քառամակարդակ մոդուլացիա:

А.Т. ГРИГОРЯН

**МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ ДАННЫХ С ТАКТОВЫМ СИГНАЛОМ В
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧЕТВЕРТЬЧАСТОТНЫХ ПЕРЕДАТЧИКАХ**

Современные гипермасштабные центры обработки данных все чаще используют приемопередатчики на основе цифровой обработки сигнала для компенсации больших потерь в канале. Эти трансиверы, работающие на скоростях 56 и 112 Гбит/с, представляют собой жизнеспособную альтернативу аналоговым трансиверам с точки зрения требований к мощности и занимаемой площади, а также обеспечивают лучшую общую производительность. Процесс проектирования таких приемопередатчиков очень сложен. К наиболее чувствительным частям относятся драйвер и приемник, которые являются основными строительными блоками таких систем. В дополнение к этому архитектура тактирования и в целом согласование данных с тактовой частотой имеют решающее значение для достижения оптимальной производительности. В статье представлен метод выравнивания данных и тактового сигнала для высокоскоростных четвертьчастотных передатчиков.

Ключевые слова: SERDES, передатчик, логика тока, тактовый сигнал, приемник, PAM4.

V.S. GEVORGYAN

POWER SNIFFER PERFORMANCE DEGRADATION AND WAYS TO SUPPRESS THE DEVIATION OF THE WORKING PARAMETERS DUE TO RANDOM TECHNOLOGICAL VARIATIONS

One of the most important challenges of modern ICs is power dissipation, particularly the static power dissipation. To be able to reduce static power consumption of an IC, it is separated into different power domains so that the supply power can be turned off for certain domain when not in use. Separate power domains lead to several peculiarities, one of them is the powering up and down the power supply. To represent the supply voltage state by another domain supply, circuits like power sniffers are used. With the evolution of the technologies, the role of random technological variations in the circuits becomes substantial. The paper presents ways to reduce the performance degradation caused by random variations in the $16nm$ technological process node. HSpice tool is used for circuit simulations. Target sigma representing random variations is 5. For every PVT 300 iterations with random variations are run. The results are presented by QQ plots and measurement table. By applying the proposed modifications performance degradation is reduced by around 40% (average for all measured parameters). By implementing the proposed circuit changes the area of the circuit is increasing by around 35%, no power consumption increase is observed.

Keywords: power sniffer, static power, power domain, random technological variations.

Introduction. Power dissipation is one of the most crucial aspects of the modern integrated circuits (ICs). Power dissipation affects the self-heating of the circuits which is one of the most undesirable effects of reliability verification [1,2]. The evolution of the technological process and decrease in transistor channel lengths result in the increase of the portion of static component of the power dissipation in overall power consumption. And if for former technologies, the static power was neglectable compared with dynamic power, in modern ICs, static power consumption can reach up to the dynamic component. In the case when the dynamic power consumption is directly affecting the IC performance and operation frequencies, and in most cases its reduction can cause performance degradation, the static power reduction does not affect the above mentioned aspects. Thus, to reduce the power consumption of the modern ICs, lowering the static power consumption can be a reasonable solution.

Static power consumption is mainly produced from the leakage currents of the transistors. One of the reasons for finFET technology creation is the ability to improve controllability of the transistors (thus to have less leakage current in the cut-off region). Although it was a good solution, in deep sub-micron technologies the issue is again actual. So, the way to cut down the static power consumption is to power down the certain parts of ICs which are not in use at certain time slots. For that reason, there are different power domains in ICs to be able to turn off their power supply. Therefore, there should be some kind of circuits which should ensure safe power-up and power-down of different domains. It is natural that the state of one supply should be represented by another supply. For that reason, the circuit called power sniffer is used to notify to other circuits about the state of a certain domain power. Also, power sniffers should ensure noise immunity as its output should not switch in case of noise on the observed supply. In other words, the switching thresholds for power-up and power-down should be different (the circuit should have hysteresis).

Considering the effects of technological imperfections during the design process is one of the critical aspects. The basic approach is to test the circuit for different transistor types, voltages and temperature ranges. But more sensitive/critical circuits should be checked for more pessimistic cases. For that reason, simulations can be run taking into account random technological variations [3,4]. In other words, when simulating the circuit for certain process, voltage and temperature (PVT), the simulator can run multiple simulations each time varying the parameters of the circuit elements in random order, in a given deviation range. So, when checking the circuit with regular simulations, it may meet the specifications, but with simulations with random variations it may fail the specifications, up to having functional fails. That is the reason that simulations with random variations must be run for sensitive circuits.

Section 1 discusses the power sniffer circuit and its operation. Section 2 represents the simulation results with the initial circuit. Section 3 proposes ways to improve performance and shows the simulation results with implemented changes. The summary of the paper is in Section 4.

1. Power sniffer circuit and operation. The power sniffer circuit is presented (Fig. 1). As discussed in the previous section, it should indicate the presence of one power supply with another one. In the circuit presented in this paper, the active power supply (the main supply of the circuit) has high voltage level, and the observed signal has low voltage level (which is given to the input of the circuit). To avoid overvoltage issues the circuit is constructed using thick oxide or high voltage threshold (HVT) transistors. The main idea of the circuit is to change the switching

threshold of the circuit depending on the direction of switching of the input. By that the circuit eliminates the cases when the output will switch because of noises on the input signal. In other words, to be able to accurately indicate the ramp-up and ramp-down of the observed power supply. Shifting the switching threshold voltage is done by changing the pull-up and pull-down driving forces of the first stage of the circuit. It is implemented by MNFB and MPFB transistors which are shorting the middle net of the pull-up/down parts to high voltage power/ground. As the input of the circuit is low-voltage and cannot fully open the MNIN1 and MNIN2 transistors, to be able to calibrate the pull-up strength (compared with pull-down), resistors are used for the pull-up part. In other words, sizes of MNIN1 and MNIN2 transistors are set in a way to be able to set the logic low level signal on net out0 (lower than switching point of the inverter MN0/MP0). The inverted logic level of out0 is given to MNFB and MPFB transistors by a feedback inverter. The circuit is also performing level shifting (the input is low and the output is high voltage level). The circuit is calibrated with a $25fF$ output load.

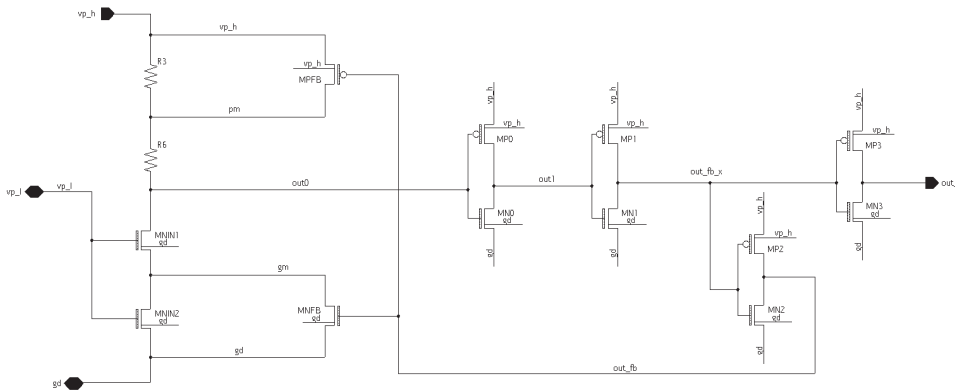


Fig. 1. Power sniffer circuit

Table 1

Simulation conditions

Parameter	Value
Transistor types	TT, FF, SS
NMOS capacitance type	T, F, S
Resistor type	T, F, S
Supply voltage (V)	1.1 +/-10%
Temperature (C)	-40, 25, 125
Input voltage nominal value (V)	0.8

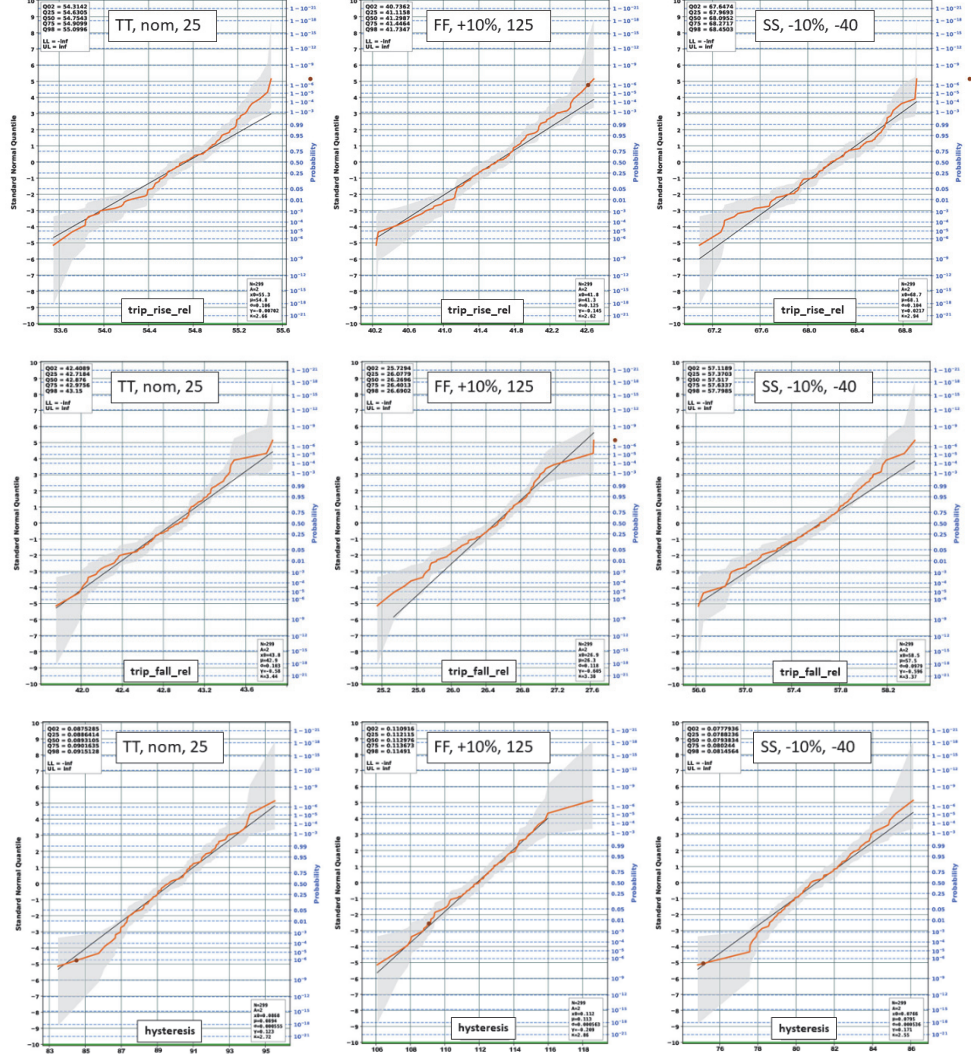


Fig. 2. QQ plots of the initial circuit

2. The simulation results of the initial circuit. The circuit is using 16 nm technological process HVT transistors. All simulations are done using HSpice tool [5]. Simulation conditions are presented in Table 1. Simulations performed for all combinations of PVT. To test the circuit, a triangle signal to the input is applied with a 1 millisecond rise and fall times (the typical time for power supply to turn on/off) which represents low voltage input power supply ramp-up and ramp-down. The following parameters will be observed for checking the functionality: the trip point of the input signal for output rising, the trip point of the input signal for

output falling, hysteresis of the circuit. The rising and falling trip points are calculated in percents regarding vp_1 input supply voltage (as the supply voltage differs between PVTs). The target sigma for variations is 5. As the circuit has less than 100 devices, for every PVT 300 iterations with random violations are run (in that case the majority of the parameter distribution values are obtained). Simulation results with QQ plots are presented (Fig. 2).

3. The improved circuit, simulation results. The power sniffer circuit with modifications is presented (Fig. 3). Capacitors with MNCFB and MPCFB transistors are added to the feedback line, in the pull-down part the regular NMOS transistors are replaced with stack transistors connected in parallel, in the pull-up part single resistors are replaced with multiple smaller nominal resistors connected in series. MNCFB and MPCFB transistors are correspondingly in deep well and separate N-well to be able to connect the bulks to source and drain terminals to create effective device capacitances. As the power/ground should switch from its regular place to the middle point of resistors/input NMOS transistors, there is a voltage settling issue. The transition should be quick and stable to avoid false switchings due to power noise.

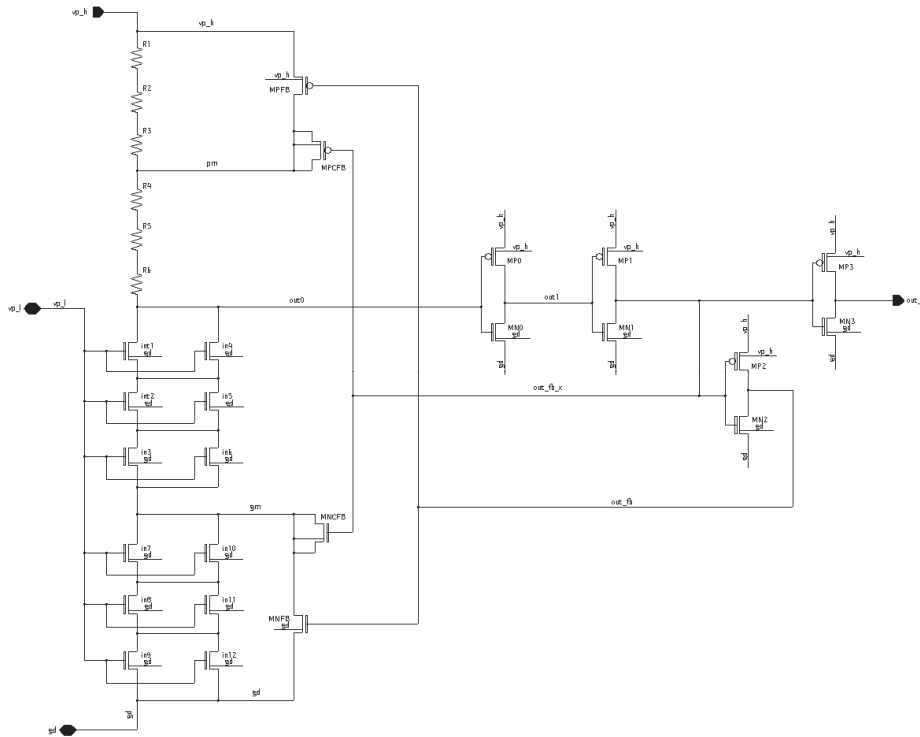


Fig. 3. A modified power sniffer circuit

Observe the pull-up part for example. When the input power is on (has nominal voltage value), the circuit power is in its regular place. That means that the gate of MPFB is logic 1 so the gate of MPCFB is logic 0 and pm net voltage is around half of the power. When the output of the circuit switches (due to input switching), prior to opening of MPFB transistor (due to MP2, MN2 inverter delay) the MPCFB capacitance pulls the pm net higher as the gate of MPCFB is switching from 0 to 1, which leads to a quicker settlement of power on pm net. By that we prevent the circuit from bouncing around switching points.

The same process is happening in the pull-down part. On the other hand, by stacking the NMOS transistors the effect of long channel length is achieved which helps to reduce the negative effects from the process variation (particularly channel length modulation). Also, when stacked, to achieve same current carrying capability, parallel legs of transistors are added. By that, the variations are kind of spread between a bigger number of transistors. In that case, the probability that the random variations would be in the same direction for more transistors is less, which leads to better simulation results. For the same reason, simulation results are better for series connection of more resistors with smaller nominals.

Simulation results' QQ plots for modified circuit and comparison table are presented (Fig. 4, Table 2).

From the QQ plots, it can be observed that the data of the updated circuit is closer to normal distribution compared with the initial circuit simulation results. The worst-case results of all PVT corners' simulations are presented in table 2. The average value, minimum and maximum values of median +/- target sigma are shown for rising and falling tripping points and hysteresis. Also, the deviation of the results is presented for initial and updated circuits. The hysteresis is calculated by subtraction of rising and falling tripping points, expressed by absolute values, so the hysteresis unit is millivolt.

The rising and falling tripping points are expressed relative to power supply in percents as the supply voltages for different simulation corners are different. From the simulation results it can be seen that the parameter degradations of the updated circuit are around 40% less compared with the initial design.

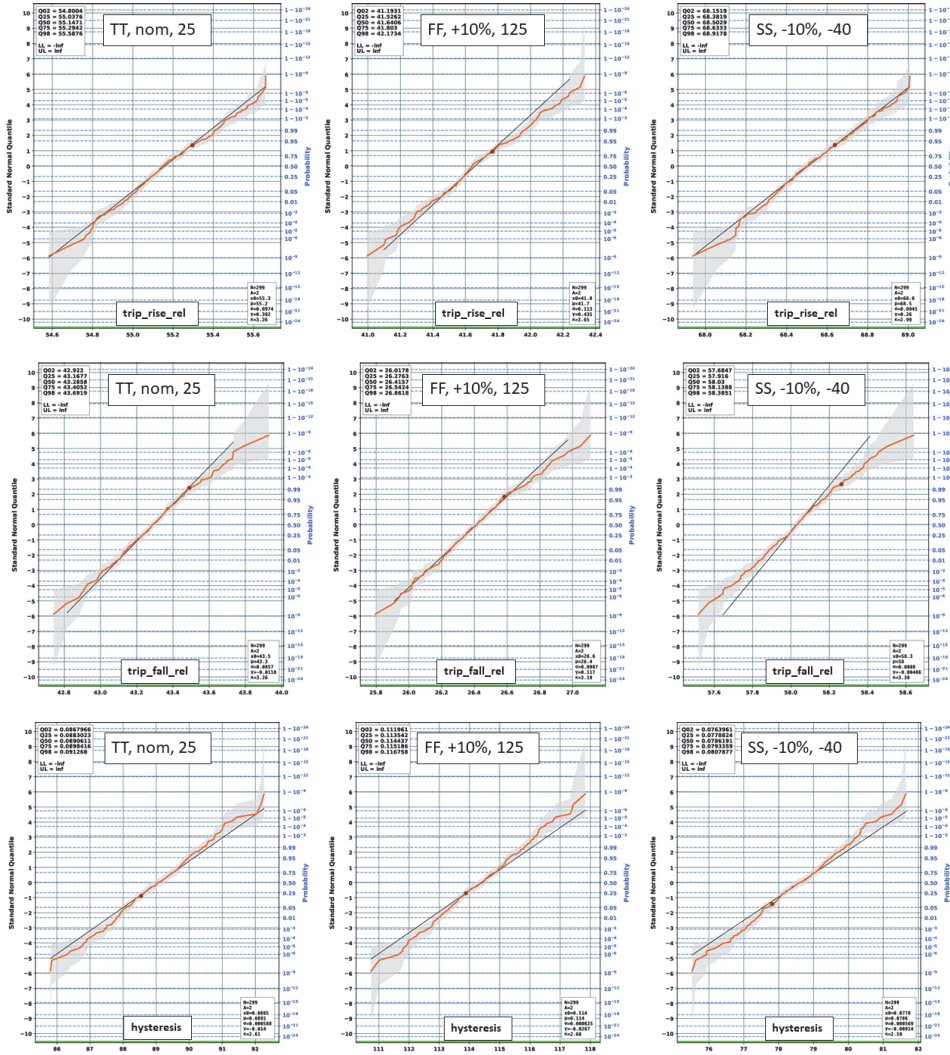


Fig. 4. The QQ plots of the modified circuit

The drawback of the proposed modifications is that by adding the capacitances, placing them in separate wells, increasing number of NMOS transistors and pull-up resistors, the area of the circuit is increasing by around 35%. Power consumption of the circuit is not a critical parameter as this circuit consumes power only when the input supply voltage is turned on or off (whose frequency is not comparable with clocking signal frequencies). But overall, after the changes, the circuit power is practically the same as the current in serial connected pull-up and pull-down part is kept the same and the energy of the added capacitance is kept within the circuit.

Table 2

Simulation results

Parameter		Initial design			Modified design			Deviation (initial/ modified)
		Median+/- target sigma (min)	Mean	Median+/- target sigma (max)	Median+/- target sigma (min)	Mean	Median+/- target sigma (max)	
Hysteresis (mV)	TT	85.4	89.8	94.9	85.8	89.1	92.2	9.5/6.4
	FF	107.6	112.9	117.7	110.8	114.3	117.6	10.1/6.8
	SS	75.8	79.5	84.6	75.5	78.6	81.5	8.8/6.0
Rise trip point relative to supply voltage (%)	TT	53.7	54.7	55.6	54.6	55.1	55.6	1.9/1
	FF	40.3	41.3	42.7	41.0	41.6	42.3	2.4/1.3
	SS	67.2	68.1	69.0	68.0	68.5	69.0	1.8/1
Fall trip point relative to supply voltage (%)	TT	41.9	42.8	43.9	42.7	43.2	43.8	2.0/1.1
	FF	25.2	26.2	27.4	25.8	26.4	27.0	2.2/1.2
	SS	56.6	57.5	58.3	57.6	58.0	58.5	1.7/0.9

Conclusion. Circuit modifications are presented to reduce the performance degradation in power sniffer circuit caused by random variations. In the paper 16nm technological process is used. For simulations HSpice tool is used. Target sigma for variations is 5. For a single PVT 300 iterations of simulations are run. By applying the proposed modifications the performance degradation is reduced by around 40%, which is average for all the measured parameters. Also, the data of the updated circuit is closer to normal distribution compared with the initial circuit. The implementation of the suggested changes in the circuit increases the area of the circuit by around 35%, no power consumption increase is observed.

REFERENCES

1. **Zhang Y., Hu X., Feng X., Hu Y., Tang X.** An Analysis of Power Dissipation Analysis and Power Dissipation optimization Methods in Digital Chip Layout Design // 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT).- 2019.- P.1468-1471.
2. **Munirathnam G., Babu Y.M.M.** Analysis of Static Power Reduction Strategies in Deep Submicron CMOS Device Technology for Digital Circuits // 2021 6th International Conference on Signal Processing Computing and Control (ISPCC).-2021. - P. 278-282.
3. **Harish B.P., Bhat N., Patil M.B.** Process variation-aware estimation of static leakage power in nano CMOS // Proceedings of 12th IEEE International Conference on Simulation of Semiconductor Devices and Processes.-2007. - P. 393-396.
4. **D'Agostino C., Flatresse P., Beigne E., Belleville M.** Statistical Leakage Modeling in CMOS Logic Gates Considering Process Variations // Proc. Int. Conf on Integrated Circuit Design & Technol.-2008. - P. 301-304.

5. Hspice Application Manual, Synopsys Inc. - 2010. - 196p.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 20.11.2023.

Վ.Ս. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՊՍՏԱՀԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՇԵՂՈՒՄՆԵՐԻ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ՄՆՄԱՆ ՎԻՃԱԿԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՎԱՏԹԱՐԱՑՈՒՄԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՑՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԸ

Արդի ինտեգրալ սխեմաների նախագծման մարտահրավերներից է էներգասպառումը, մասնավորապես՝ ստատիկ էներգասպառումը: Ստատիկ էներգասպառումը նվազեցնելու նպատակով ինտեգրալ սխեման բաժանվում է սնուցման տարբեր կղզյակների, որպեսզի դրանց սնման լարումները հնարավոր լինի անջատել, երբ դրանք չեն օգտագործվում: Կղզյակների բաժանումը հանգեցնում է մի շարք առանձնահատկությունների, որոնցից են սնման լարման միացումն ու անջատումը: Մի կղզյակի սնման լարման վիճակը մեկ այլ կղզյակի լարումով արտահայտելու համար օգտագործվում են սնման վիճակի որոշման շղթաներ: Տեխնոլոգիական գործընթացի զարգացմանը զուգընթաց տեխնոլոգիական պատահական շեղումների դերը մեծանում է: Հոդվածում նկարագրված են 16-ում տեխնոլոգիական գործընթացում պատահական շեղումներից առաջացած շղթայի աշխատանքային պարամետրերի շեղումները փոքրացնելու ուղիներ: Շղթաների նմանարկման համար օգտագործվել է HSpice ծրագրային միջոցը: Պատահական շեղումների թիրախային չափը 5 սիգմա է: Ամեն ԳԼՋ-ի համար կատարվել է 300 շեղումներով նմանարկում: Արդյունքները ներկայացված են ՉՉ գրաֆիկներով և տվյալների աղյուսակով: Առաջարկվող փոփոխությունները կատարելուց հետո աշխատանքային պարամետրերի վատթարացումը նվազել է մոտավորապես 40%-ով (միջինացված բոլոր հաշվարկվող պարամետրերի համար): Արդյունքում շղթայի մակերեսը մեծանում է մոտավորապես 35%-ով, էներգասպառման աճ չի դիտարկվում:

Առանցքային բառեր. սնման վիճակի որոշման շղթա, ստատիկ էներգասպառում, սնուցման կղզյակ, պատահական տեխնոլոգիական շեղում:

В.С. ГЕВОРГЯН

**УХУДШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АНАЛИЗАТОРА ПИТАНИЯ
ИЗ-ЗА СЛУЧАЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ И
СПОСОБЫ ПОДАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЕГО РАБОЧИХ
ПАРАМЕТРОВ**

Одним из наиболее важных вызовов современных интегральных схем является рассеивание мощности, особенно статическое рассеивание. Для снижения статического энергопотребления микросхемы она разделена на разные домены напряжений, чтобы можно было отключить питание для определенного домена, когда он не используется. Отдельные домены питания имеют некоторые особенности, одна из которых — включение и выключение источника питания. Чтобы представить состояние напряжения питания с помощью источника питания другого домена, используются такие схемы, как анализаторы питания. С развитием технологий роль случайных технологических отклонений в схемах становится существенной. В статье представлены способы снижения отклонений, вызванных случайными изменениями в 16nm технологическом процессе. Инструмент HSpice используется для моделирования схем. Целевая сигма, представляющая случайные вариации, равна 5. Для каждого процесса, напряжения и температуры выполняется 300 итераций со случайными вариациями. Результаты представлены в виде графиков QQ и таблицы. При применении предложенных модификаций деградация производительности снижается примерно на 40% (в среднем по всем измеряемым параметрам). При реализации предложенных схемных изменений площадь схемы увеличивается примерно на 35%, роста энергопотребления не наблюдается.

Ключевые слова: анализатор питания, статическое энергопотребление, домен напряжения, случайные технологические отклонения.

M.T. GRIGORYAN**INVESTIGATING THE PERFORMANCE INDICES OF YOLO MODELS
IMPLEMENTED ON A DPU: A COMPARATIVE ANALYSIS**

A comprehensive analysis of the performance indices achieved by implementing various “You Only Look Once” dataset (YOLO) models on a dedicated Deep Learning Processing Unit (DPU). YOLO models are renowned for their real-time object detection capabilities, making them a good choice for a range of applications including autonomous vehicles, surveillance systems, and robotics. In this study, the YOLO models are deployed onto a specialized hardware accelerator, specifically a DPU, to assess their inference speed, accuracy, and power efficiency. By conducting an in-depth comparative evaluation of multiple YOLO variants, including YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOv6 insights into how each model interacts with the DPU architecture are revealed. The experiments involve benchmarking these models across diverse datasets and varying hardware configurations. The results not only highlight the advantages and limitations of employing DPUs for YOLO-based applications but also help in choosing the most suitable model-DPU combination based on specific performance requirements. This study contributes to the optimization of real-time object detection systems and assists practitioners in making informed decisions regarding the model and hardware selection.

Keywords: FPGA, DPU, object detectio, YOLO.

Introduction. In recent years, deep learning models have made remarkable advancements in computer vision tasks, particularly in real-time object detection. The YOLO architecture's ability to simultaneously predict object classes and bounding box coordinates in a single pass allows implementation of applications such as autonomous driving, surveillance, and interactive robotics.

As the demand for real-time processing in various domains continues to grow, the importance of optimizing the performance of YOLO models becomes paramount. Hardware acceleration has emerged to meet these demands, with DPUs offering dedicated resources for efficient neural network inference. DPUs are designed to accelerate the execution of deep learning workloads, reducing latency, and increasing throughput, making them an attractive option for deploying YOLO models in resource-constrained environments.

By conducting thorough experiments involving these models and varying DPU configurations, the work shows how the synergy between YOLO architectures

such as YOLOv3 [1], YOLOv4 [2], YOLOv5 [3], YOLOv6 [4] and DPU influences overall system performance. As the fields of computer vision and deep learning converge, this study contributes to the ongoing efforts in optimizing real-time object detection systems, ultimately pushing the boundaries of what is achievable in terms of speed, accuracy, and efficiency.

Background. Real-time object detection requires low-latency processing to keep up with the high frame rates of video streams or live camera feeds. Achieving real-time performance is challenging due to the need for fast and accurate object localization and classification, often within tight time constraints. Efficient hardware architectures and algorithm optimizations are crucial to meet the demands of real-time applications.

Several research articles have explored these challenges and proposed solutions to enhance the object detection performance. For instance, “Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks” by Ren, et al [5] introduces the Faster R-CNN architecture that combines region proposal networks and CNNs for accurate and efficient object detection. “SSD: Single Shot MultiBox Detector” by Liu, et al [6] presents a single-shot detection method that achieves real-time performance by using multi-scale feature maps. “YOLO: Real-Time Object Detection” by Redmon, et al [7] introduces the YOLO framework, which achieves real-time object detection by dividing the image into a grid and predicting the bounding boxes and the class probabilities directly.

In the following sections, we will discuss the proposed design and FPGA implementation, aimed at addressing these challenges and provide an efficient hardware acceleration solution for object detection.

Approach. Dataset training and evaluation is first done on the GPU device. Then the float model is preprocessed and quantized by Xilinx Vitis AI tool. Quantization is a technique used to reduce the memory footprint and computational requirements of CNNs by presenting and performing computations with lower precision data types. In a standard CNN, weights and activations are typically presented as 32-bit floating-point numbers (FP32), which consume significant memory and require higher computational resources. Quantization aims to replace these higher precision representations with lower precision data types, such as fixed-point or integer values, which have fewer bits.

To capture activation statistics and improve the accuracy of quantized models, the Vitis AI quantizer needs to run several iterations of inference to calibrate the activations. A calibration image dataset input is therefore required. Generally, the quantizer works well with 100–1000 calibration images. This is because there is no need for back propagation, the un-labeled dataset is sufficient.

After calibration, the quantized model is transformed into a DPU deployable model which follows the data format of a DPU. This model can then be compiled by the Vitis AI compiler and deployed to the DPU.

The overall flow is illustrated in Fig.1.

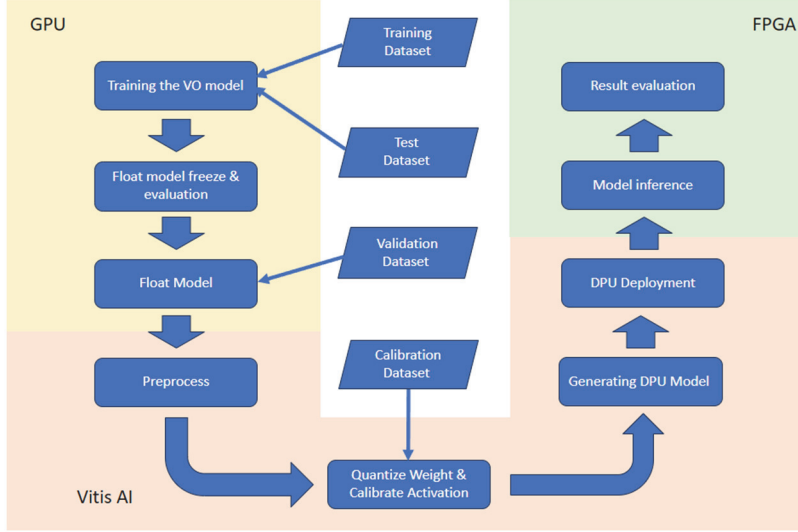


Fig.1. The DPU deployment flow

Results. This section presents the results of our experiments on testing YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, and YOLOv6 object detection models on the ZCU104 FPGA platform. The evaluation is conducted in terms of accuracy, frames per second (FPS), and power consumption.

The accuracy of the object detection models was assessed by using standard benchmark datasets, including COCO. The models were evaluated on a range of object classes and sizes to measure their ability to detect objects accurately. Object detection models are typically evaluated and checked for their performance using various metrics and methods. One of the common ways to check is the mAP. It is calculated using the following formula (1):

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i, \quad (1)$$

where N is the number of the classes, AP_i the average precision of the class i.

Average precision is calculated based on formula (2):

$$AP = \sum_{k=0}^{k=n-1} [Recalls(k) - Recalls(k+1)] * Precisions(k). \quad (2)$$

Precision and recall are described in formulas (3) and (4).

The precision is calculated as the ratio between the number of positive samples correctly classified to the total number of samples classified as positive. The formula for the precision is as follows:

$$Precision = \frac{True_{positive}}{True_{positive} + True_{negative}}. \quad (3)$$

The recall is calculated as the ratio between the number of Positive samples correctly classified as positive to the total number of positive samples:

$$Precision = \frac{True_{positive}}{True_{positive} + False_{negative}}. \quad (4)$$

Table 1 shows the evaluation of several objects. The metrics used for evaluation include the mean average precision (mAP).

Table 1

The object detection mean accuracy

	yolov3	yolov4	yolov5	yolov6
Mean Accuracy	0.755967731	0.766655457	0.719760493	0.768194773
Person	0.917891229	0.896341966	0.818452187	0.878627467
Car	0.752605661	0.77842973	0.713794419	0.745153376
Bicycle	0.774284912	0.77842973	0.713794419	0.745153376
Dog	0.865213667	0.876938071	0.779942692	0.866484686
Chair	0.684339229	0.697351131	0.64940328	0.696721576

Table 1 presents the accuracy results for YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, and YOLOv6 on the COCO dataset. The mAP values indicate the overall detection performance of each model.

The real-time processing capability of the FPGA-based models is crucial for applications such as autonomous vehicles and surveillance systems. The FPS rate is achieved for each model during the inference on the ZCU104 FPGA. It is calculated based on the number of processed images divided by the process time in seconds. The results are shown in Table 2.

Table 2

The frame per second rate results

	yolov3	yolov4	yolov5	yolov6
FPS	28.9241	21.6409	18.972	25.668

These results highlight the models' varying computational demands and their ability to process the frames at high speeds.

Efficiency in power consumption is a key factor in embedded systems, particularly in resource-constrained environments. The power consumption of the

FPGA-based object detection models was measured using power monitoring tools. The DPU architecture was synthesized and implemented on the ZCU104 FPGA using the Xilinx Vivado tool. The synthesized and implemented designs are shown in Fig.2 and Fig.3.

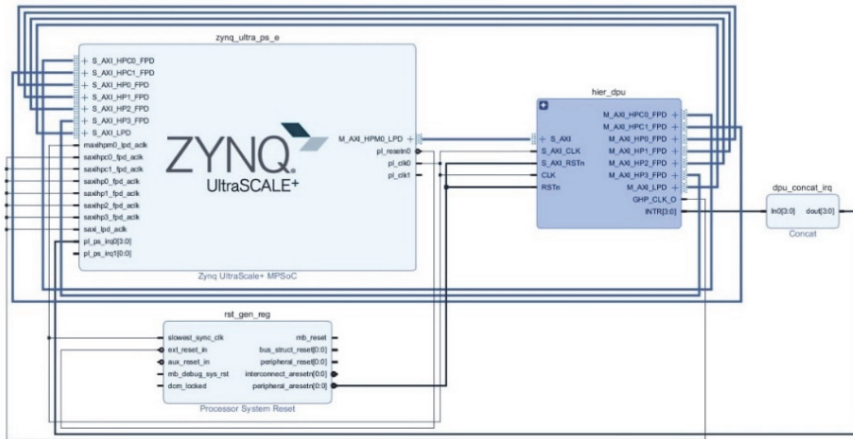


Fig. 2. The synthesized DPU design

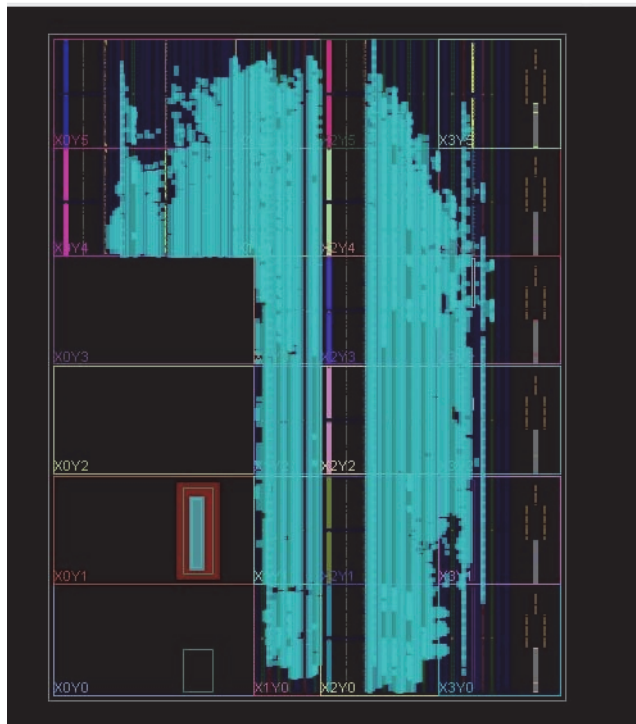


Fig. 3. Implemented DPU design

The resource utilization for the DPU architecture implementation on the ZCU104 board is as follows: LUT –28%, FF – 24%, BRAM – 83%, DSP – 34%.

Table 3 provides an overview of the power consumption for YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, and YOLOv6 on the ZCU104 FPGA. The power consumption was measured using the Xilinx Power Estimator (UG440) [8].

Table 3

Power consumption results (W)

	yolov3	yolov4	yolov5	yolov6
Power	13.812	15.282	14.625	13.326

Conclusion. In this study, a comprehensive analysis of the YOLO object recognition models is conducted, focusing on their potential benefits when implemented on Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs). The performance in terms of real-time processing, latency reduction, energy efficiency, customizability, and resource utilization were evaluated for each model.

The results demonstrate several notable advantages of implementing YOLO models on FPGAs. Firstly, FPGA acceleration allowed to achieve real-time processing capabilities with a minimum of 19 fps for yolov5 and 29 fps for yolov3. The mean accuracy of the YOLO models consistently shows promising results, with yolov6 showing an average mean accuracy of approximately 0.7682.

Another benefit is low power consumption of FPGA-based YOLO implementations, with a worst case of 15.282w for yolov4 model. This factor makes them particularly attractive for resource-constrained environments and battery-powered devices, aligning well with the growing demand for energy-efficient computing.

REFERENCES

1. **Joseph Redmon, Ali Farhadi.** YOLOv3: An Incremental Improvement. – ArXiv, 2018.
2. **Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao.** YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. - ArXiv, 2020.
3. **Glenn Jocher.** Ultralytics/yolov5. - Zenodo, 2020.
4. YOLOv6: A Single-Stage Object Detection Framework for Industrial Applications/**Chuyi Li, Lulu Li, Hongliang Jiang, Kaiheng Weng, Yifei Geng, Liang Li, Zaidan Ke, Qingyuan Li, Meng Cheng, Weiqiang Nie, Yiduo Li, Bo Zhang, Yufei Liang, Linyuan Zhou, Xiaoming Xu, Xiangxiang Chu, Xiaoming Wei, Xiaolin Wei.** – ArXiv, 2022.

5. **Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun.** Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. – ArXiv, 2015.
6. **SSD: Single Shot MultiBox Detector /Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg.** – ArXiv, 2015.
7. **Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi.** You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. – ArXiv, 2015.
8. <https://docs.xilinx.com/r/en-US/ug440-xilinx-power-estimator>

National Polytechnic University of Armenia. The material is received 20.10.2023.

Մ.Տ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

DPU-ի ՎՐԱ ԻՐԱԿԱՆԱՑՎԱԾ YOLO ՄՈՂԵԼՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄ. ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ներկայացվել է կատարողականության ցուցանիշների համապարփակ վերլուծություն, որը ձեռք է բերվել «You Only Look Once» տվյալների բազայի (YOLO) տարբեր մոդելների ներդրմամբ՝ օգտագործելով համապատասխան խոր ուսուցման մշակման սարք (DPU): YOLO մոդելները հայտնի են իրենց իրական ժամանակում օբյեկտների հայտնաբերման հնարավորություններով, ինչը նրանց դարձնում է լավ ընտրություն մի շարք ծրագրերի դեպքում, ներառյալ ինքնավար մեքենաները, հսկողության համակարգերը և ռոբոտաշինությունը: Սույն ուսումնասիրության մեջ YOLO մոդելները տեղադրվում են մասնագիտացված սարքային արագացուցչի, մասնավորապես՝ DPU-ի վրա, որը կատարվում է դրա աշխատանքի արագությունը, ճշգրտությունը և էներգիայի սպառման արդյունավետությունը գնահատելու համար: Կատարելով YOLO մոդելի բազմաթիվ տարբերակների համեմատական գնահատում՝ ցույց է տրվում, թե ինչպես է յուրաքանչյուր մոդել փոխադրում DPU ճարտարապետության հետ: Մոդելները ներառում են YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOv6: Փորձերը ներառում են այս մոդելների չափորոշիչների ուսումնասիրումը տարբեր տվյալների հավաքածուներում և տարբեր սարքային կազմաձևերում: Արդյունքները ոչ միայն ընդգծում են YOLO մոդելների հիմքով նախագծերի DPU-ների վրա կիրառման առավելություններն ու սահմանափակումները, այլ նաև նպաստում են՝ ընտրելու առավել հարմար մոդել-DPU համակցությունը, տվյալ պահանջները հաշվի առնելով: Ուսումնասիրությունը նպաստում է իրական ժամանակում օբյեկտների հայտնաբերման համակարգերի լավարկմանը և օգնում նախագծողներին մոդելի և սարքավորման ընտրության դեպքում՝ բարձրացնելով տեղեկացվածությունը որոշումներ կայացնելու հարցում:

Առանցքային բառեր. FPGA, DPU, օբյեկտների հայտնաբերում, YOLO:

М.Т. ГРИГОРЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
МОДЕЛЕЙ YOLO, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА DPU: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ**

Представлен всесторонний анализ показателей производительности различных моделей, созданных на основе набора данных “You Only Look Once” (YOLO) и реализованных на процессоре глубокого обучения (DPU). Модели YOLO известны своими возможностями обнаружения объектов в реальном времени, что позволяет их использовать для целого ряда приложений, включая автономные транспортные средства, системы наблюдения и робототехнику. В исследовании модели YOLO развертываются на специализированном аппаратном ускорителе, в частности DPU, для оценки скорости, точности и энергоэффективности их работы. Путем проведения сравнительной оценки нескольких вариантов YOLO, включая YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, YOLOv6, показано, как каждая модель взаимодействует с архитектурой DPU. Эксперименты включают сравнение этих моделей с различными наборами данных и различными конфигурациями оборудования. Результаты не только подчеркивают преимущества и ограничения использования DPU для приложений на основе YOLO, но также помогают выбрать наиболее подходящую комбинацию модель-DPU на основе конкретных требований к производительности. Исследование способствует оптимизации систем обнаружения объектов в реальном времени и помогает специалистам-практикам принимать обоснованные решения относительно выбора модели и оборудования.

Ключевые слова: FPGA, DPU, обнаружение объектов, YOLO.

V.A. SAHAKYAN

**AN ACCURACY IMPROVEMENT TECHNIQUE FOR ON-CHIP
CURRENT SOURCES**

A new design technique for accuracy improvement of on-chip reference current sources is proposed. A mathematical model has been developed describing the operation of the proposed technique. Based on the obtained equations, the variation of the reference current caused by the changes in operating conditions and process inaccuracies of the technological should not exceed 1...2%. The proposed technique has been implemented in the design of on-chip reference current source circuit in 14 nm FinFet technology. Spice simulations performed for the developed circuit show less than $\pm 5\%$ variation of the reference current in the $-40...125^{\circ}\text{C}$ temperature range considering the process variations in ± 3 sigma range. The circuit keeps that accuracy for the supply voltage drop up to 0.66 V.

Keywords: on-chip current source, current generators, reference current sources.

Introduction. ICs have found wide application in various systems such as household appliances complex electronic systems, computers, military, aviation, space stations, etc. One of the technical specifications of modern complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) ICs is to ensure high stability of the main parameters, regardless of ambient temperature, supply voltage, and technology deviations. The main parameters of the elements in relation to the typical characteristics may deviate from values reaching tens of percent to multiple [1]. As a result, it becomes clear that the issues of maintaining the stability of various IC parameters have become crucial for chip designers. With the advent of portable devices, the energy consumption and requirements for the IC surface have also tightened, limiting the use of circuits with a large surface area and high energy consumption [2,3]. The design of stable reference voltage sources and the development of voltage stabilizers have also become an important task. The existing deviations in the latest technological processes and new developments, as well as the strict requirements imposed on the IC, have made the need for new methods and solutions urgent conditioned by reducing the deviations in the output values of these nodes and ensuring the safe operation of circuits connected to them as a load [4,5]. The availability of precision voltage sources does not ensure the design of stable current sources. The combination of resistance and a reference voltage source in the MOS structure depends on resistance variation [6,7].

where

$$\beta = \frac{(W/L)\mu_n\epsilon_{ox}}{t_{ox}}.$$

Hence, it is obvious that if the transistor dimensions are large, the changes in the remaining parameters under the above influences can be ignored. If the temperature is constant, mobility is a fixed parameter. In cases of all possible processes, the thickness of the oxide layer t_{ox} varies approximately within $\pm 4.5\ldots 5\%$. If we assume that the temperature is stable, then the change in β will be approximately within 5%. The difference of currents flowing through two N-MOS transistors operating in linear modes will be determined by the expression:

$$I_{d1} - I_{d2} = \beta[(V_{gs1} - V_{th})V_{ds1} - 0.5V_{ds1}^2] - \beta[(V_{gs2} - V_{th})V_{ds2} - 0.5V_{ds2}^2],$$

$$\Delta I = \beta(V_{gs1} - V_{gs2})V_{ds},$$

$$\beta = \frac{(W/L)\mu_n\epsilon_{ox}}{t_{ox}},$$

$$\beta(T) = \frac{W}{L}\mu(T_0)\left(\frac{T_0}{T}\right)^{-1.5} = bT^{-1.5},$$

$$\Delta I = \beta(V_{gs1} - V_{gs2})V_{ds},$$

$$V_{gs1} - V_{gs2} = \Delta V + V_0.$$

The difference of gate source voltages is designated as $\Delta V + V_0$. It is necessary to get this designation according to the circuit, and imagine that ΔV is the drain source voltage:

$$V_{ds} = \Delta V,$$

where ΔV is the output voltage of the PTAT unit. ΔV is directly proportional to temperature, and V_0 is a voltage independent of temperature,

$$\Delta I = \beta(\Delta V + V_0)\Delta V,$$

$$\Delta I(T) = baT^{-1.5}T(V_0 + aT) = abV_0T^{-0.5} + a^2bT^{0.5}.$$

To understand how the resulting expression depends on the temperature change, it is necessary to derive it in time and get the following expression:

$$\Delta I(T) = baT^{-1.5}T(V_0 + aT) = abV_0T^{-0.5} + a^2bT^{0.5},$$

$$\frac{\partial \Delta I(T)}{\partial T} = -0.5abV_0T^{-1.5} + 0.5a^2bT^{-0.5} = 0.$$

From the graphical presentation of the resulting expression, it can be seen that the current depends on the temperature variation (Fig. 2).

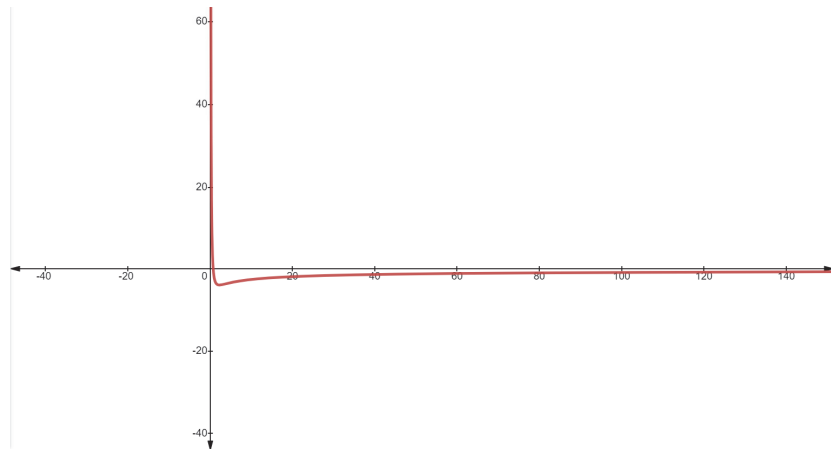


Fig.2. The graphical display of the obtained equality

Simulation Results. To justify the mean of the theoretical analysis Spice simulations for 14 nm FinFet technology note has been performed. The dependence of the reference current on several in stabilization factors has been considered and checked. Based on the simulation results, it is possible to reach a less than 3% current change from the temperature variation in the range - 40...125°C (Fig. 3).

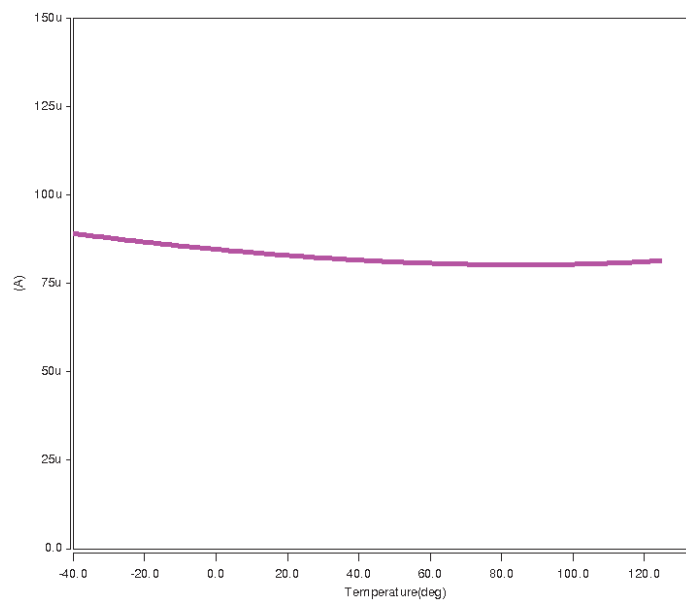


Fig. 3. The dependence of the reference current on the ambient temperature variation

Based on the simulation results, it is possible to reach less than $\pm 3\%$ current change from the supply voltage and process variations (Fig. 4).

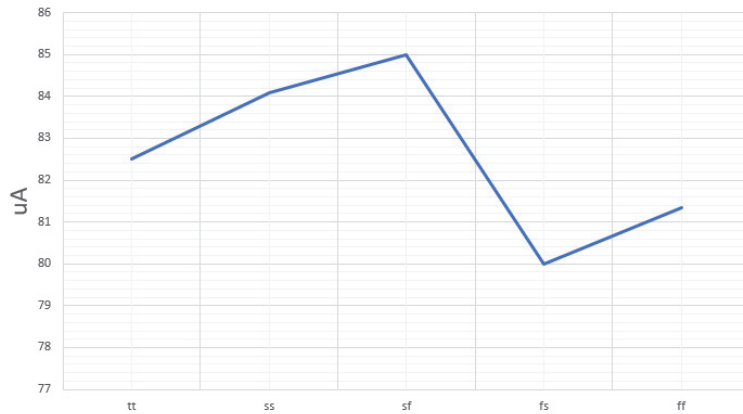


Fig. 4. The dependence of the output current on technological changes

The results show that the reference current variation for the $-40\dots125^{\circ}\text{C}$ temperature range considering the process variations in ± 3 sigma range and supply voltage variation in $\pm 10\%$ range is less than $\pm 5\%$ (Fig. 5).

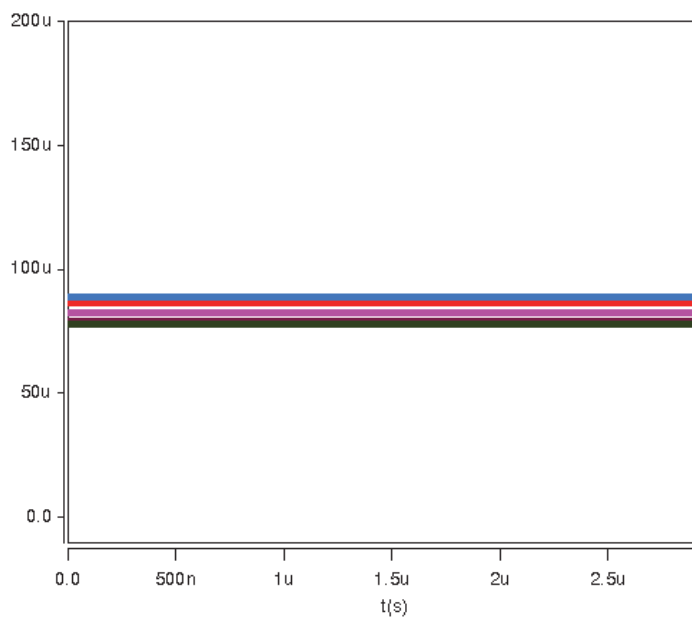


Fig. 5. The dependence of the output current on temperature, as well as supply voltage and technological changes

The next reformed analyze is the power supply noise impact on the designed circuit. The PSRR analysis performed in $100\dots10^{10} \text{ Hz}$ ensure more than -10 dB noise rejection and more than -35 dB rejection in a low frequency range (Fig. 6).

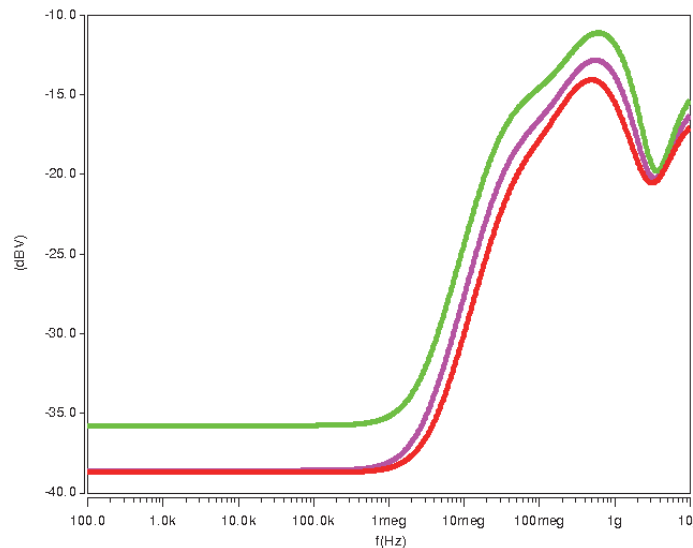


Fig. 6. The results of the frequency analysis

Conclusion. A novel design technique for on-chip current sources has been proposed, designed, and simulated. According to those simulations, the new circuit is capable of providing accurate reference currents and operate in the $-40...125^{\circ}\text{C}$ temperature and $\pm 10\%$ supply variation ranges by providing around $\pm 5\%$ variation compared to the existing resistor-based architecture, which provides several times lower accuracy. The main limitation of technique is the usage of bipolar transistors as well as the estimated area increase by 20%. Both requirements are acceptable considering more relaxed requirements for such parts of IC.

REFERENCES

1. **Razavi B.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits. - International Edition. -2001. - 928 p.
2. **Chen Zhao, Randall Geiger, Degang Chen.** A Compact Low-Power Supply-Insensitive CMOS Current Reference // IEEE International Symposium on Circuits and Systems. -Seoul, Korea, 2012. -P. 2825 – 2828.
3. **Yoo C., and Park J.** CMOS current reference with supply and temperature compensation // ELECTRONICS LETTERS.- 6th December, 2007. - Vol. 43, No. 25. -P. 1422 -1424.
4. **Ilkka Nissinen, Juha Kostamovaara** A Low Voltage CMOS Constant Current - Voltage Reference Circui // International Symposium.- Volume 1: Circuits and Systems. – 2004. – P. 381 - 384.
5. Precision CMOS Current Reference with Process and Temperature Compensation/ **C. Azcona, B. Calvo, S. Celma, N. Medrano, M. Sanz** // IEEE International Symposium on Circuits and Systems. – 2014. – P. 910 - 913.

6. **Rasoul Dehghani, and Atarodi S.M.** A New Low Voltage Precision CMOS Current Reference with No External Components // Engineering 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. – 2003. – Vol.1. – P. 156 - 159.
7. **Yu Peng, Yanchao Xia, Shaojun Wang.** Design of a High Precision Current Source // 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. – 2009. – Vol.1. – P. 1065 - 1069.

Institute of Radiophysics and Electronics NAS RA. The material is received on 27.06.2023.

Վ.Ա. ՄԱՀԱԿՅԱՆ

ՆԵՐՔՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՐՔՈՒՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Առաջարկվել է ներքուրեղային հոսանքի աղբյուրների ճշգրտության բարձրացման նոր եղանակ: Առաջարկված եղանակի հիմքում ընկած է մշակված մաթեմատիկական մոդելը: Ստացված հավասարումների արդյունքում հիմնավորվել է, որ աշխատանքային պայմանների փոփոխությունների և տեխնոլոգիական գործընթացի անճշտությունների հետևանքով առաջացող հոսանքի շեղումը չպետք է գերազանցի 1-2%: Առաջարկված եղանակն իրականացվել է 14 *nm* FinFet տեխնոլոգիական գործընթացով՝ ներքուրեղային հենակային հոսանքի աղբյուրի մշակման համար: Կատարված spice նմանակման արդյունքում, ջերմաստիճանային -40...125°C միջակայքում, տեխնոլոգիական գործընթացի ± 3 սիգմա շեղումների դեպքում, մշակված սխեման ապահովել է հենակային հոսանքի $\pm 5\%$ -ից պակաս շեղումներ: Սխեման ունակ է՝ պահպանելու նշված ճշգրտությունը սնման լարման ընդհուպ մինչև 0,66 Վ նվազագույն արժեքի պարագայում:

Առանցքային բառեր. ներքուրեղային հոսանքի աղբյուր, հոսանքի գեներատորներ, հենակային հոսանքի աղբյուրներ:

В.А. СААКЯН

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Предложен метод повышения точности внутрикристаллических источников тока. Предлагаемый метод основан на разработанной математической модели. В результате полученных уравнений установлено, что отклонение тока, вызванное изменением условий работы и неточностями технологического процесса, не должно превышать 1...2%. Предлагаемый метод был реализован с использованием 14 *nm* технологического процесса FinFet для разработки внутрикристаллического эталонного источника тока. В результате экспериментального моделирования в диапазоне температур -40...125°C при отклонениях технологического процесса ± 3 сигма разработанная схема обеспечивала $\pm 5\%$ отклонений от эталонного тока. Схема способна поддерживать указанную точность при падении напряжения питания до 0,66 В.

Ключевые слова: внутрикристаллический источник тока, генераторы тока, опорные источники тока.

Ա.Հ. ԲԱՂԻՅԱՆ, Հ.Է. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀՐԹԻՌՆԵՐԻ ԱՐՏԱՔԻՆ ԶԳԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԹՎԱՅԻՆ ՍՈՐԵԼԱՎՈՐՄԱՆ
ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ Մ-210Ց ՀՐԹԻՌԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ

Թվային մոդելավորման եղանակով հրթիռների արտաքին ձգաբանության հավասարումների լուծման համար մշակված համակարգչային ծրագրի կիրառմամբ ուսումնասիրվել են ստացվող արդյունքների շեղումները հեռահարության աղյուսակներում բերված տվյալներից՝ Մ-210Ց հրթիռի օրինակով: Ցույց է տրվել մշակված համակարգչային ծրագրի կիրառելիությունը իրական խնդիրներում՝ աղյուսակային տվյալների բացակայության դեպքում, ինչպես նաև նոր հրթիռների մշակման փուլում դրանց հեռահարությունը գնահատելու և ձգաբանական աղյուսակներ կազմելու համար:

Առանցքային բառեր. արտաքին ձգաբանություն, հրթիռի աերոդինամիկա, հաշվողական մեթոդներ, թվային մոդելավորում:

Ներածություն: Հրթիռային կրակի վարման համար լայնորեն կիրառվում են դրանց ձգաբանական աղյուսակների վրա հիմնված լուծումները, որոնք իրականացվում են ձեռքով կատարվող հաշվարկներով, իսկ այժմ՝ նաև ծրագրային մեթոդներով: Վերջիններս, օգտագործելով հրթիռների ձգաբանական աղյուսակների տվյալները, կատարում են ինտերպոլացիա և մոտարկումներով վերադարձնում հաշվարկային արդյունքները:

Ժամանակակից պայմաններում թվային մոդելավորում իրականացնող ծրագրային լուծումներում հնարավոր է ինտեգրել հրթիռի շարժման հավասարումները՝ թվային ինտեգրման հայտնի հաշվարկային մեթոդներով: Դրա համար անհրաժեշտ է ունենալ հրթիռի և նրանում եղած վառելիքի քառաիններցիոն բնութագրերը, վերջիններիս կախումը ժամանակից, հրթիռի աերոդինամիկական բնութագրերը և դրանց կախումը շրջահոսող օդի արագությունից, շարժիչի քառաիններցիոն կախումը ժամանակից, արձակող կայանքի և դրա ուղղորդողի բնութագրերը, ինչպես նաև արձակման տեղանքին և առկա օդերևութաբանական պայմաններին վերաբերող պայմանները: Հրթիռների քառաիններցիոն բնութագրերը կարելի է գտնել համապատասխան գրականությունում կամ հաշվարկել ավտոմատացված նախագծման համակարգերի միջոցով՝ դրանց եռաչափ մոդելների և դրանցում կիրառվող նյութերի մասին եղած տվյալների հիման վրա, իսկ հրթիռային

քարշուծային բնութագրերը կարելի գտնել ներքին ձգաբանության մեթոդներով՝ հիմնվելով դրանցում կիրառվող վառելիքի, այրման խցիկի և հրափողի երկրաչափական բնութագրերի վրա:

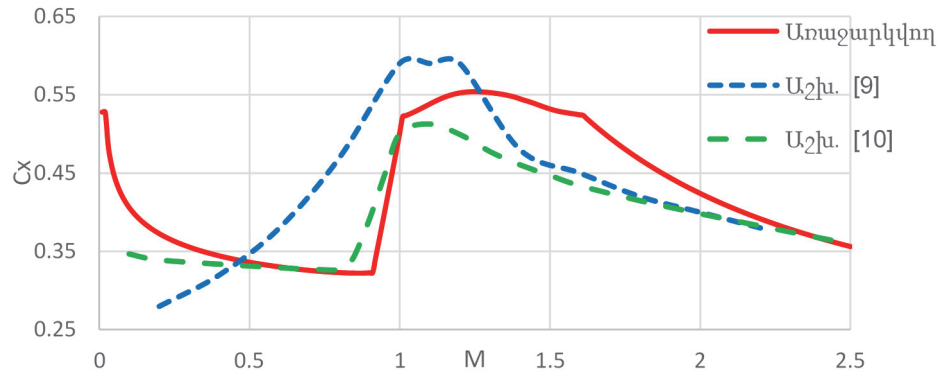
Աերոդինամիկական բնութագրերի ստացման համար կիրառվում են աերոդինամիկական խողովակներ, հրթիռների աերոդինամիկային վերաբերող տեսական մեթոդների և փորձարարական տվյալների համադրման հիման վրա մշակվող կիսաէմպիրիկ մեթոդներ [1-7], ինչպես նաև հեղուկների հաշվողական դինամիկայի մեթոդներով մարմնի շրջահոսումը օդով մոդելավորող համակարգչային ծրագրեր [8, 9]:

Հրթիռների թռիչքի թվային մոդելավորումը թույլ է տալիս կատարել հաշվարկներ ինչպես աղյուսակային կետերի միջակայքում՝ առանց մոտարկումների, այնպես էլ այդ կետերից դուրս, ինչը անհնար է աղյուսակների հիման վրա մշակված լուծումներում: Բացի այդ, հրթիռի օպտիմալ լուծումներին միտված նախնական և վերջնական մշակումների իրականացումը, ինչպես նաև հեռահարության աղյուսակների կազմումը՝ հենվելով միայն ռեալ փորձարկումների վրա, շատ ծախսատար է և ժամանակատար: Թվային մոդելավորումն էապես հեշտացնում է մշակման պրոցեսը և հանգեցնում ավելի բարձրորակ արդյունքի ավելի սեղմ ժամկետներում: Հետևաբար՝ հրթիռների մշակման համար դրանց արտաքին ձգաբանության հաշվարկներում թվային մոդելավորում կիրառելը և այդպիսի մոդելավորման մեթոդների կատարելագործումը խիստ կարևոր արդիական խնդիր է:

Հաշվողական սխեման: Հետազոտական աշխատանքի ընթացքում մշակված ծրագրային ապահովման մեջ առկա է հրթիռի աերոդինամիկական բնութագրերի կիսաէմպիրիկ հաշվարկային մաս՝ հիմնված հրթիռների աերոդինամիկայի տեսական և փորձարարական մոտեցումների [3-9] վրա: Առկա է նաև հնարավորություն այլ՝ փորձարարական կամ հեղուկների հաշվողական դինամիկայի մեթոդներով ստացված աերոդինամիկական բնութագրերի ներմուծման համար: Դա հրթիռների արտաքին ձգաբանության հաշվման համար մեր կողմից մշակված համակարգչային ծրագիրը դարձնում է ունիվերսալ՝ ցանկացած ձևի ու չափերի հրթիռի դեպքում, քանի որ բացառում է այն սահմանափակումները, որոնք պայմանավորված են աերոդինամիկական բնութագրերի հաշվման համար ծրագրում ներդրված կիսաէմպիրիկ հաշվարկային մասի կիրառելիության սահմաններով:

Մ-210Ֆ հրթիռի աերոդինամիկական դիմադրության ուժի C_x գործակցի կախումը թռիչքի արագությունից (Մախի M թվից)՝ ստացված աերոդինամիկական տեսական և փորձարարական մոտեցումների կիրառմամբ, ներկայացված են [10]-ում, իսկ [2]-ում բերված են արդյունքներ, որոնք ստացվել են հեղուկների հաշվողական դինամիկայի մեթոդների կիրառմամբ: Նկ. 1-ում բերված են վերոնշյալ

աշխատանքներում ստացված գործակիցների գրաֆիկները՝ առաջարկվող կիսաէմպիրիկ լուծմամբ ստացված գրաֆիկի հետ համեմատելու համար:



Նկ. 1. *Մ-210Յ հրթիռի դիմադրության ուժի գործակիցի կախվածությունը թռիչքի արագությունից՝ ներկայացված Մախի թվերով*

Մշակված համակարգչային ծրագիրն իրականացնում է հրթիռի թռիչքի դինամիկայի հաշվարկներ՝ հիմնվելով ստացված կամ ներմուծված աերոդինամիկական բնութագրերի, հրթիռի քաշափնեցիոն և դրա շարժիչի քարշուժային բնութագրերի վրա, շարժման փողային (1), ակտիվ (2) և պասսիվ (3) փուլերի համար համապատասխանաբար հետևյալ հավասարումների միջոցով.

$$v_0 = \frac{1}{m_0} \int_0^{t_0} T dt, \quad (1)$$

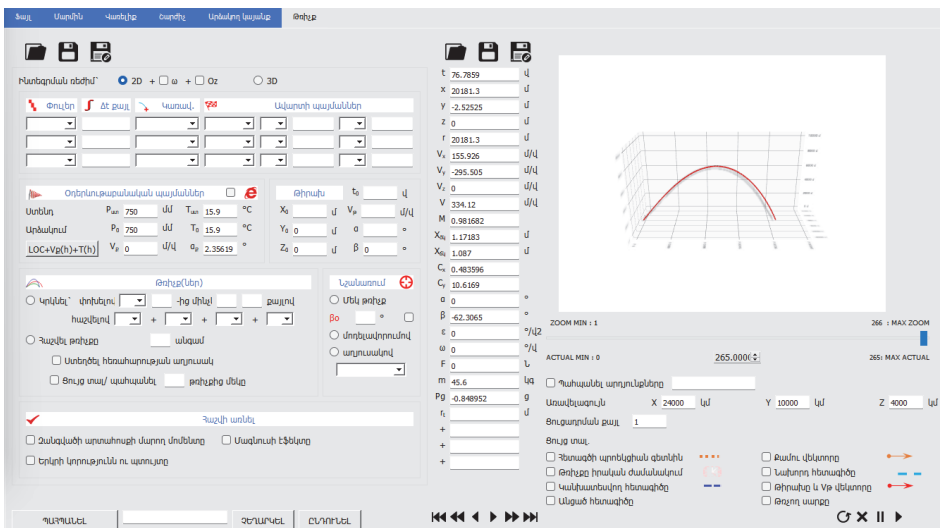
$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{T}{m} - C_x \frac{\rho_H v^2}{2} S - g \sin \lambda, \\ \frac{d\lambda}{dt} = -\frac{g}{v} \cos \lambda, \\ \frac{dx}{dt} = v \cos \lambda, \\ \frac{dy}{dt} = v \sin \lambda, \\ \frac{dm}{dt} = \frac{m_k - m_0}{t_k}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = -C_x \frac{\rho_H v^2}{2} S - g \sin \lambda, \\ \frac{d\lambda}{dt} = -\frac{g}{v} \cos \lambda, \\ \frac{dx}{dt} = v \cos \lambda, \\ \frac{dy}{dt} = v \sin \lambda, \end{cases} \quad (3)$$

որտեղ v_0 -ն արձակման կայանքի փողից դուրս գալու արագությունն է, m_0 -ն՝ հրթիռի մեկնարկային զանգվածը, t_0 -ն՝ փողային փուլի տևողությունը, m -ը՝ հրթիռի զանգվածը, m_k -ն՝ թռիչքի ակտիվ մասի վերջում հրթիռի զանգվածը, v -ն՝ թռիչքի

արագությունը, λ -ն՝ հրթիռի հետագծի թեքման անկյունը հորիզոնի նկատմամբ, C_x -ը՝ հրթիռի դիմադրության ուժի գործակիցը, ρ_H -ը՝ օդի խտությունը H բարձրության վրա (հաշվարկվում է՝ համաձայն միջազգային ստանդարտ մթնոլորտի), S -ը՝ հրթիռի միդելի հատույթի մակերեսը, g -ն՝ ազատ անկման արագացումը, T -ն՝ հրթիռի շարժիչի քարշուժը, x -ը և y -ը՝ հրթիռի ծանրության կենտրոնի կոորդինատները արձակման կետի նկատմամբ, իսկ t_k -ն՝ հետագծի ակտիվ մասի (շարժիչի աշխատանքի) տևողությունը:

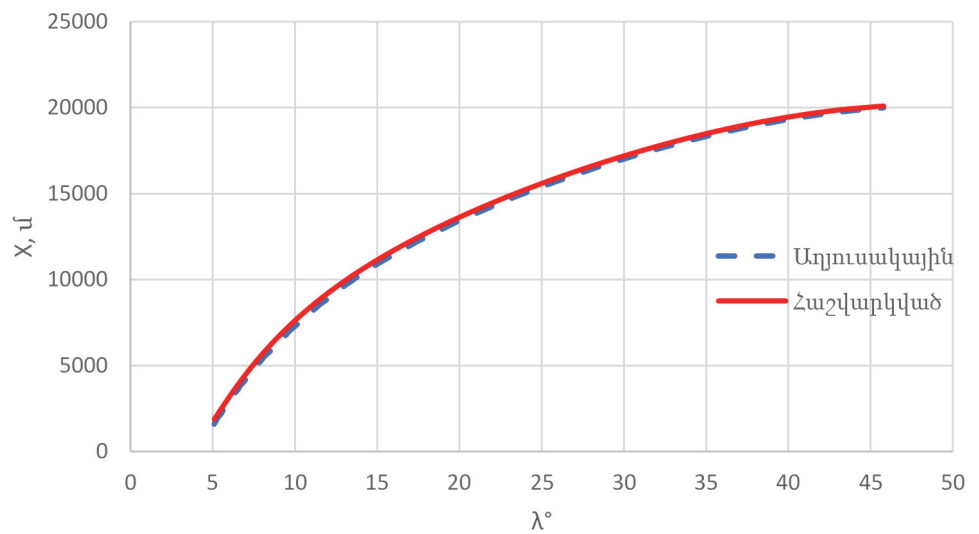
Մշակված համակարգչային ծրագրի միջոցով ստացված Մ-210Ֆ հրթիռի թռիչքի հետագիծը առավելագույն հեռահարության դեպքում ներկայացված է նկ. 2-ում:



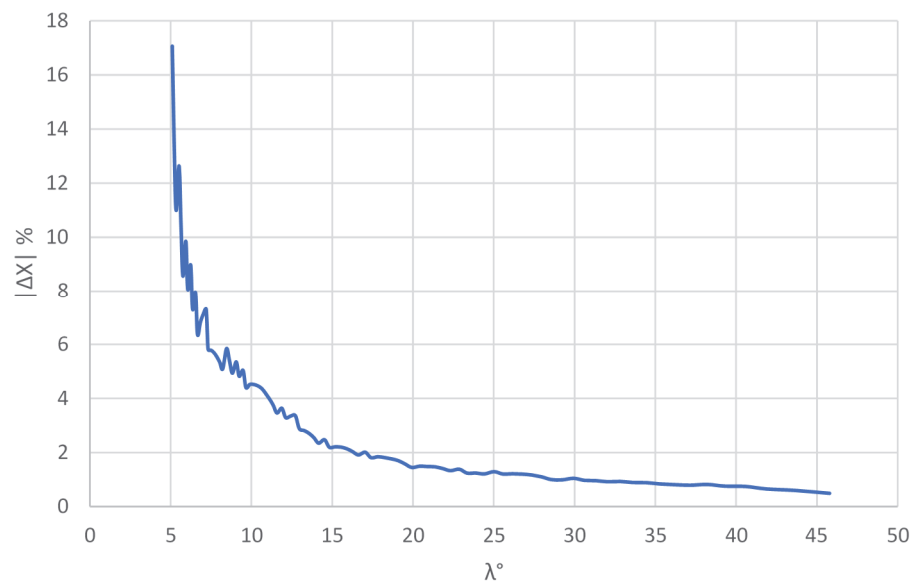
Նկ. 2. Մ-210Ֆ հրթիռի թռիչքի հետագիծը՝ մշակված համակարգչային ծրագրի գրաֆիկական ինտերֆեյսում

Արդյունքների ամփոփում: Հիմնվելով Մ-210Ֆ հրթիռի հեռահարության աղյուսակներում [11] ներկայացված տվյալների վրա՝ մշակված համակարգչային ծրագրով իրականացվել է դրա թռիչքի մոդելավորում արձակման աղյուսակային անկյունների համար, և ստացված հեռահարությունները համեմատվել են աղյուսակային արժեքների հետ:

Աղյուսակային և առաջարկվող լուծման միջոցով ստացված հեռահարությունները՝ կախված արձակման անկյուններից (ծովի մակարդակից արձակելու պարագայում), ներկայացված են նկ. 3-ում, իսկ ստացված հեռահարությունների հարաբերական շեղումները, աղյուսակային տվյալներից տոկոսային արտահայտմամբ, կախված արձակման անկյուններից, բերված են նկ. 4-ում:



Նկ.3. Հեռահարության կախվածությունը արձակման անկյունից



Նկ. 4. Հաշվարկված հեռահարությունների հարաբերական շեղումները համապատասխան աղյուսակային տվյալներից

Ստացված շեղումները (միջին հարաբերական բացարձակ շեղումը՝ 3,6%, բացարձակ շեղումների տիրույթը՝ 0.49...17,06%) մոտ են [10]-ում ներկայացված մոդելավորման շեղումների սահմաններին (10 %):

Առաջարկվող լուծման մեջ շեղումների ստացումը մեծ մասամբ պայմանավորված է փողից հրթիռի դուրս գալու ընթացքում փողի առանցքի նկատմամբ

հրթիռի թեքումը մոդելավորող ճշգրիտ եռաչափ մոդելավորման բացակայությամբ և որպես մուտքային տվյալ կիրառվող բնութագրերում առկա շեղումներով. մասնավորապես՝ էական դեր են խաղում աերոդինամիկական բնութագրերի հաշվարկման համար կիրառված կիսաէմպիրիկ հաշվարկային մասի անճշտությունները:

Եզրակացություն: Մշակված ծրագրային լուծումն իրականացնում է հրթիռների թռիչքի դինամիկայի մոդելավորում և կարող է կիրառվել դրանց նախնական մշակման, հեռահարության աղյուսակներ ստեղծելու և կրակի կառավարման ավտոմատացված համակարգերի մշակման համար: Հրթիռների մշակման փուլում այն թույլ է տալիս գնահատել դրանց հեռահարությունը, դրա կախվածությունը տարատեսակ կառուցվածքային պարամետրերից, իրականացնել դրանց օպտիմալացում և կազմել հեռահարության աղյուսակներ: Մ-210Ֆ հրթիռի օրինակով ստացված արդյունքները ցույց են տալիս առաջարկվող լուծումների կիրառելիությունը իրական պայմաններում իրական հրթիռների դեպքում:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 21DP-1B018 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Hemsch M.J.** Tactical Missile Aerodynamics: General Topics.- American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. – 731 p.
2. **Hemsch M.J., Mendenhall M.** Tactical missile aerodynamics: Prediction methodology.- American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. – 766 p.
3. **Петров К.П.** Аэродинамика ракет. – М.: Машиностроение, 1977. – 136 с.
4. **Петров К.П.** Аэродинамика элементов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
5. **Краснов Н.Ф.** Аэродинамика. Ч. II. Методы аэродинамического расчета. – М.: Высшая школа, 1980. – 416 с.
6. **Краснов Н.Ф.** Основы аэродинамического расчета: Аэродинамика тел вращения, несущих и управляющих поверхностей. Аэродинамика летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1981. – 496 с.
7. **Григорьев В.Г., Филиппов В.Б.** Синтез оптимального облика и оценка боевых возможностей управляемой ракеты “воздух-воздух” / Под ред. И.Е. Казакова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1986. – 99 с.
8. **Eltaj A., Darag S.A.** Aerodynamic Coefficients Investigation of GRAD Rocket Using Computational Fluid Dynamics// Journal of Engineering and Computer Science (JECS).-2021.- 22(3).- P.9-18.
9. **Tun N.L., Thuri M., Li Z.** Aerodynamic Coefficients Prediction for 122 mm Rocket by Using Computational Fluid Dynamics// In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- IOP Publishing, 2020.- Vol. 816, N1.-P.012010.

10. Антуневич А.Л., Ильёв И.Г. Оценка эффективности стрельбы подразделений реактивной артиллерии при целенаправленном изменении параметров рассеивания снарядов// Сборник научных статей Военной академии Республики Беларусь.- 2017.- № 32.- С. 12-21.
11. ТС-74Г Выдержки (Таблицы стрельбы ОФ-реактивными снарядами М-21ОФ из БМ-21 (ТС-74Г)). [Электронный ресурс], URL: https://vk.com/doc12087859_412622814?hash=9qzZlEnzzh4GHubMOavDjqMJLyNZQbfO9RIztR8ivJk (дата обращения: 23.07.2023).

ՄՊԸ «Իմպուլս»-ի, ԵՊՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.07.2023:

А.А. БАГИЯН, О.Э. САРГСЯН, А.А. ГРИГОРЯН

ВОПРОСЫ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ РАКЕТ НА ПРИМЕРЕ РАКЕТЫ М-21ОФ

На примере ракеты М-21ОФ исследованы отклонения результатов, полученных в результате применения компьютерной программы, разработанной для решения уравнений внешней баллистики ракет методом численного моделирования. Показана применимость разработанной компьютерной программы в реальных задачах в случае отсутствия табличных данных и при разработке новых типов ракет для оценки их дальноточности и составления баллистических таблиц.

Ключевые слова: внешняя баллистика, аэродинамика ракет, вычислительные методы, численное моделирование.

A.H. BAGHIYAN, H.E. SARGSYAN, A.A. GRIGORYAN

THE ACCURACY OF NUMERICAL SIMULATION OF HUROKET EXTERNAL BALLISTICS BASED ON THE EXAMPLE OF THE M-21OF ROCKET

Using the example of the M-21OF rocket, the deviations of the results obtained by the software developed for solving the equations of external ballistics of rockets by computational methods, are investigated. The applicability of the developed software in real problems in case of the absence of tabular data and during the development of new types of rockets for evaluating their range and compiling ballistic tables is shown.

Keywords: external ballistics, rocket aerodynamics, computational methods, numerical simulation.

ՀՏԴ 621.937

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄ ԵՎ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

DOI: 10.53297/0002306X-2023.v76.3-365

Ն.Հ. ՉՈՒԽԱՋՅԱՆ

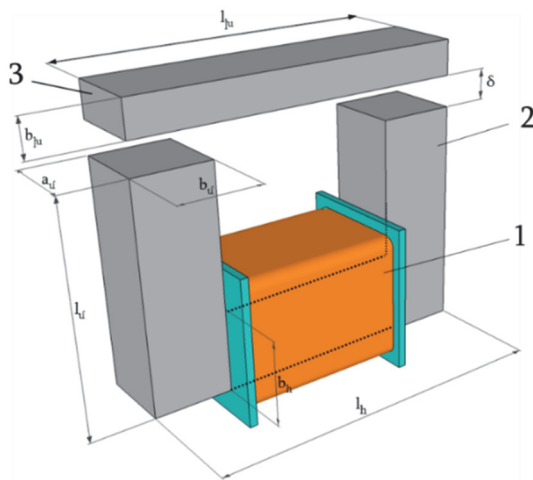
**«ՄԱԳԼԵՎ» ԳՆԱՑՔԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿԱԽՈՑԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ**

Քննարկվել են «մագլև» գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծման խնդրի առանձնահատկությունները: Մշակվել է ծրագրային գործիք, որը հնարավորություն է տալիս ավտոմատացնել էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծման գործընթացը՝ մուտքային պարամետրերի արժեքների առաջադրմամբ և կախոցի բնութագրական մեծությունների արժեքների որոշմամբ: Մշակված ավտոմատացված համակարգում լուծվում են կախոցի նախագծման ուղիղ և հակադարձ խնդիրները, հաշվարկվում են կառավարման փաթույթի պարամետրերը, օպտիմալացվում են բնութագրական մեծությունների արժեքները: Ներկայացվում են համակարգի կառուցվածքային սխեմաները և դասերը:

Առանցքային բառեր. «մագլև» գնացք, էլեկտրամագնիսական կախոց, ծրագրային գործիք, ավտոմատացված նախագծման համակարգ, մաթեմատիկական մոդել, կառուցվածքային սխեմա, նպատակային ֆունկցիա:

Ներածություն: «Մագլև» տիպի արագընթաց գնացքները, ի տարբերություն սովորական գնացքների, որոնց անիվները գլորվում են երկաթգծի վրայով, «ճախրում» են գնացքի և շարժուղու միջև ձևավորված օդային շերտի վրայով [1-8]: Այս գնացքները շարժուղուց վեր են բարձրացվում և շարժման ընթացքում շարժուղու նկատմամբ որոշակի բարձրությամբ պահպանվում էլեկտրամագնիսական կախոցի միջոցով. էլեկտրամագնիսի մագնիսալարի բևեռների և խարսխի միջև գործող էլեկտրամագնիսական ուժը ձգում է մագնիսալարը դեպի խարսխը և դրանով իսկ տեղաշարժում խարսխին կցված (հենված) գնացքի շարժակազմն ու այն վեր բարձրացնում շարժուղուց: Բնականաբար, գնացքը բարձրացնելու համար այդ ուժի արժեքը պետք է գերազանցի կախոցի մագնիսալարի հակազդող ուժի արժեքը՝ գնացքի կշիռը, իսկ գնացքը որոշակի դիրքում կայուն պահելու համար էլեկտրամագնիսական ուժի արժեքը պետք է հավասարվի հակազդող ուժի արժեքին [8]: Նկ. 1-ում պատկերված է «մագլև» գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցը, որի նախագծման ընթացքում որոշվում են էլեկտրամագնիսի չափերը, ընտրվում անհրաժեշտ նյութերը, հաշվարկվում բնութագրական մեծությունների արժեքները, ստուգվում և ապահովվում սարքի աշխատունակության համար անհրաժեշտ

պայմանները: Մեր նախորդ աշխատություններում, կախոցի նախագծման արդիական ու կարևոր խնդրի լուծման նպատակով, կազմվել են կախոցի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեման և մաթեմատիկական մոդելը, էլեկտրամագնիսի կառավարման փաթույթի մագնիսաշարժ ուժի (ՄՇՈՒ) բնութագրական արժեքների որոշման և կառավարման փաթույթի հաշվարկի եղանակները, ձևակերպվել և գենետիկական ալգորիթմի կիրառմամբ լուծվել է կախոցի օպտիմալ նախագծման խնդիրը [5-8]:



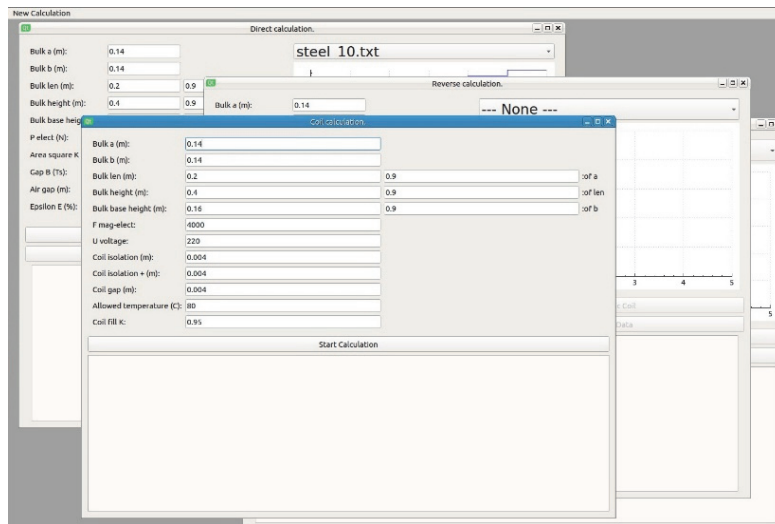
*Նկ.1. Նախագծվող էլեկտրամագնիսական կախոցի կառուցվածքային սխեման.
1-կառավարման փաթույթ (տեղադրված է մագնիսալարի հիմքի վրա), 2 - միջուկ,
3 - խարսխ, l_h - խարսխի երկարությունը, b_h - խարսխի հաստությունը, a_v - միջուկի
հաստությունը, b_v - միջուկի լայնությունը, l_v - միջուկի երկարությունը, l_h - հիմքի
երկարությունը, b_h - հիմքի հաստությունը, δ - աշխատանքային օդային բացակների չափը
(երկարությունը)*

Նախագծման ավտոմատացման համակարգը: Այս աշխատանքում նկարագրվում է էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգը, որը ստեղծվել է վերը շարադրված հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա: Մշակված համակարգը հնարավորություն է տալիս առաջադրված պայմաններին համապատասխան նախագծել «մագլև» գնացքի շահագործման համար պիտանի էլեկտրամագնիսական կախոց՝ օգտագործվող նյութերի և սարքի շահագործման համար պահանջվող էլեկտրական հզորության նվազագույն արժեքներով: Նախագծման ավտոմատացված համակարգն իրականացվել է C++ ծրագրավորման լեզվով և բաղկացած է 3 հիմնական ֆունկցիոնալ շերտերից.

- գրաֆիկական ինտերֆեյսի միջոցով տվյալների մուտքագրման և արդյունքների արտածման շերտ,

- տվյալների վավերացման շերտ,
 - միջուկ, որը պատասխանատու է բոլոր անհրաժեշտ հաշվարկների կատարման համար:

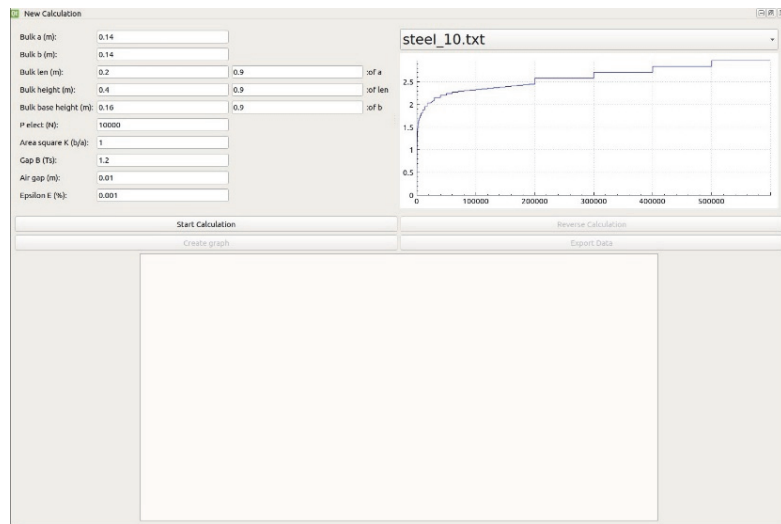
Գրաֆիկական ինտերֆեյսը: Գրաֆիկական շերտը նախագծողի և ավտոմատացված համակարգի երկխոսությանը հարմարեցված ինտերֆեյս է, որն ամբողջությամբ իրականացվել է Qt գրաֆիկական տարրերի գրադարանի միջոցով: Համակարգի մեկնարկի պահից բացվում է հիմնական պատուհանը (նկ. 2), որը նախագծողին լուծվող խնդրի տեսակն ընտրելու հնարավորություն է տալիս: Խնդիրները չորսն են՝ էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծման ուղիղ խնդիր [5], նախագծման հակադարձ խնդիր [5], կախոցի կառավարման փաթույթի նախագծային հաշվարկ [6], էլեկտրամագնիսական կախոցի բնութագրական մեծությունների օպտիմալացում [7]:



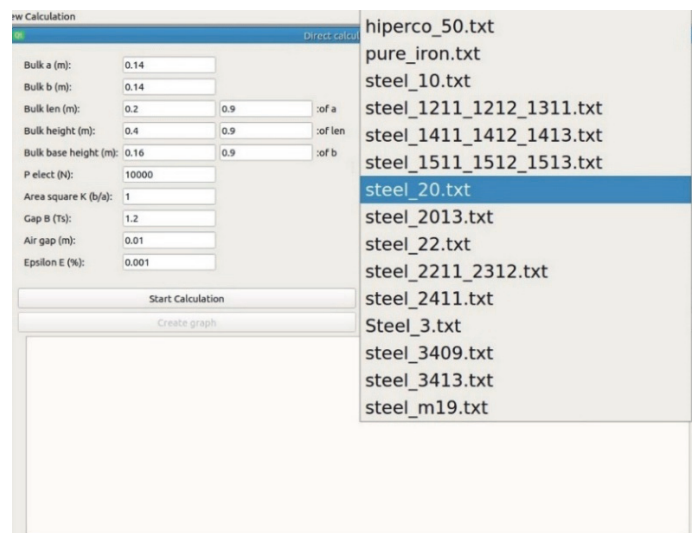
Նկ.2. Հիմնական պատուհանը

Խնդրի տեսակի ընտրությունից հետո բացվում է նոր համապատասխան պատուհան (նկ. 3), որը նախագծողին հնարավորություն է տալիս՝ մուտքագրելու էլեկտրամագնիսական նախագծվող կախոցի պարամետրերի մուտքային արժեքները: Խնդրի տեսակից կախված՝ մուտքային պարամետրերը կարող են տարբեր լինել, օրինակ, ուղիղ խնդրի լուծման համար պահանջվող պարամետրերն են՝ կախոցի զարգացրած էլեկտրամագնիսական ուժի արժեքը, ինդուկցիայի արժեքը, պողպատի տեսակը: Այս տվյալները բավարար են, որպեսզի մշակված համակարգն ավտոմատ կերպով որոշի էլեկտրամագնիսի խարսխի երկարությունը, խարսխի հաստությունը, միջուկի հաստությունը, միջուկի լայնությունը, միջուկի երկարությունը, հիմքի երկարությունը, հիմքի հաստությունը, աշխատանքային

օդային բացակների չափը (նկ. 3): Ցանկության դեպքում նախագծողը հնարավորություն ունի բոլոր նշված պարամետրերի արժեքները մուտքագրել նաև ինքնուրույն, որի համար առկա են համապատասխան անուններով գրաֆիկական տարրեր, որոնք կցված են նոր բացված պատուհանին (նկ. 4):



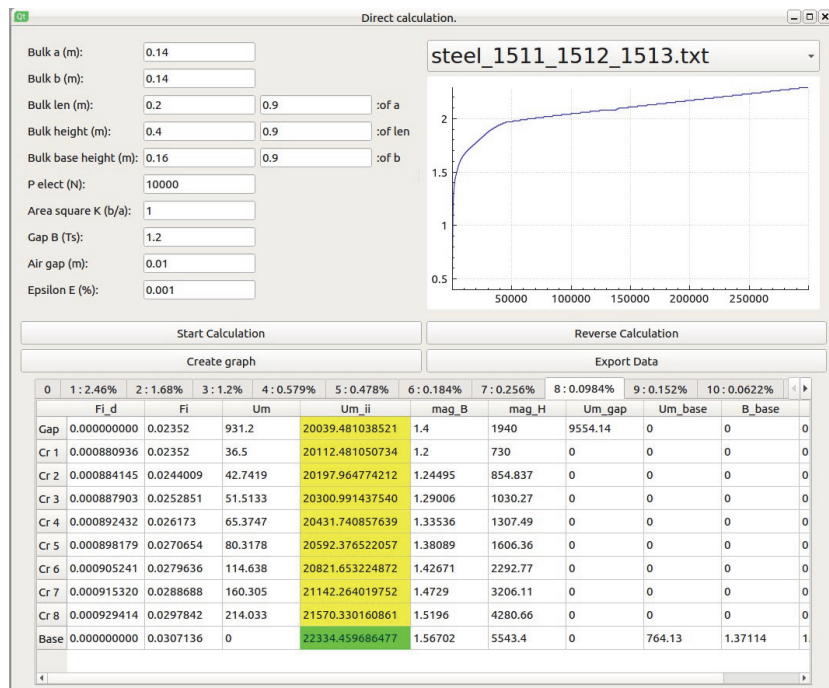
Նկ.3. Ուղիղ խնդրի պատուհանը



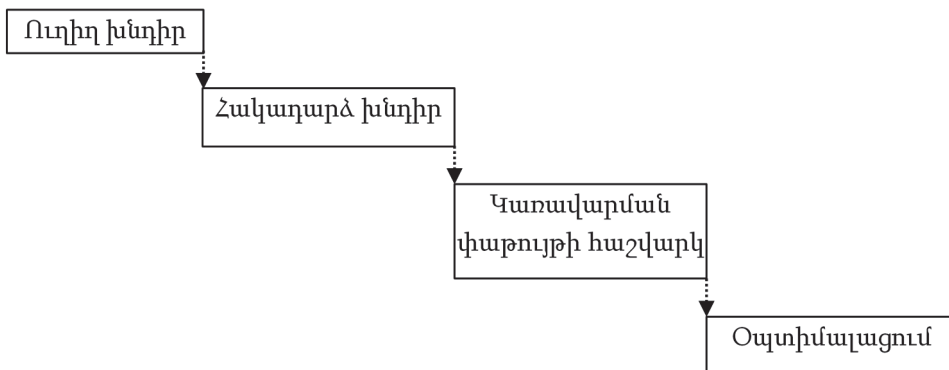
Նկ.4. Պարամետրերի արժեքների և պողպատի տեսակի ընտրության պատուհանը

Բոլոր անհրաժեշտ արժեքները մուտքագրելուց հետո սկսում է աշխատել տվյալները վավերացնող բլոկը, որը մուտքագրված տվյալների վավեր լինելու դեպքում ակտիվացնում է «հաշվարկել» կոճակը (ավտոմատացված համակարգի

երկրորդ շերտ): Միավ մուտքագրված արժեքների դեպքում այն նախագծողին հուշում է մուտքագրված տվյալների սխալ լինելու մասին՝ ուղղակիորեն ակտիվացնելով այն դաշտը, որը սխալ է պարունակում: Նշված «հաշվարկել» կոճակի սեղմումով սկսվում է խնդրի լուծման գործընթացը, իսկ լուծման արդյունքներն արտածվում են համապատասխան աղյուսակների տեսքով (նկ. 5): Այնուհետև նույն պատուհանում ակտիվանում է հաջորդ խնդրին անցման կոճակը: Խնդիրների լուծման հերթականությունը ցույց է տրված նկ.6-ում:

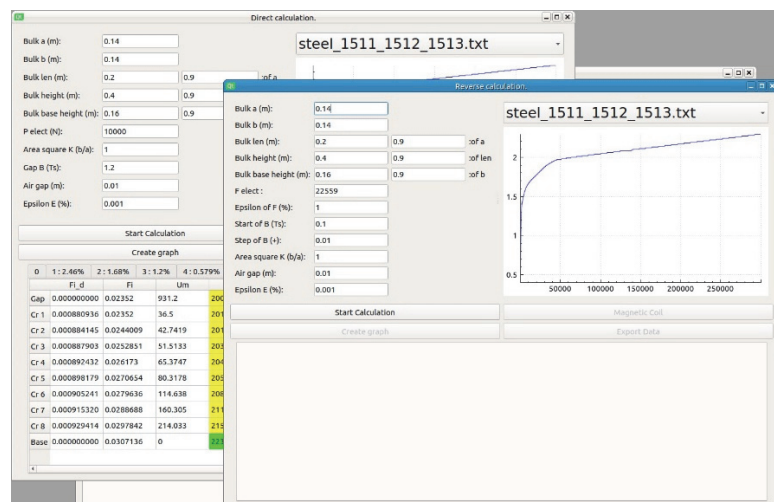


Նկ.5. Խնդրի լուծման արդյունքների պատուհանը



Նկ.6. Համակարգում լուծվող խնդիրները և դրանց հերթականությունը

Այսպիսով, եթե նախագծողը լուծել է էլեկտրամագնիսական կախոցի ուղիղ խնդիրը, ապա այդ դեպքում «անցում դեպի հաջորդ խնդիր» կոճակը բացում է հակադարձ խնդրի լուծման համար նախատեսված պատուհանը (նկ. 7): Նոր պատուհանում մուտքային պարամետրերի համար նախատեսված դաշտերում ավտոմատ կերպով լրացվում են ուղիղ խնդրի ժամանակ մուտքագրված և լուծման ընթացքում ստացված համապատասխան արժեքները, ինչը նախագծողին ընձեռում է հերթական խնդրի լուծման գործընթացը սկսելու հնարավորություն:



Նկ.7. Հակադարձ խնդրի լուծման պատուհանը

Ավտոմատացված համակարգի միջուկը: Էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծման բոլոր չորս խնդիրները (նկ.6) լուծվում են ավտոմատացված համակարգի երրորդ շերտում՝ միջուկում: Այստեղ էլեկտրամագնիսական կախոցը և դրա բաղադրիչները ներկայացված են համապատասխան դասերի միջոցով: Նկարագրենք էլեկտրամագնիսական կախոցի նախագծման թվարկած չորս խնդիրների լուծման մեթոդները:

Ուղիղ խնդրի լուծման նպատակը էլեկտրամագնիսական կախոցի մագնիսաշարժ ուժի այն արժեքի որոշումն է, որն անհրաժեշտ է գնացքի առաջադրված զանգվածը առաջադրված բացակի չափով օդում պահելու համար: Խնդրի լուծման համար անհրաժեշտ է առաջադրել հետևյալ մուտքային տվյալները՝ վագոնի կշիռը, մեկ վագոնի կախոցների քանակը, էլեկտրամագնիսական կախոցի աշխատանքային օդային բացակի չափը, էլեկտրամագնիսական կախոցի չափերը, մագնիսալարի պողպատի տեսակը և հաշվարկների անհրաժեշտ ճշգրտությունը:

Ավտոմատացված համակարգում պարամետրերը ներկայացվում են mag_suspension դասին պատկանող անդամների տեսքով [9], որի նպատակն է

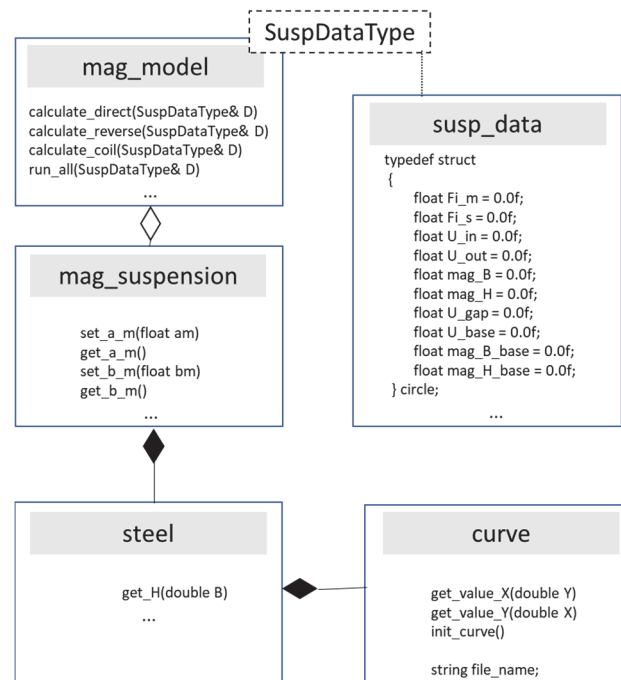
նկ.1-ում պատկերված կախոցի և դրան համապատասխան պարամետրերի ներկայացումը: `mag_suspension` դասի օբյեկտը `mag_model` դասի անդամ է և օգտագործվում է համապատասխան հաշվարկներ կատարելու համար: `mag_model` դասը էլեկտրամագնիսական կախոցի [5]-ում նկարագրված մաթեմատիկական մոդելի իրականացումն է C++ ծրագրավորման լեզվի միջոցով [9-11]: Այդ դասի հիմնական նպատակը համապատասխան ինտերֆեյսի ապահովումն է էլեկտրամագնիսական կախոցի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծման, ինչպես նաև կառավարման փաթույթի հաշվարկման համար: Թվարկված խնդիրների լուծման ընթացքում ստացված բոլոր արդյունքները պահպանվում են `susp_data` տիպի ստրուկտուրայում, որի օբյեկտը փոխանցվում է `mag_model`-ին համապատասխան ինտերֆեյսի միջոցով՝ `calculate_direct` [9, 10]: Այսպիսով, ուղիղ խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է `mag_suspension` դասի և `susp_data` ստրուկտուրայի օբյեկտները փոխանցել `mag_model` դասի օբյեկտին այդ դասի համապատասխան ինտերֆեյսի միջոցով, իսկ հաշվարկների ավարտից հետո արդյունքները հասանելի կլինեն փոխանցված `susp_data` ստրուկտուրայի օբյեկտի միջոցով:

Հակադարձ խնդիրը ուղիղ խնդրի լուծման ստուգողական հաշվարկն է [5], և ուղիղ խնդրի լուծման ընթացքում ստացված արդյունքները հակադարձ խնդրի մուտքային տվյալներն են: Այս դեպքում մագնիսաշարժ ուժի հաշվարկված արժեքի հիման վրա որոշվում է էլեկտրամագնիսական ուժի այն արժեքը, որը կարող է զարգացնել նախագծվող կախոցը [5]: Ավտոմատացված համակարգի միջոցով հակադարձ խնդիրը լուծելու համար հարկավոր է ուղիղ խնդիրը լուծելուց հետո կանչել `mag_model` դասի համապատասխան ֆունկցիան՝ `calculate_reverse`, փոխանցելով `susp_data` ստրուկտուրայի այն օբյեկտը, որը փոխանցվել էր ուղիղ խնդիրը լուծելու համար, քանի որ այդ `susp_data` օբյեկտի այն դաշտերի արժեքները, որոնք անհրաժեշտ են հակադարձ խնդրի լուծման համար, նախապես հաշվարկվել և սկզբնարժեքավորվել են ուղիղ խնդրի լուծման ժամանակ:

Հակադարձ խնդրի լուծման ընթացքում ստացված արժեքները նույնպես պահպանվում են `susp_data` ստրուկտուրայի օբյեկտի համապատասխան դաշտերում և այդ օբյեկտի միջոցով փոխանցվում կառավարման փաթույթը հաշվարկելու [6] համար նախատեսված `mag_model` դասի `calculate_coil` ֆունկցիային ու կառավարման փաթույթի հաշվարկի ավարտից հետո հասանելի են դառնում նույն `susp_data` ստրուկտուրայի օբյեկտի միջոցով:

Նշենք, որ `susp_data` ստրուկտուրան շատ կարևոր նշանակություն ունի վերը նշված խնդիրների լուծման ժամանակ՝ անհրաժեշտ մուտքային տվյալների և խնդրի լուծման արդյունքների պահպանման համար: Այս խնդիրների լուծման համար ավտոմատացված համակարգի համապատասխան հատվածն ունի նկ. 8-ում պատկերված կառուցվածքը [9, 12]: Այստեղ `steel` դասը ներկայացնում է մագնի-

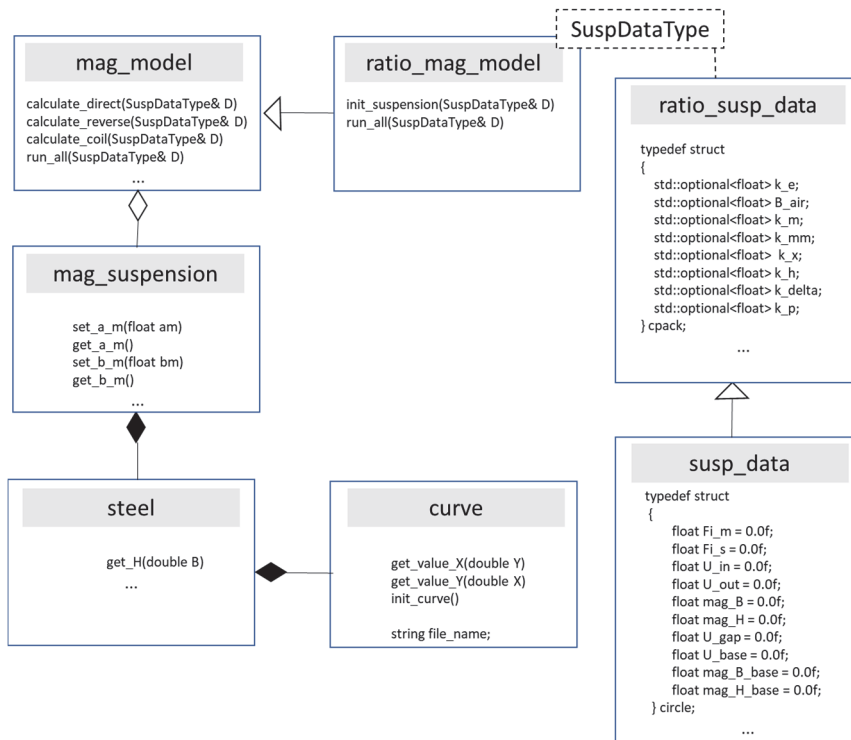
սալարի համար ընտրված պողպատի տեսակը: Նշենք, որ նախագծվող համակարգի համար ստեղծվել է պողպատի տեսակների գրադարան, և կախոցը նախագծող ինժեներին հնարավորություն է տրվում ընտրել համապատասխան տեսակը: Իր հերթին steel դասն ընդգրկում է curve դասի օբյեկտ, որն օգտագործվում է մագնիսալարի համար ընտրված պողպատի մագնիսական կորը ներկայացնող մագնիսական լարվածության և մագնիսական ինդուկցիայի արժեքները որոշելու համար:



Նկ. 8. Էլեկտրամագնիսական կախոցի ուղիղ և հակադարձ խնդիրների լուծման համար նախատեսված ավտոմատացված համակարգի հատվածի կառուցվածքի UML ներկայացումը

Հերթական խնդիրը, որը կարող է լուծել մշակված ծրագրային գործիքը, էլեկտրամագնիսական կախոցի օպտիմալ բնութագրերի որոշումն է [10]: Այս նպատակով mag_model դասն ընդարձակվել է նոր` ratio_mag_model ժառանգ դասի սահմանման միջոցով, որը հնարավորություն է տալիս հատուկ եղանակով սկզբնարժեքավորել mag_suspension դասի օբյեկտը: Այն սկզբնարժեքավորվում է էլեկտրամագնիսական կախոցի չափերի միջև հարաբերությունները նկարագրող գործակիցների միջոցով [7], որոնց արժեքները ընտրվում են նախապես սահմանված տիրույթից և պահպանվում susp_data դասի ժառանգ ratio_susp_data դասի միջոցով: ratio_susp_data դասի օբյեկտը փոխանցվում է ratio_mag_model դասին` էլեկտրա-

մագնիսական կախոցի ուղիղ, հակադարձ խնդիրների լուծման և կառավարման փաթույթի հաշվարկները կատարելու համար, որպեսզի հաջորդ փուլում լուծվի օպտիմալացման խնդիրը (նկ. 9) [9-13]:



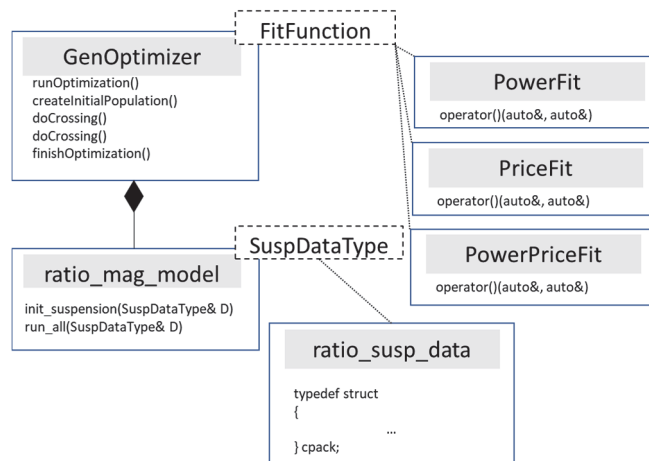
Նկ.9. ratio_mag_model և ratio_susp_data դասերի կառուցվածքի UML ներկայացումը

Որպես օպտիմալացման խնդրի լուծման ալգորիթմ օգտագործվում է գենետիկ ալգորիթմը [7], իսկ դրա իրականացումը ավտոմատացված համակարգում ներկայացնելու համար սահմանվում է GenOptimizer դասը, որն իրականացնում է գենետիկ ալգորիթմի բոլոր անհրաժեշտ գործառնությունները՝ նախնական պոպուլյացիայի ստեղծումը, խաչասերումը, մուտացիան, առանձնյակների ընտրումն և տեղաբաշխումն արդեն գոյություն ունեցող պոպուլյացիայում [9-11]: Այս դասը օգտագործողին հնարավորություն է տալիս հանձնարարել նախընտրած նպատակային ֆունկցիան, սկզբնական պոպուլյացիայի մեծությունը և յուրաքանչյուր իտերացիայի ընթացքում խաչասերվող առանձնյակների քանակը:

Նպատակային ֆունկցիաները օգտագործողի կողմից սահմանված հատուկ դասեր են (ֆունկտոր) [12]: Ավտոմատացված համակարգում լուծվում են սահմանված երեք նպատակային ֆունկցիաներով օպտիմալացման խնդիրներ՝ կախոցի նվազագույն էլեկտրական հզորության որոշում, կախոցի ակտիվ նյութերի (պղինձ և

պողպատ) նվազագույն գնի որոշում և նվազագույն միջին քառակուսային շեղումներն ապահովող բազմաչափանիշային օպտիմալացման խնդրի լուծում:

Օպտիմալացման գործընթացը սկսելու համար ստեղծվել է GenOptimizer դասի օբյեկտ՝ փոխանցելով նպատակային ֆունկցիայի տիպը: Այդ օբյեկտի միջոցով կանչվում է runOptimization համապատասխան անդամ-ֆունկցիան: Օպտիմալացման ալգորիթմի առավելագույն իտերացիաների քանակը [10] պատկերված օրինակում հազար է, սա GenOptimizer դասում սահմանված նախնական արժեքն է, որը օգտագործողը կարող է փոխել համապատասխան ինտերֆեյսի միջոցով: Օպտիմալացման գործընթացը ավարտելուց հետո ծրագիրը վերջնական արդյունքն արտածում է էկրանին կամ գրում է հանձնարարված ֆայլում: Այստեղ պահպանված արդյունքները կարող են օգտագործվել որպես սկզբնական պոպուլյացիայի արժեքներ՝ հերթական օպտիմալացման գործընթացի ժամանակ: GenOptimizer դաս պոպուլյացիայի կառուցվածքը ներկայացված է նկ. 10-ում [10, 12-16]:



Նկ. 10. Ավտոմատացված համակարգի GenOptimizer դասի կառուցվածքի UML ներկայացումը

Եզրակացություն: Այսպիսով, մշակվել է ավտոմատացված համակարգ, որը հնարավորություն է տալիս նախագծել «մագլև» գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցը, լուծել նախագծման ուղիղ և հակադարձ խնդիրները, որոշել կառավարման փաթույթի պարամետրերի արժեքները, ինչպես նաև հաշվարկել կախոցի բնութագրերի օպտիմալ արժեքները՝ հանձնարարված նպատակային ֆունկցիաների համար:

Աշխատանքը կատարվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Ավտոմատացում և էլեկտրամագնիսական համակարգեր» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Hyung-Woo Lee, Ki-Chan Kim, Ju Lee.** Review of Maglev Train Technologies Korea// IEEE Transactions on Magnetics.- 2006. - Vol. 42, N 7.-P. 1917-1925.
2. **Kim, Mooncheol Won** Design and Control of Levitation and Guidance Systems for a Semi-High-Speed Maglev Train // Journal of Electrical Engineering and Technology.- 2017. - N 12(1). – P. 117-125.
3. **Գրիգորյան Ա.Խ., Ավետիսյան Ա.Գ., Շահբազյան Ա.Ա., Ապետյան Ն.Ց.** Էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա. – 2016. - Հ. LXIX, N 3. - էջ 315-325:
4. **Գրիգորյան Ա.Խ., Ապետյան Ն.Ց.** Մագնիսական բարձով արագընթաց գնացքներ // Գիտության աշխարհում. - 2017. - 1.- էջ 58-62:
5. **Գրիգորյան Ա.Խ., Զուխաջյան Ն.Հ.** «Մազլև» գնացքի կախոցի էլեկտրամագնիսական համակարգի մագնիսական շղթայի փոխարինման սխեման և մաթեմատիկական մոդելը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա. – 2019. - Հ. LXXII, N 1. – էջ 47-56:
6. **Чухаджян Н.Г.** К расчету обмотки управления электромагнитного подвеса поезда МАГЛЕВ // Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции ИНФО-2020. -2020. - С. 316-319.
7. **Чухаджян Н.Г., Григорян А.Х., Аветисян А.Г.** Оптимальное проектирование электромагнитного подвеса поезда “МАГЛЕВ” с применением генетического алгоритма // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. -2022. –N2.- С. 23-32.
8. **Գրիգորյան Ա.Խ., Զուխաջյան Ն.Հ.** «Մազլև» գնացքի էլեկտրամագնիսական կախոցի կառավարման փաթեթի ՄՇՈՒ-ի բնութագրական արժեքների որոշումը //ՀՃԱ Լրաբեր. – 2019. - Հ. 16, հ. 2. – էջ 167-171:
9. **Hiller S.F., Gerald J.L.** Introduction to operations research. – New York: McGraw-Hill, 2014. -1050 p.
10. **Jensen A. Paul, Jonathan B.** Operations Research: Models and Methods. - John Wiley & Sons, Australia, 2002. - 675 p.
11. **Hakanen Jussi, Allmendinger Richard.** Multiobjective optimization and decision making in engineering sciences // Optimization and Engineering. – 2021. -22. –P.1031-1037.
12. **Meyers S.** Effective Modern C++. - O'Reilly Media, Inc., 2014. - 319p.
13. **Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J.** Design Patterns: Elements of reusable object-oriented software. - Addison-Wesley, Nov. 2000. – 416p.
14. **Marius Bancila.** Modern C++ Programming Cookbook. - Packt Publishing, 2020. -430p.
15. **Fedor Pikus.** Hands-on Desing Patterns with C++. - Packt Publishing, 2019. -512p.
16. **Robert Martin.** The Clean Coder: A Code of Conduct for Professional Programmers. – Pearson, 2011. -210p.

VMS Software Inc. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.07.2023:

Н.Г. ЧУХАДЖЯН

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ПОЕЗДА “МАГЛЕВ”**

Обсуждены особенности проектирования электромагнитного подвеса поезда “Маглев”. Разработан инструмент программного обеспечения, позволяющий автоматизировать процесс проектирования электромагнитного подвеса с заданием значений входных параметров и определением значений характерных величин подвеса. В разработанной автоматизированной системе решаются прямая и обратная задачи проектирования электромагнитного подвеса, определяются параметры обмотки управления, оптимизируются значения характерных величин. Представлены структурные схемы и классы системы.

Ключевые слова: поезд “Маглев”, электромагнитный подвес, программный инструмент, автоматизированная система проектирования, математическая модель, структурная схема, целевая функция.

N.H. CHUKHAJYAN

**AN AUTOMATED SYSTEM FOR DESIGNING THE
ELECTROMAGNETIC SUSPENSION OF THE TRAIN “MAGLEV”**

The design features of the electromagnetic suspension of the Maglev train are discussed. A software tool has been developed, allowing to automate the process of designing the electro-magnetic suspension by setting the values of the input parameters and determining the values of the characteristic quantities of the suspension. In the developed automated system, the direct and reverse tasks of designing an electromagnetic suspension are solved, the parameters of the control winding are determined, the values of the characteristic quantities are optimized. Block diagrams schemes and system classes are presented.

Keywords: “Maglev” train, electromagnetic suspension, software tool, automated design system, mathematical model, block diagram, objective function.

DOI: 10.53297/0002306X-2023.v76.3-377

Մ.Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ¹, Ա.Ս. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ²ՄԻ ԷՋ ԱՐՑԱԽԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ ԿԱԶՄԱՎՈՐՄԱՆ
ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Արցախի պետական համալսարանի հիմնադրումը կարևոր իրադարձություն էր նորանկախ Լեռնային Ղարաբաղի Հանրապետության մշակութային կյանքում: Արցախի ազգաբնակչության համար դժվարին ժամանակամիջոցում պետական համալսարանի հիմնադրման գործընթացի պատմագիտական վերախմաստավորումը պահանջված է հիշարժան հորեղանի արժեքավորելու, պատեհաժամորեն քաղաքական համարձակության դրսևորման և ճկուն որոշումների ընդունման ոչ հեռու անցյալի փորձը տարածելու, ստեղծված իրավիճակում Արցախի Հանրապետության բարձրագույն կրթության համակարգի առաջ ծառացած խնդիրների լուծմանը արդյունավետ մոտեցումներ գտնելու առումներով:

Սույն ուսումնասիրության նպատակն է արխիվային փաստաթղթերի և սկզբնաղբյուրային նշանակություն ձեռք բերած աշխատությունների վերլուծության հիման վրա ամբողջացնել Արցախի պետական համալսարանի հիմնադրման գործընթացը և վերախմաստավորել դրա պատմական նշանակությունը Արցախի Հանրապետության ազգային (հայեցի) գիտակրթական համակարգի տեսանկյունից:

Այդ նպատակին հասնելու համար առաջադրել ու լուծել ենք հետևյալ հետազոտական խնդիրները. նախ ցույց ենք տվել Հայկական ԽՍՀ հետ վերամիավորվելու ԼՂԻՄ ազգաբնակչության ծավալած ժողովրդավարական պայքարի համար ՀԽՍՀ բարձրագույն կրթական համակարգում Կիրովականի (Վանաձորի) պետական մանկավարժական ինստիտուտի (ԿՄԻ) Ստեփանակերտի և ՀԽՍՀ այլ պետական բուհերի մասնաճյուղերի (բաժանմունքների) ներառման ինչպես կրթական, այնպես էլ քաղաքական ու բարոյահոգեբանական նշանակությունը, ՀԽՍՀ բուհական համակարգում Ստեփանակերտի պետական մանկավարժական նախկին ինստիտուտի ժամանակավոր փակումից հետո ստեղծված ԿՄԻ Ստեփանակերտի բաժանմունքի և ՀՊՀՀ Ստեփանակերտի մասնաճյուղի ընդգրկումը դիտարկել

¹ 1994 թ. ավարտել է ԼՂՀ պատմաբանասիրական ֆակուլտետի «Պատմություն և օտար լեզու», բաժինը: 1999-2023 թթ. ԱրՊՀ պատմության (այնուհետև՝ պատմության և քաղաքագիտության) ամբիոնի դասախոս, 2008-ից՝ դոցենտի պաշտոնակատար է:

² 1990 թ. հունվարին նշանակվել է Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի հեռակա ֆակուլտետի Ստեփանակերտի նորաստեղծ ընդհանուր տեխնիկական բաժանմունքի տնօրեն, 1991 թ. ԵրՊԻ Ստեփանակերտի մասնաճյուղի տնօրեն, 1992-ին՝ Լեռնային Ղարաբաղի (հետագայում՝ Արցախի) պետական համալսարանի առաջին ռեկտոր: 1994 թվականի հուլիսից աշխատել է ԱրՊՀ ֆիզիկայի ամբիոնի դոցենտ, 2004 թվականի հոկտեմբերից՝ ամբիոնի վարիչ: ՀՀ մանկավարժահոգեբանական գիտությունների ակադեմիայի իսկական անդամ-ակադեմիկոս է, ԼՂՀ և ՀՀ մի շարք համալսարանների պատվավոր դոկտոր ու պրոֆեսոր:

ենք ԼՂԻՄ հիմնարկ-ձեռնարկությունների՝ ՀԽՍՀ համապատասխան կառույցների մեջ ներառելու հեռանկարային քաղաքականության համատեքստում, վերախմաստավորել ենք ՀԽՍՀ-ի մեր հայրենակիցների գործունե աջակցությամբ խորհրդային ամբողջատիրության պայմաններում օրենսդրական ու բյուրոկրատական խոչընդոտները հաջողությամբ հաղթահարելու նախադեպը, Արցախի պետական համալսարանի հիմնադրումը կարևորել ենք որպես ԼՂՀ պետականության խորհրդանիշներից և որակավորված կադրերի դարբնոցներից մեկը:

Առանցքային բառեր. կրթություն, համալսարան, հանրապետություն, հորեյան, Արցախի Հանրապետություն, Հայաստան, հիմնադրում, պաշտոնական բացում, Շարժում:

Ինչպես յուրաքանչյուր պետության, այնպես էլ նորանկախ Լեռնային Ղարաբաղի (Արցախի) Հանրապետության մշակութային կյանքում համալսարանի հիմնադրումը կարևոր իրադարձություն էր, որի առանձնահատկություններից հատկանշելի է, որ այն ինքնին հնարավոր էր դարձել Արցախի ազգաբնակչության համար դժվարին ժամանակներում, Ադրբեջանի ռազմական ագրեսիային դիմագրավելու պայմաններում: Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի հիմնադրման գործընթացի պատմագիտական վերախմաստավորումն արդիական է ու պահանջված՝ հիշարժան հորեյանի արժևորման, պատեհաժամորեն քաղաքական համարձակություն դրսևորելու և ճկուն որոշումներ ընդունելու, ոչ հեռու անցյալի փորձը տարածելու, ստեղծված իրավիճակում Արցախի Հանրապետության բարձրագույն կրթության համակարգի առաջ ծառացած խնդիրների լուծմանը արդյունավետ մոտեցումներ գտնելու, նախադեպային օրինակը վերախմաստավորելու նկատառումներով:

Սույն ուսումնասիրության նպատակն է արխիվային փաստաթղթերի և սկզբնաղբյուրային նշանակություն ձեռք բերած աշխատությունների հիման վրա ամբողջացնել Լեռնային Ղարաբաղի (1996 թվականից՝ Արցախի) պետական համալսարանի հիմնադրման գործընթացը և վերախմաստավորել դրա պատմական նշանակությունը Արցախի Հանրապետության գիտակրթական համակարգի տեսանկյունից: Այդ նպատակին հասնելու համար առաջադրել ենք հետևյալ հետազոտական խնդիրները.

ա) ցույց տալ Հայկական ԽՍՀ հետ վերամիավորվելու ԼՂԻՄ ազգաբնակչության ծավալած ժողովրդավարական պայքարի համար ՀԽՍՀ բարձրագույն կրթական համակարգում ՀԽՍՀ պետական բուհերի Ստեփանակերտի բաժանմունքի ու մասնաճյուղի միավորմամբ ստեղծված Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի ներառման ինչպես կրթական, այնպես էլ քաղաքական ու բարոյահոգեբանական նշանակությունը,

բ) ՀԽՍՀ բուհական համակարգում ՀԽՍՀ պետական բուհերի Ստեփանակերտի բաժանմունքի ու մասնաճյուղի միավորմամբ ստեղծված Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի ընդգրկման գործընթացը դիտարկել ԼՂԻՄ

հիմնարկ-ձեռնարկությունների՝ ՀԽՍՀ համապատասխան կառույցների մեջ ինտեգրելու հեռանկարային քաղաքականության համատեքստում,

զ) վերաիմաստավորել ՀԽՍՀ մեր հայրենակիցների գործուն անակցությամբ խորհրդային ամբողջատիրության պայմաններում օրենսդրական ու բյուրոկրատական խոչընդոտները հաջողությամբ հաղթահարելու նախադեպը,

դ) Արցախի պետական համալսարանի հիմնադրումը կարևորել որպես ԼՂՀ պետականության խորհրդանիշներից մեկի և որակավորված կադրերի դարբնոցի կայացման նպատակասլաց գործընթաց:

Արցախի պետական համալսարանի հիմնադրման գործընթացին անդրադարձել են ինչպես բուհական համակարգի ներկայացուցիչները, այնպես էլ Արցախի պատմության նորագույն շրջանը ներկայացնող պատմաբանները: Խնդրո առարկա թեմայի ուսումնասիրվածության աստիճանի ներկայացումը, կարծում ենք, հնարավորություն կընձեռի ոչ միայն պատկերացում կազմել դրա պատմագրության մասին, այլ նաև որոշել սույն տողերի հեղինակների տեղը հիմնախնդրի գիտական ուսումնասիրության գործում:

Արցախի պետական համալսարանի ստեղծման պատմությունը հանգամանալից ուսումնասիրել և սկզբնաղբյուրների ու իրավակազմակերպական փաստաթղթերի հիման վրա առանձին գրքերում³ ու գիտական հոդվածներում⁴ հանգամանալից շարադրել է 1993-1994 թթ. ռեկտոր Արպատ Ավանեսյանը: ԱրՊՀ ստեղծման, ներառյալ կայացման գործընթացի ուսումնասիրությունները նա հետագայում շարունակել է այլ մասնագետների հեղինակակցությամբ⁵:

³ **Ավանեսյան Ա. Ս.**, ԼՂՀ (ԱրՊՀ). հայկական երկրորդ պետական համալսարան(1990-1994 թթ.), Ստ., «Դիզակ պլյուս», 2008, **նույնի**՝ Արցախի բուհական համակարգը և գիտակրթական ներուժը, Ստ., «Դիզակ պլյուս», 2008, 13-83, **նույնի**՝ Արցախի պետական համալսարան. ժամանակի պահանջով՝ ժամանակին համաքայլ: Արխիվային նյութերի ժողովածու, Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան (Պոլիտեխնիկ). Եր., ճարտարագետ, 2011, **նույնի**՝ Արցախի գիտակրթական համակարգ. կայացման ընթացք, զարգացման միտումներ, Ստ., «Դիզակ պլյուս», 2011, էջ 35-110, **նույնի**՝ Արցախի բուհական համակարգը. Ստ., «Դիզակ պլյուս», 2013, էջ 63-175, **Аванесян А. С.**, Арцахский государственный университет: по требованию времени – в ногу со временем (Сборник архивных документов), Е.б., Арт-принт, 2011 և այլն:

⁴ **Ավանեսյան Ա. Ս.**, Ամարասից մինչև Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարան: Մանկավարժահոգեբանական գիտությունների ակադեմիա, գիտական հոդվածների ժողովածու, IV, Եր., 2005, էջ 33-45, **նույնի**, Համալսարանական կրթության ձևավորումը Արցախում և նրա հնարավոր ներառումը միջազգային կրթական համակարգում: Մանկավարժության և հոգեբանության հիմնախնդիրներ, միջբուհական կոնսորցիումի գիտական հանդես, 1 (4), Եր., 2009, էջ 22-23, **նույնի**՝ Համալսարանական կրթության գործընթացը Արցախում, «Մեսրոպ Մաշտոց» համալսարանի «Լրատու», N 1, Ստ., 2007, էջ 3-27 և այլն:

⁵ **Ավանեսյան Ա. Ս., Հարությունյան Գ. Հ.**, Միջնակարգ մասնագիտական և բարձրագույն կրթության համակարգը ԼՂԻՄ-ում և Լեռնային Ղարաբաղի Հանրապետությունում (1923-2018թթ.), Հատոր 4-րդ: Ստ., «Դիզակ պլյուս», 2019, էջ 343-382, **Аванесян А.С., Арутюнян Г.А.**, Система среднего профессионального

Արցախում բարձրագույն կրթության հիմնախնդիրներին անդրադարձել են նաև Հայաստանի բուհական համակարգի այն առաջատար մասնագետները⁶, ովքեր ծանրակշիռ ավանդ են ունեցել Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի ստեղծման գործում:

Խնդրո առարկա թեմային, մանավանդ Արցախի ազատագրական պայքարին, ԱրՊՀ մասնակցության հիմնահարցերին անդրադարձել է նաև պատմաբան Մհեր Հարությունյանը⁷:

Համալսարանի պատմության որոշ հարցեր լուսաբանված են հուշագրական⁸, կենսագրական և այլ բնույթի հրատարակություններում:

Համալսարանի հիմնադրման և կայացման գործընթացը լուսաբանվել է նաև պարբերական մամուլում⁹, որտեղ հանդիպում են ուշագրավ գնահատականներ, որոնք կարևոր են սույն ուսումնասիրության աղբյուրագիտական ատաղձը հարստացնելու տեսանկյունից:

Արցախյան շարժման վերագարթոնքի շնորհիվ համաժողովրդական պայքարի նվաճումներից կարելի է հատկանշել պետականության ստեղծումը, ինչը ռազմաքաղաքական մարտահրավերները հաղթահարելու նախադրյալներ է ստեղծել: Արցախում պետական շինարարության առանցքային ուղղություններից մեկը՝ կրթության զարգացման գրավականը, իրավամբ համարվել է Հայաստանի կրթական համակարգի մեջ այն ինտեգրելը: Բնչպես հայտնի է՝ Արցախյան շարժման պահանջներից էր հայ բնակչության հայեցի կրթության ապահովումը,

и высшего образования в НКАО и Нагорно-Карабахской Республике (1923-2018 гг.). Том четвертый. Ст., Дизак плюс, 2021, с. 317-354:

⁶ **Սուլեյմանյան Ս.**, Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի ստեղծման ակունքներում, Եր., 1998, **Էդոյան Ռ.**, Բարձրագույն կրթության խնդիրներն Արցախում 1988-1992 թթ., «Լրաբեր հասարակական գիտությունների», N 3, 2009, էջ 285-289:

⁷ **Բալայան Վ.Ռ., Բալայան Ռ.Ա., Հարությունյան Մ.Ա.**, Հուշամատյան սխրանքի, Ստ., «Իզակ պլուս», 2002, Անկախության նվիրյալները: ԱրՊՀ ուսանողները Արցախյան ազգային ազատագրական պայքարի տարիներին, Բալայան Վ.Ռ., Բալայան Ռ.Ա., Հարությունյան Մ.Ա., Եր., «Զանգակ-97», 2009, **Հարությունյան Մ.**, ԱրՊՀ-ն Արցախյան ազգային-ազատագրական պայքարի տարիներին, ԱրՊՀ գիտական ընթերցումներ/Զեկուցումների հիմնադրույթներ, 20-21 ապրիլի 2009թ., Եր., «Զանգակ-97», 2009, էջ 6-8, **Խույնի**՝ Արցախի մայր բուհի ուսանողությունը հայրենիքի պաշտպանության դիրքերում, «Խաղաղ Կովկասը տարածաշրջանի զարգացման գործին», ԼՂՀ և ՀՀ անկախությանը նվիրված միջազգային գիտաժողովի նյութեր, Եր., 2011, էջ 235-244, ԱրՊՀ մասնակցությունը Արցախյան ազգային-ազատագրական պայքարին/Բալայան Ռ., Հարությունյան Մ., Մարումյան Ն., Առստամյան Ա., Ստ., 2012, **Հարությունյան Մ.**, Վերստին ազգային ազատագրական նորօրյա պայքարում Արցախի մայր բուհի դերի մասին, Արցախի պետական համալսարանի «Գիտական տեղեկագիր», Պրակ 1, Ստ., ԱրՊՀ հրատ, 2015, էջ 244-249 նն:

⁸ **Բարսեղյան Մ. Ե.**, Ճակատագրի խաչուղիներում, Ստեփանակերտ: «Դիզակ պլուս» հրատ., 2017. - 264 էջ (համալսարանի մասին էջ 204-240):

⁹ Արպատ Ավանեսյան. «Գիտական պոտենցիալ ունենք» (հարցազրույց), «Արցախ» (ԼՂՀ Գերագույն խորհրդի պաշտոնաթերթ), N 82, 29 դեկտեմբերի 1992 թ., էջ 3: Սողոմոնյան Ն., Բուհի տարեդարձը, «Արցախ», N 112, 13 հոկտեմբերի 1993 թ.: Հարությունյան Ա., Պատմություն, թե՛ օտար լեզու (Կեսարիներ՝ կեսարին, Աստծունը՝ Աստծուն), «Խաչեն» (Հասարակական-քաղաքական թերթ), N 1, 13 հունվարի 1994 թ., էջ 3: Արպատ Ավանեսյան. Մեր երազանքների նորածին մանուկը, «ԼՂՊ համալսարան» (Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի պաշտոնաթերթ), N 1, հունվար 1994 թ., էջ 2:

ինչը, ըստ էության, հնարավոր էր միայն ինքնավար մարզը Հայկական ԽՍՀ կազմ վերադարձնելու շնորհիվ:

Այս համատեքստում առաջանցիկ նշանակություն էր ստացել բարձրագույն կրթության ներառումը ՀԽՍՀ համապատասխան համակարգում, քանի որ ոլորտի զարգացման և Արցախյան շարժման նպատակներից մեկի իրականացման այլ արդյունավետ ճանապարհ չկար, մանավանդ որ Ադրբեջանական ԽՍՀ ծայրահեղական իշխանությունները ամեն կերպ ստեղծում էին արհեստական խոչընդոտներ:

Գաղափարաքաղաքական պայքարի ու տեղեկատվական-քարոզչական պատերազմի պայմաններում ԼՂԻՄ միակ բուհի՝ Ստեփանակերտի պետական մանկավարժական ինստիտուտի պրոֆեսորադասախոսական և ուսանողական անձնակազմերը կարևոր առաքելություն ստանձնեցին՝ իրենց մտավոր ու կազմակերպչական կարողությունները ծառայեցնելով համաժողովրդական շարժման ծավալմանը: Ժողովրդավարական շարժումը ռեպրեսիվ մեթոդներով ճնշելու մոլուցքով տարված՝ ադրբեջանցի կուսակցական ու խորհրդային պաշտոնյաները թիրախավորեցին մեր լավագույն մտավորականներին և ուսանողներին, ընդհանրապես՝ հայրենասեր մտավորականների դարբնոցը դարձած Ստեփանակերտի պետական մանկավարժական ինստիտուտը, որը լուծարվեց միութենական կառավարության՝ ԽՍՀՄ մինիստրների խորհրդի 1988 թ. հոկտեմբերի 14-ի որոշմամբ¹⁰:

Որոշման տեքստում կարծես թե արտահայտված էր Արցախի հայ բնակչության այն իդեալ, որ ինստիտուտի հետ փակվում էր նաև ԼՂԻՄ-ում Ադրբեջանական ԽՍՀ ժողովրդական կրթության մինիստրության բուհական համակարգի գոյության և Խորհրդային Միության երկու սուբյեկտներից մեկի գաղութատիրական հավակնությունները խորհրդանշող Սովետական Ադրբեջանի 60-ամյա արյունոտ ներկայության վերջին էջը: Թերևս այս տրամաբանության համատեքստում կարելի է հասկանալ ինստիտուտը ժամանակավորապես փակելու Կոմկուսի Լեոնային Ղարաբաղի մարզկոմի և ժողովրդական պատգամավորների մարզային խորհրդի գործկոմի առաջարկությունը, որը, ինչպես ակներև է խնդրո առարկա որոշման տեքստից, համաձայնեցված էր Ադրբեջանի Կոմկուսի կենտկոմի և ԽՍՀՄ ժողովրդական կրթության պետական կոմիտեի առաջարկության հետ:

«Ժամանակավորապես» փակելու դրույթը կարող էր նրբանկատություն լինել՝ ազգամիջյան լարված մթնոլորտում ավելորդ կրքեր չբորբոքելու նկատառումով, կամ թելադրված լինել հակամարտության չհանգուցալուծվածության պայմաններում ապագայի անորոշությամբ, այդուհանդերձ, այն պայքարի ելած ժողովրդի համար ինքնավար մարզում հանգամանքների անբարեհաջող դասավո-

¹⁰ *Ավանեսյան Ա.Ս.*, Արցախի գիտակրթական համակարգ. կայացման ընթացք, զարգացման միտումներ, էջ 34:

րության դեպքում, Ադրբեջանական ԽՍՀ ժողովրդական կրթության մինիստրության բուհական համակարգի վերակենդանացման իրական վտանգ էր ներկայացնում:

Բավական անհանգստացնող էին նաև այդ որոշման կիրարկման հետևանքներն այն փաստի հաշվառմամբ, որ Ստեփանակերտի պետական մանկավարժական ինստիտուտի ադրբեջանական բաժինը տեղափոխվեց Շուշի, այսինքն մնաց խռովահույզ Արցախում, իսկ ահա հայկական բաժինը՝ Վանաձորի Հովհ. Թումանյանի անվան մանկավարժական ինստիտուտում, այսինքն դուրս բերվեց մարզի տարածքից, երբ ազատագրական պայքարի գաղափարաքաղաքական փուլում այնքան պահանջված էին երիտասարդ ու գիտակից մարդիկ: Ճիշտ է, կարճատև հյուրընկալության ընթացքում արցախցի ուսանողներն ու դասախոսները նոր ուժ հաղորդեցին Վանաձորի մեր հայրենակիցների ժողովրդավարական շարժմանը և երկրաշարժի պատճառով վերադարձան Ստեփանակերտ, սակայն ապրեցին խոր ցավ ու հոգեբանական ցնցումներ: Այսպիսով, ձախողվեց Արցախյան շարժման կիզակետից արցախյան մտավորականության մի զգալի մասին հեռացնելու ադրբեջանական ֆունկցիոներների մտահղացման իրագործումը:

Ստեփանակերտում բարձրագույն կրթությունը կազմակերպելն անհնար էր դարձնում ԽՍՀՄ բարձրագույն դպրոցի այն ժամանակ գործող կանոնադրությունը, որը հնարամտորեն շրջանցելու ջանքերը պսակվեցին Ստեփանակերտում Վանաձորի մանկավարժական ինստիտուտի բաժանմունքի ստեղծմամբ: Հայկական ԽՍՀ ժողովրդական կրթության մինիստրության կոլեգիան 1989 թ. մարտի 13-ի որոշմամբ ստանձնում էր Ստեփանակերտում նախկին ինստիտուտի առկա և հեռակա ուսուցմամբ ուսանողական քանակակազմի կրթությունը շարունակելու և դասախոսական կազմի աշխատանքը կազմակերպելու գործը¹¹: Այդ և հետագա քայլերը Հայկական ԽՍՀ բարձրագույն կրթության համակարգում ներառելու միջոցով վերակենդանացրին Արցախի կազմալուծված բարձրագույն կրթությունը: Վանաձորի մանկավարժական ինստիտուտի Ստեփանակերտի բաժանմունք ստեղծելու մասին Հայկական ԽՍՀ ժողովրդական կրթության կոլեգիայի որոշման և Հայկական ԽՍՀ ժողովրդական կրթության մինիստրության 1989 թ. մարտի 15-ի հրամանի¹² տեքստերից ակնհայտ է, որ այդ հույժ կարևոր ձեռնարկի իրականացմանը լծվում էին ոչ միայն Վանաձորի մանկավարժական ինստիտուտի, այլև Հայաստանի առաջատար այլ բուհերի անձնակազմերը, որոնք նյութական, մեթոդական և այլ կարգի անշահախնդիր օգնություն էին ցուցաբերում Հայկական ԽՍՀ բարձրագույն դպրոցի՝ Ստեփանակերտում առաջնեկը հիմնադրելու և կայացնելու գործին: Նշված հիմնադիր փաստաթղթերի ուսումնասիրությունը հանգեցնում է

¹¹ Հայաստանի ազգային արխիվ, ֆ. 1171, ց. 1, գ. 4, թթ. 41-43:

¹² Հայաստանի ազգային արխիվ, ֆ. 1171, ց. 1, գ. 30, թթ. 184-1863:

այն եզրակացությանը, որ, սկսած բաժանմունքի կառուցվածքից, աշխատակիցների հաստիքացուցակից, ֆակուլտետների, ամբիոնների և մյուս ստորաբաժանումների ցանկից, 1989 թ. պահանջվող ֆինանսավորման համար նախահաշվի նախագծից, վերջացրած բաժանմունքի վարչակազմի և բարձրագույն դպրոցի կանոնակարգով նախատեսված մյուս աշխատակիցների ընտրության, գիտական խորհրդի կազմի ձևավորման, ուսումնալաբորատոր սարքավորումների, կաբինետների, գույքի, գրականության և անհրաժեշտ այլ պարագաների Ստեփանակերտ տեղափոխման կազմակերպմամբ, իրականացվում էր Հայկական ԽՍՀ բուհական համակարգի առանցքային գործիչների ջանքերով ու գործուն մասնակցությամբ: Այդ առաքելության կատարման գործում անուրանալի դեր է կատարել Հայկական ԽՍՀ ժողովրդական կրթության կոլեգիայի նախագահ, մինիստր Ս. Հախումյանը, որի քաղաքացիական ու հայրենասիրական խիզախումը ստեղծված իրավիճակում կանխորոշել է նախաձեռնության հաջողությունը: Իսկ այդ որոշումները կյանքի են կոչվել Վանաձորի մանկավարժական ինստիտուտի ռեկտոր Ռ. Եղոյանի եռանդուն ջանքերի ու կազմակերպչական հմտությունների շնորհիվ: Հայկական ԽՍՀ բարձրագույն ուսումնական հաստատության նորամուտը Արցախի խորհրդանշում է մայր Հայաստանի արժանի զավակների աջակցությամբ ցանկացած դժվարություն հաղթահարելու և կարևոր նախաձեռնությունները կյանքի կոչելու մեր ժողովրդի անսասան կամքը, որը հիանալի կերպով դրսևորվեց նաև 1991-1994 թթ. Հայրենական պատերազմում անարգ թշնամու ագրեսիային միահամուռ դիմագրավելու ժամանակ:

Նույն ոգով ինքնավար մարզում Հայկական ԽՍՀ մյուս բուհերի բաժանմունքների ստեղծման ԼՂՀՄ ղեկավարների նախաձախնդրությունը տվեց իր պտուղները. բազում դժվարությունների հաղթահարմամբ 1990 թ. հունվարի 4-ին ստեղծվեց Երևանի պոլիտեխնիկական ինստիտուտի հեռակա ֆակուլտետի ընդհանուր տեխնիկական բաժանմունքը¹³, որին Հայաստանի Հանրապետության բարձրագույն կրթության և գիտության պետական կոմիտեի կոլեգիայի որոշմամբ 1991 թ. նոյեմբերի 4-ին շնորհվեց ՀՊՃՀ մասնաճյուղի կարգավիճակ¹⁴: Ստեփանակերտում Հայաստանի բարձրագույն դպրոցի երկրորդ բաժանմունքի հիմնադրումը հնարավոր եղավ ՀՊՃՀ ռեկտոր Յու. Սարգսյանի, Հայաստանի ժողովրդական կրթության և ինքնավար մարզի հայրենասեր ղեկավարների հետևողական ջանքերի շնորհիվ:

Արցախում պետական շինարարության գործընթացը, ռազմաճակատում նվաճված հաջողությունները բարենպաստ պայմաններ ստեղծեցին համալսա-

¹³ *Ավանեսյան Ա.Ս.*, Արցախի պետական համալսարան. ժամանակի պահանջով՝ ժամանակին համաքայլ: Արխիվային նյութերի ժողովածու, էջ 20:

¹⁴ Նույն տեղում, էջ 29:

րան հիմնադրելու համար, ինչը պետականության խորհրդանիշներից մեկն է: Հասունացած հարցը ՀՀ կառավարությունում քննարկելուց հետո 1992 թ. հոկտեմբերի 13-ի որոշմամբ ստեղծվեց Լեոնային Ղարաբաղի պետական համալսարանը (1996-ից՝ Արցախի պետական համալսարան), ինչպես այդ փաստաթղթի մեջ է ձևակերպված՝ այն «ընդգրկելով ՀՀ բարձրագույն կրթության և գիտության նախարարության համակարգում»¹⁵: Այդ կարևոր իրադարձությանը նախորդել է Արցախի Հանրապետության ղեկավարության և կրթության բնագավառի երախտավորների պաշտոնական գրագրությունը ՀՀ կառավարության համապատասխան ոլորտի պատասխանատուների հետ, որոնք ըմբռնումով մոտեցան և ըստ ամենայնի նպաստեցին համալսարանի հիմնադրման գաղափարի կենսագործմանը: Այս գործում նշանակալի էր համալսարանի առաջին ռեկտոր Արաատ Ավանեսյանի ներդրումը՝ հավակնոտ գաղափարի կենսագործման ուղղությամբ հետևողական ջանքերի ու կազմակերպչական հմտությունների համադրմամբ: Անշուշտ, նրա նախաձեռնությունները հաջողությամբ պսակվեցին բարձրագույն կրթության և գիտության գործի այլ նվիրյալների, մեր ժողովրդի լավագույն մտավորականների միահամուռ ջանքերի շնորհիվ: Նրանցից հատկանշելի են ՀՀ վարչապետ Խ.Մ. Հարությունյանը, ՀՀ ԲԿ նախարարի առաջին տեղակալ Լ.Պ. Ղարիբջանյանը, ՀՀ ԿԳ նախարար Վ.Ց. Գնունին, ՀՀ ԲԿ նախարար Վ.Ս. Հարությունյանը, Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի ռեկտոր Յու.Լ. Սարգսյանը, Կիրովականի պետական մանկավարժական ինստիտուտի ռեկտոր Ռ.Հ. Եղոյանը, ՀՀ ԳԱԱ պրեզիդենտ Ֆ.Տ. Սարգսյանը, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս-քարտուղար Վ.Բ. Բարխուդարյանը, ԵրՊՀ ռեկտոր Ն.Հ. Առաքելյանը, ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ տնօրեն Ռ.Մ.Մարտիրոսյանը, ՀՊՃՀ պրոռեկտորներ Ս.Հ. Սուլեյմանյանը, Կ.Հ. Սարգսյանը, ՀՊՃՀ ռեկտոր Ռ.Զ. Մարտիրոսյանը, ԵրՃՇՊԻ ռեկտոր Ա.Գ. Բեգլարյանը, ՀՊԳԻ ռեկտոր Մ.Ա. Գյուլխասյանը, ՀՊԳԻ ուսումնական մասի վարիչ Յ.Ս. Գալստյանը, ՀՊԱՀ ռեկտոր Ա.Պ.Թարվերդյանը, ՀՊԳԻ ճարտարագիտության ֆակուլտետի ղեկան Ա.Զ. Աղասարյանը, ՀԳԻ վիճակագրության ամբիոնի դոցենտ Ա.Հ. Սամվելյանը, ՀՊԳԻ ՀՏԿ ամբիոնի վարիչ Ս.Մ. Ղազարյանը, ԵրԱԱԻ ռեկտոր Մ.Ս. Մելքոնյանը, ԵրԱԱԻ ԿԿՄ ամբիոնի վարիչ Ռ.Ա. Բեգլարյանը, ԵրԺՏԻ ռեկտոր Լ.Ե.Վարդանյանը, ԵրԺՏԻ ռեկտոր Թ. Ա. Նալչաջյանը, ԵրԺՏԻ ռեկտոր Գ.Ե. Կիրակոսյանը, ԵրԺՏԻ պրոռեկտոր Յու.Մ. Սուվարյանը, ԵրԺՏԻ դոցենտ Ռ.Ս. Ավանեսյանը, ԵԺՊՏԻ ամբիոնի վարիչ Ս.Ա. Մելքոնյանը, ԵրԲԻ ռեկտոր Վ.Պ. Հակոբյանը, ԵրԲԻ ամբիոնի վարիչ Դ.Ն. Խուդավերդյանը, ԵրԲԻ ամբիոնի վարիչ Ա.Վ. Ազնավուրյանը, ԵրԲԻ ամբիոնի վարիչ Ս.Հ.Սիսակյանը, ԵՊՀ ՈԻՄ վարիչ Ա.Հ. Սիմոնյանը, ԵՊՀ լաբորատորիայի վարիչ Օ.Ա. Քամայանը, Վանաձորի ՊՄԻ ռեկտոր Գ.Կ. Խաչատրյանը, Խ. Աբովյանի անվան ԵՊՄԻ ռեկտոր Ա.Ս. Ղու-

¹⁵ Նույն տեղում, էջ 33:

կասյանը, նույն համալսարանի պրոֆեսորներ Ս.Հ. Արզումանյանը, Ա.Վ. Աբրահամյանը, դոցենտ Մ.Ս. Մելքունյանը, Վ. Բոյունովի անվան ԵՕԼՊԻ ռեկտորներ Ի.Մ. Առաքելյանը և Ս.Տ. Զոյանը, ՀՀ ԳԱԱ մեխանիկայի ինստիտուտի տնօրեն Լ.Ա. Աղալովյանը, գրող-հրապարակախոս Զ.Հ.Բալայանը, Հայաստանի Ամերիկյան համալսարանի վարչական տնօրեն, պրոռեկտոր Մ.Քուշաքչյանը, ՀՀ ԿԳՆ ԲԿՀԲՄ ուսումնական կենտրոնի տնօրեն Ս.Ն. Հայրապետյանը, Հայաստանի պետական պատկերասրահի մասնաճյուղի տնօրեն Շ.Մ. Մկրտչյանը, ԼՂՀ ԳԽ նախագահի պաշտոնակատար Գ.Մ. Պետրոսյանը, ԼՂՀ ՊՊԿ նախագահ Ռ.Ս.Քոչարյանը:

Շուշիի ազատագրման տարեդարձի առթիվ Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի պաշտոնական բացման հանդիսավոր արարողությունը 1993 թ. մայիսի 10-ին վերածվեց իսկական տոնախմբության: ՀՀ բարձրագույն կրթության ոլորտի ներկայացուցչական պատվիրակությունը, Արցախի Հանրապետության ղեկավարությունը կարևորեցին համալսարանի հիմնադրումը և նորաստեղծ բուհի առաքելությունը գիտամանկավարժական կադրերի պատրաստման, պետականության ամրապնդման գործում¹⁶:

«Վերջին տարիների հոգևոր ժայթքման արդյունքն էր Երևանի պոլիտեխնիկ ինստիտուտի մասնաճյուղի և Բաքվի կողմից լուծարված մանկավարժական ինստիտուտի բաժանմունքի բացումը Ստեփանակերտում, -գրել է ԼՂՊՀ մանկավարժության և մարմնակրթության ֆակուլտետի ղեկան, մանկավարժական գիտությունների թեկնածու, դոցենտ Գրիշա Հարությունյանը: - Ու, վերջապես, այս երկու բուհերի հիման վրա ԼՂ պետական համալսարանի ծնունդը<...>»¹⁷:

Համալսարանի մասին ԼՂՀ կառավարության հիմնարար որոշումները տարընթերցումների ու կամայական մեկնաբանությունների տեղ չեն թողնում, ուստի նպատակահարմար ենք գտնում վկայակոչել այդպիսի մի քանի փաստաթուղթ: ԼՂՀ պետական համալսարանի ժամանակավոր օրենսդրության մեջ, որը հաստատվել է ԼՂՀ ՊՊԿ 1994 թ. փետրվարի 2-ի N 375 որոշմամբ, հստակ արձանագրված է. «Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանը(հապավումը՝ ԼՂՊՀ, այսուհետև համալսարան) հիմնադրվել է ԼՂՀ կառավարության առաջարկությամբ, Հայաստանի Հանրապետության կառավարության «Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարան ստեղծելու մասին» 1992 թ. հոկտեմբերի 13-ի թիվ 509 որոշմամբ»¹⁸:

¹⁶ «ԼՂՊՀ համալսարան», N 1, 1994 թ.:

¹⁷ **Հարությունյան Գ.**, Ամարասից մինչև Համալսարան, «ԼՂՊ համալսարան, N 1, հունվար 1994 թ., էջ 3:

¹⁸ Տես Արցախի Հանրապետության կառավարության արձանագրային բաժնի արխիվ, Լեռնային Ղարաբաղի Հանրապետության Պաշտպանության պետական կոմիտեի որոշումներ (գործ 1994 թ. NN 355-432 որոշումների), Օրենսդրություն (ժամանակավոր) Լեռնային Ղարաբաղի պետական համալսարանի, թ. 1:

2020 թ. աղբբեջանաթուրքական ագրեսիվ պատերազմի հետևանքով ստեղծված իրավիճակում հատկապես կարևոր նշանակություն է ստանում Արցախի Հանրապետությունում պետական համալսարան հիմնադրելու հրամանի 2-րդ կետը՝ իբրև օրինակ ԱրՊՀ-ն ՀՀ կրթական համակարգում ընդգրկելու մասին:

Իր արգասաբեր գործունեության արդեն երեք տասնամյակը թևակոխած Արցախի պետական համալսարանը պատվով էր կատարում որակյալ մասնագետների պատրաստման, գիտամանկավարժական կադրերի կայացման, գիտական հետազոտությունների արդյունքների հանրահռչակման առաքելությունը: Համալսարանի դասախոսները և ուսանողները ակտիվորեն մասնակցել են Արցախյան շարժման քաղաքական փուլին, Արցախյան պատերազմի 1991-1994 թթ., 2016 թ. և 2020 թ. ռազմարշավներին¹⁹, շատերը նաև իրենց կյանքի գնով են մոտեցրել հաղթանակը, ամրապնդել երկրի պաշտպանունակությունը, քաղաքացիական ու հայրենասիրական պարտքի գիտակցման ու կատարման օրինակ ծառայել բազում երիտասարդների համար:

Ստեփանակերտում Արցախի պետական համալսարանի պաշտոնական բացման 30-ամյա տարելիցը լավ առիթ է մեր պետականության կարևորագույն նվաճումը արժևորելու, ինչպես առհասարակ ՀՀ բուհերի և մասնավորապես ՀԱՊՀ-ի ներդրումը գնահատելու, այնպես էլ գալիք սերունդներին Հայրենիքը անմնացորդ սիրելու և աննկուն կերպով պաշտպանելու մշտնջենական պատգամը փոխանցելու համար:

¹⁹ Տե՛ս «Ձեզ բացակա չենք դնի», Վ.Ռ. Բալայան, Ռ.Ա. Բալայան, Մ.Ա. Հարությունյան, Զ.Գ. Սառաջյան, Լ.Ս. Մարգարյան, Ստ., Արցախի պետական համալսարան, 2021:

М.А. АРУТЮНЯН, А.С. АВАНЕСЯН

**СТРАНИЦА ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ АРЦАХСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Создание Арцахского государственного университета стало важным событием в культурной жизни новонезависимой Нагорно-Карабахской Республики. В трудный для народа Арцаха период требуется историографическое переосмысление процесса основания государственного университета с точки зрения оценки памятного юбилея, проявления в нужное время политического мужества и распространения опыта недалёкого прошлого, принятия гибких решений, поиска эффективных подходов к решению задач, стоящих перед системой высшего образования Республики Арцах в сложившейся ситуации.

Целью данного исследования является уточнение процесса основания Арцахского государственного университета на основе архивных документов и произведений, приобретших первоисточниковое значение, и переосмысление его исторического значения для научной и образовательной системы Республики Арцах.

Для достижения поставленной цели были предложены и решены следующие исследовательские задачи: показано воспитательное, политическое и нравственное значение включения бывшего Степанакертского государственного педагогического института в систему высшего образования Армянской ССР для демократической борьбы населения Нагорного Карабаха за воссоединение с Армянской ССР; включение бывшего Степанакертского государственного педагогического института в систему университетов Армянской ССР рассмотрено в контексте долгосрочной политики интеграции учреждений-предприятий Нагорного Карабаха в соответствующие структуры Армянской ССР; переопределен прецедент успешного преодоления законодательных и бюрократических препятствий в условиях советского тоталитаризма при активной поддержке наших соотечественников из Армянской ССР; отмечено создание Арцахского государственного университета как одного из символов государственности НКР и одной из кузниц квалифицированных кадров.

Ключевые слова: образование, университет, республика, юбилей, Республика Арцах, Армения, основание, официальное открытие, Движение.

M.A. HARUTYUNYAN, A.S. AVANESYAN

**A PAGE FROM THE HISTORY OF THE FORMATION OF ARTSAKH
STATE UNIVERSITY**

The creation of Artsakh State University became an important event in the cultural life of the newly independent Nagorno-Karabakh Republic. In a difficult period for the people of Artsakh, a historiographic reinterpretation of the process of founding a state university is required in terms of assessing the memorable anniversary, showing political courage at the right time and disseminating the experience of the recent past, making flexible decisions, and finding effective approaches to solving the problems facing the higher educational system of Republic of Artsakh in current situation.

The purpose of this study is to clarify the founding process of the Artsakh State University on the basis of archival documents and works that have acquired primary source value, and to reinterpret its historical significance for the scientific and educational system of Republic of Artsakh.

To achieve this goal, the following research tasks were proposed and solved. Firstly, the educational, political and moral significance of the inclusion of the former Stepanakert State Pedagogical Institute in the higher educational system of the Armenian SSR for the democratic struggle of the population of Nagorno-Karabakh for reunification with the Armenian SSR is shown, State Pedagogical Institute into the system of universities of the Armenian SSR in the context of a long-term policy of integrating institutions-enterprises of Nagorno-Karabakh into the corresponding structures of the Armenian SSR, overcoming legislative and bureaucratic obstacles under the conditions of Soviet totalitarianism with the active support of our compatriots from the Armenian SSR, we noted the creation of the Artsakh State University as one of the symbols of the statehood of the NKR and one of the forges of qualified personnel.

Keywords: education, university, republic, anniversary, Republic of Artsakh, Armenia, foundation, official opening, movement.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲԱԲՍՅԱՆ Ա.Ա., ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ Բ.Ս., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Գ.Լ.

ԵՐԿՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՅԻՈՆ ՎԻՃԱԿԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՄԲ..... 257

ԻՍՈՒՆՑ Հ.Ա., ԴԱՎԹՅԱՆ Ա.Հ., ԱՎԱԳՅԱՆ Վ.Շ.

ԱՐԱԳԱՑՈՒՑՉԻ ԵԼՔԱՅԻՆ ՊԱՏՈՒՀԱՆԻ, ԱՌԱՋԻՆ ԴԱՄԻ ՏԻՏԱՆԵ
ՄԵՏԱՂԱԹԱՂԱՆԹԻ ԴԵՖՈՐՄԱՅՎԱԾ ՎԻՃԱԿԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ 269

ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ Ս.Գ., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ն.Վ., ԴԱՇՏՈՅԱՆ Հ.Ռ.,

ՄԱՍՈՒՆՑՅԱՆ Մ.Է.

ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՏԵԽՆԱԾԻՆ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄՆԵՐԻՑ ՈՍԿՈՒ ԵՎ ԱՐԾԱԹԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 279

ԱՎԱԳՅԱՆ Հ.Վ.

ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՄԲ ՊՂՆՁԻ ՕՔՍԻԴԱՅՎԱԾ ՀԱՆՔԱՆՑՈՒԹԻ
ՍՈՒԼՖԻԴԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ..... 286

ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ Գ.Ա., ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Վ.Գ.

ԲԱՑԱՀԱՆՔԵՐՈՒՄ ՊԱՅԹԵՑՄԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ
ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌ ԼԵՌԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ՄՇԱԿՄԱՆ
ԴԵՊՔՈՒՄ 298

ԱՂԱՔԵԿՅԱՆ Դ.Վ., ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Գ., ԹՈՎՍԱՍՅԱՆ Ռ.Ա.,

ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Ա.Ա.

ԱՐԵՎԱՅԻՆ ԿԱՑԱՆՆԵՐԻ ԴԻՄԿՐԵՏ ՌԵԺԻՄՈՒՄ ԱՐԵՎԻՆ ՀԵՏԵՎՈՂ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 311

ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ Ս.Ա., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Հ.Վ., ՊԱՊՅԱՆ Է.Տ., ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Է.Ե.,

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ռ.Ն.

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՔԱՅԼԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՄԲ ՄՈՒՏՔ/ԵԼՔ ԿՐԿՆԻՉԻ
ՏԵՂԵԿԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ 318

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Հ.Տ.

ԱՐԱԳԱԳՈՐԾ ՔԱՌԱՓՈՒԼ ՏԱԿՏԱՎՈՐՄԱՄԲ ՀԱՂՈՐԴԻՉ
ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ ՏՎՅԱԼԻ ԵՎ ՏԱԿՏԱՅԻՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՀԱՄԱԶԱՅՆԵՑՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԸ..... 325

ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Վ.Ս.

ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՇԵՂՈՒՄՆԵՐԻ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ՄՆՄԱՆ
ՎԻՃԱԿԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՇՂԹԱՆԵՐՈՒՄ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ
ՎԱՏԹԱՐԱՑՈՒՄԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՑՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՆՎԱԶԵՑՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԸ..... 333

ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Մ.Տ.

ԾՐԱ-Ի ՎՐԱ ԻՐԱԿԱՆԱՅՎԱԾ YOLO ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄ. ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ..... 343

ՄԱՀԱԿՅԱՆ Վ.Ա.

ՆԵՐՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՂԲՅՈՒՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ
ԵՂԱՆԱԿ..... 351

ԲԱՂԻՑԱՆ Ա.Հ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Հ.Է., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Ա.	
ՀՐԹԻՌՆԵՐԻ ԱՐՏԱՔԻՆ ՉԳԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԹՎԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՅԵՐԸ Մ-210Ֆ ՀՐԹԻՌԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ.....	358
ՉՈՒԽԱԶՅԱՆ Ն.Հ.	
«ՄԱԳԼԵՎ» ԳՆԱՅՔԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԿԱԽՈՑԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ.....	365
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Մ.Ա., ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ Ա.Ս.	
ՄԻ ԷԶ ԱՐՅԱԽԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ ԿԱԶՄԱՎՈՐՄԱՆ ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆԻՑ	377

СОДЕРЖАНИЕ

БАБАЯН А.А., БАЛАСАНИЯН Б.С., ПЕТРОСЯН Г.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ КОМПЬЮТЕРНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ	257
ИСУНЦ Г.А., ДАВТЯН А.А., АВАГЯН В.Ш. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВОЙ ФОЛЫГИ ПЕРВОГО КЛАССА ВЫХОДНОГО ОКНА УСКОРИТЕЛЯ	269
АЙРАПЕТАН С.Г., МАРТИРОСЯН Н.В., ДАШТОЯН А.Р., САСУНЦЯН М.Э. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ИЗ РУДНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	279
АВАГЯН А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУЛЬФИДИРОВАНИЯ ОКИСЛЕННОЙ МЕДНОЙ РУДЫ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ.....	286
АГАРОНЯН Г.А., ОВСЕПЯН В.Г. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕОДНОРОДНЫХ ГОРНЫХ МАССИВОВ НА КАРЬЕРЕ	298
АГАБЕКЯН Д.В., АЙВАЗЯН А.Г., ТОВМАСЯН Р.А., ВАРДАНИЯН А.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ В ДИСКРЕТНОМ РЕЖИМЕ СОЛНЕЧНЫХ СТАНЦИЙ.....	311
ГУКАСЯН С.А., ВАРДАНИЯН А.В., ПАПЯН Э.Т., КАРАПЕТАН Э.Е., ХАЧАТРЯН Р.Н. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ СПЕЦИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИИ О БУФЕРЕ ВВОДА/ВЫВОДА С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕМЕННОГО ШАГА	318
ГРИГОРЯН А.Т. МЕТОД СОГЛАСОВАНИЯ ДАННЫХ С ТАКТОВЫМ СИГНАЛОМ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧЕТВЕРТЬЧАСТОТНЫХ ПЕРЕДАТЧИКАХ	325
ГЕВОРГЯН В.С. УХУДШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АНАЛИЗАТОРА ПИТАНИЯ ИЗ-ЗА СЛУЧАЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ И СПОСОБЫ ПОДАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЕГО РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ	333
ГРИГОРЯН М.Т. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛЕЙ YOLO, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА DPU: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	343
СААКЯН В.А. СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА	351
БАГИЯН А.А., САРГСЯН О.Э., ГРИГОРЯН А.А. ВОПРОСЫ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ РАКЕТ НА ПРИМЕРЕ РАКЕТЫ М-21ОФ	358
ЧУХАДЖЯН Н.Г. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА ПОЕЗДА “МАГЛЕВ”	365
АРУТЮНЯН М.А., АВАНЕСЯН А.С. СТРАНИЦА ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ АРЦАХСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА.....	377

CONTENTS

BABAYAN A.A., BALASANYAN B.S., PETROSYAN G.L. INVESTIGATING THE STRESS-STRAIN STATE OF OBTAINING BIMETALLIC PIPES THROUGH COMPUTER MODELING.....	257
ISUNTS H.A., DAVTYAN A.H., AVAGYAN V.SH. DEFORMED STATE'S SIMULATION OF THE FIRST-GRADE TITANIUM FOIL OF THE ACCELERATOR OUTPUT WINDOW	269
AYRAPETYAN S.G., MARTIROSYAN N.W., DASHTOYAN H.R., SASUNTSYAN M.E. INVESTIGATING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING GOLD AND SILVER FROM TECHNOGENIC ORE FORMATIONS.....	279
AVAGYAN H.V. STUDYING THE PROCESS OF SULFIDING AN OXIDIZED COPPER ORE BY THE METHOD OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION.....	286
AHARONYAN G.A., HOVSEPYAN V.G. IMPROVING THE BLASTING TECHNOLOGY AT THE DEVELOPMENT OF NON- HOMOGENEOUS ROCKS IN AN OPEN PIT	298
AGHABEKYAN D.V., AYVAZYAN A.G., TOVMASYAN R.A., VARDANYAN A.A. DEVELOPING A SUN TRACKING SYSTEM IN THE DISCRETE MODE OF SOLAR STATIONS	311
GHUKASYAN S.A., VARDANYAN H.V., PAPYAN E.T., KARAPETYAN E.Y., KHACHATRYAN R.N. IBIS MODEL ACCURACY IMPROVEMENT USING VARIABLE STEP	318
GRIGORYAN H.T. THE DATA TO CLOCK ALIGNMENT METHOD IN QUARTER-RATE HIGH SPEED TRANSMITTERS.....	325
GEVORGYAN V.S. POWER SNIFFER PERFORMANCE DEGRADATION AND WAYS TO SUPPRESS THE DEVIATION OF THE WORKING PARAMETERS DUE TO RANDOM TECHNOLOGICAL VARIATIONS	333
GRIGORYAN M.T. INVESTIGATING THE PERFORMANCE INDICES OF YOLO MODELS IMPLEMENTED ON A DPU: A COMPARATIVE ANALYSIS	343
SAHAKYAN V.A. AN ACCURACY IMPROVEMENT TECHNIQUE FOR ON-CHIP CURRENT SOURCES.....	351
BAGHIYAN A.H., SARGSYAN H.E., GRIGORYAN A.A. THE ACCURACY OF NUMERICAL SIMULATION OF HUROKET EXTERNAL BALLISTICS BASED ON THE EXAMPLE OF THE M-21OF ROCKET	358
CHUKHAJYAN N.H. AN AUTOMATED SYSTEM FOR DESIGNING THE ELECTROMAGNETIC SUSPENSION OF THE TRAIN "MAGLEV"	365
HARUTYUNYAN M.A., AVANESYAN A.S. A PAGE FROM THE HISTORY OF THE FORMATION OF ARTSAKH STATE UNIVERSITY	377

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

- 1 Աղաբեկյան Դավիթ Վալերի տ.գ.թ., ճարտարագետ, «Զայլինքս Արմենիա»
կենտրոն
Էլ. հասցե - davagha@mail.ru
- 2 Այվազյան Արմեն Գագիկի հայցորդ, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - agagarm@gmail.com
- 3 Ահարոնյան Գագիկ Անուշավանի տ.գ.թ., հորատապայթեցման աշխատանքների
ղեկավար, «Ա.Ա.Բ. ՊՐՈՅԵԿՏ», ՓԲԸ
Էլ. հասցե - gagik.aharonyan@mail.ru
- 4 Ավազյան Հասմիկ Վարդանի ասիստենտ, ՀԱՊՀ Կապանի մասնաճյուղ
Էլ. հասցե - halidzor@yandex.ru
- 5 Ավազյան Վարդան Շավարշի տ.գ.դ., «ՔԵՆՂԼ» ՍՀԻ-ում տնօրենի գլխավոր
խորհրդատու,
Էլ. հասցե - avagyan@asls.candle.am
- 6 Ավանեսյան Արպատ Սանդճանի տ.գ.թ., ՀՀ մանկավարժահոգեբանական գիտութ-
յունների ակադեմիայի իսկական անդամ-ակադե-
միկոս
- 7 Բաբայան Արման Արտակի ասպիրանտ, «Մեխանիկա և մեքենագիտություն»
ամբիոն, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - babayan.arman.545@gmail.com
- 8 Բալասանյան Բորիս Սերգեյի տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեքենաշինության տեխնոլո-
գիաների և ավտոմատացման» ամբիոն, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - bbalasanyan@yahoo.com
- 9 Բաղիյան Արամ Հայկազի «ԻՄՊՐՈՎԻԶ» ՍՊԸ, գիտական խորհրդատու, տ.գ.թ.,
Էլ. հասցե - abaghiyan@improvismail.com
- 10 Գրիգորյան Արեգ Ավետիքի ԵՊՀ ֆիզիկայի ֆակուլտետի մագիստրատուրայի
առաջին կուրսի ուսանող
Էլ. հասցե - argrig2001@gmail.com
- 11 Գրիգորյան Հայկ Տարոնի «Մինոպսիս Արմենիա» ՓԲԸ, ինտեգրալ սխեմա-
ների նախագծող ինժեներ, ՀԱՊՀ ասպիրանտ,
Էլ. հասցե - htgrigo@gmail.com
- 12 Գրիգորյան Մուշեղ Տարոնի ՀԱՊՀ ասպիրանտ, վերահսկիչ ճարտարագետ,
«Synopsys Armenia» ՓԲԸ
Էլ. հասցե - mushegg@synopsys.com
- 13 Գևորգյան Վազգեն Սեմյոնի Առաջին կարգի ավագ ճարտարագետ,
«Մինոպսիս Արմենիա», ասպիրանտ, ՀԱՊՀ
Էլ. հասցե - vazg.gevorgyan@gmail.com
- 14 Դաշտոյան Հարություն Ռոբերտի տ.գ.թ., դոցենտ, Միկրո- և նանոէլեկտրոնիկա
բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի
ավագ գիտաշխատող, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - dashtoyan.h@gmail.com

- 15** Դավթյան Ալբերտ Հարությունի «ՔԵՆԴԼ» ՍՀԻ-ում ՎՏԼ ղեկավարի ժ/պ, ասպիրանտ «Փնջերի ֆիզիկա և արագացուցչային տեխնիկա» մասնագիտությամբ, «ՔԵՆԴԼ» ՍՀԻ,
Էլ. հասցե - albertvacuum@gmail.com
- 16** Թովմասյան Ռաֆայել Արմենի ասպիրանտ, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - r.tovmasyan@polytechnic.am
- 17** Իսունց Համլետ Արայիկի «ՀԱՊՀ»-ում «Մեքենաշինության տեխնոլոգիա և ավտոմատացում» ամբիոնի դասախոս, «ՔԵՆԴԼ» ՍՀԻ-ում ԳԱՍ ղեկավարի ժ/պ, ասպիրանտ «Փնջերի ֆիզիկա և արագացուցչային տեխնիկա» մասնագիտությամբ, «ՔԵՆԴԼ» ՍՀԻ,
Էլ. հասցե - hisunts@yahoo.com
- 18** Խաչատրյան Ռաֆայել Նորայրի ՀԱՊՀ մագիստրատուրայի ուսանող, մասնագիտացված առաջին կարգի ծրագրավորող ճարտարագետ , «Քուես Գլոբալ Արմենիա» ՍՊԸ,
Էլ. հասցե - raf.khachatryan4@gmail.com
- 19** Կարապետյան Էրիկ Երվանդի ՀԱՊՀ բակալվրի ուսանող, մասնագիտացված ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման առաջին կարգի ճարտարագետ «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ
Էլ. հասցե - kerik@synopsys.com
- 20** Հայրապետյան Սերոբ Գառնիկի տ.գ.թ., Միկրո- և նանոէլեկտրոնիկա բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի գիտաշխատող, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - sergar55@mail.ru
- 21** Հարությունյան Մհեր Ալեքսանդրի պ.գ.թ., դոցենտ
Էլ. հասցե - hamher@yandex.ru
- 22** Հովսեփյան Վահե Գևորգի ԶՊԿ, Լեռնատեխնիկական ծառայության լեռնային պլանավորման և նախագծման բաժնի պլանավորման ինժեներ
Էլ. հասցե - vahehova@bk.ru
- 23** Ղուկասյան Սևակ Արշակի ՀԱՊՀ «Միկրոէլեկտրոնային սխեմաներ և համակարգեր» ամբիոնի դասախոս, տ.գ.թ., անալոգային և խառը ազդանշանային համակարգերի սխեմատեխնիկական նախագծման ավագ կարգի ճարտարագետ «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ,
Էլ. հասցե - ghukasya@synopsys.com
- 24** Մարտիրոսյան Նորայր Վիլյամսի տ.գ.թ., դոցենտ, Միկրո- և նանոէլեկտրոնիկա բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի ղեկավար, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - marnorw@yahoo.com

- 25** Չուխաջյան Նարեկ Հայկի ճարտարագետ-հետազոտող, ավագ ծրագրավորող, VMS Software Inc,
Էլ. հասցե - n.chukhajyan@gmail.com
- 26** Պապյան Էդգար Տիգրանի ՀԱՊՀ մագիստրոս, անալոգային և խառը ազդանշանային սխեմաների ֆիզիկական նախագծման I կարգի ճարտարագետ,
«Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ
Էլ. հասցե - papyan@synopsys.com
- 27** Պետրոսյան Գևորգ Լյուդվիգի տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեխանիկա և մեքենագիտություն» ամբիոն, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - gevorglp@seua.am
- 28** Սահակյան Վահան Ապրեսի հայցորդ, ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ
տ.գ.թ, դոցենտ, «Ընդհանուր քիմիայի և քիմիական պրոցեսների» ամբիոն, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - msasuntsyan@mail.ru
- 30** Սարգսյան Հովհաննես Էլֆիկի «ԻՄՊՐՈՎԻԶ» ՍՊԸ, տնօրեն, ֆ.մ.գ.թ.,
Էլ. հասցե - hovo@improvismail.com
- 31** Վարդանյան Արման Արամի տ.գ.թ., դոցենտ, ՀԱՊՀ,
Էլ. հասցե - vardanyan_arman@hotmail.com
- 32** Վարդանյան Հայկ Վարդանի ՀԱՊՀ ասպիրանտ, անալոգային և խառը ազդանշանային համակարգերի սխեմատիկական նախագծման ավագ կարգի ճարտարագետ, «Սինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ
Էլ. հասցե - vardanya@synopsys.com

СПИСОК АВТОРОВ

- | | | |
|----|-----------------------------|--|
| 1 | Авагян Асмик Вардановна | ассистент, Капанский филиал НПУА,
Эл. почта - halidzor@yandex.ru |
| 2 | Авагян Вардан Шаваршевич | д.т.н., главный советник директора ИСИ «КЕНДЛ»,
Эл. почта - avagyan@asls.candle.am |
| 3 | Аванесян Арпат Санджанович | к.т.н., дейст. член пед-психол. академии РА |
| 4 | Агабекян Давит Валерьевич | к.т.н., инженер, Центр “Xilinx Armenia”,
Эл. почта - davagha@mail.ru |
| 5 | Агаронян Гагик Анушаванович | к.т.н., начальник буровзрывных работ, ЗАО “А.А.Б. ПРОЕКТ”,
Эл. почта - gagik.aharonyan@mail.ru |
| 6 | Айвазян Армен Гагикович | соискатель, НПУА,
Эл. почта - agagarm@gmail.com |
| 7 | Айрапетян Сероб Гарникович | к.т.н., научный сотрудник базовой научно-исследовательской лаборатории Микро- и наноэлектроники, НПУА,
Эл. почта - sergar55@mail.ru |
| 8 | Арутюнян Мгер Александрович | к.ист.н., доцент
Эл. почта – hamher@yandex.ru |
| 9 | Бабаян Арман Артакович | аспирант, кафедра “Механика и машиноведение”, НПУА,
Эл. почта - babayan.arman.545@gmail.com |
| 10 | Багиян Арам Айказович | к.т.н., ООО «ИМПРОВИЗ», научный консультант,
Эл. почта - abaghiyan@improvismail.com |
| 11 | Баласанян Борис Сергеевич | д.т.н., профессор, зав.кафедрой
“Машиностроительные технологии и автоматизация”, НПУА,
Эл. почта - bbalasanyan@yahoo.com |
| 12 | Варданын Айк Варданович | аспирант, НПУА; ст. инженер схмотехнического конструирования аналоговых и смешанных сигнальных систем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - vardanya@synospsys.com |
| 13 | Варданын Арман Арамович | к.т.н., доцент, НПУА,
Эл. почта - vardanyan_arman@hotmail.com |
| 14 | Геворгян Вазген Семенович | аспирант, НПУА; старший инженер первого уровня, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - vazg.gevorgyan@gmail.com |
| 15 | Григорян Айк Таронович | аспирант, НПУА; инженер интегральных схем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - htgrigo@gmail.com |
| 16 | Григорян Арег Аветикович | студент первого курса магистратуры факультета физики, ЕГУ,
Эл. почта - argrig2001@gmail.com |
| 17 | Григорян Мушег Таронович | аспирант, НПУА; инженер, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - mushegg@synospsys.com |

- 18 Гукасян Севак Аршакович к.т.н., НПУА; ст. инженер схемотехнического конструирования аналоговых и смешанных сигнальных систем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - ghukasya@synopsys.com
- 19 Давтян Альберт Арутюнович аспирант, ИСИ “КЕНДЛ”,
Эл. почта - albertvacuum@gmail.com
- 20 Даштоян Арутюн Робертович к.т.н., старший научный сотрудник базовой научно-исследовательской лаборатории Микро- и нанoeлектроники, НПУА,
Эл. почта - dashtoyan.h@gmail.com
- 21 Исунц Гамлет Араикович кафедра “Технология машиностроения и автоматизация”, НПУА, аспирант, ИСИ “КЕНДЛ”,
Эл. почта - hisunts@yahoo.com
- 22 Карапетян Эрик Ервандович студент бакалавриата, НПУА; инженер физического конструирования специализированных интегральных схем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - kerik@synopsys.com
- 23 Мартиросян Норайр Вильямсович к.т.н., доцент, руководитель базовой научно-исследовательской лаборатории Микро- и нанoeлектроники, НПУА,
Эл. почта - marnorw@yahoo.com
- 24 Овсепян Ваге Геворгович инженер-планировщик горно-планировочного отдела горно-технической службы, ЗМК,
Эл. почта - vahehovs@bk.ru
- 25 Папян Эдгар Тигранович магистрант НПУА; инженер физического конструирования аналоговых и смешанных сигнальных систем, ЗАО “Синописис Армения”,
Эл. почта - rapryan@synopsys.com
- 26 Петросян Геворг Людвигович д.т.н., профессор, кафедра “Механика и машиноведение”, НПУА,
Эл. почта - gevorglp@seua.am
- 27 Саакян Ваан Апрегович соискатель, Институт радиофизики и электроники НАН РА
- 28 Саргсян Ованес Элфикович к.ф.-м.н., директор ООО “ИМПРОВИЗ”,
Эл. почта - hovo@improvismail.com
- 29 Сасунцян Марине Эдуардовна к.т.н., доцент, кафедра Общей химии и химических технологий, НПУА,
Эл. почта - msasuntsyan@mail.ru
- 30 Товмасын Рафаел Арменович аспирант, НПУА,
Эл. почта - r.tovmasyan@polytechnic.am
- 31 Хачатрян Рафаэль Норайрович студент магистратуры НПУА, инженер ООО “Quest Global Armenia”,
Эл. почта - raf.khachatryan4@gmail.com
- 32 Чухаджян Нарек Гайкович инженер-исследователь, ст. программист, VMS Software Inc.,
Эл. почта - n.chukhajyan@gmail.com

LIST OF THE AUTHORS

- 1 Aghabekyan Davit Valer Cand. of tech. sci., Engineer, Xilinx Armenia Center,
E-mail - davagha@mail.ru
- 2 Aharonyan Gagik Cand. of tech. sci., Head of drilling and blasting operations,
CJSC “A.A.B. PROJECT”
E-mail - gagik.aharonyan@mail.ru
- 3 Avagyan Hasmik Vardan Assistant, NPUA, Kapan branch
E-mail - halidzor@yandex.ru
- 4 Avagyan Vardan Shavarsh Dr. of tech. sci., Chief Advisor to the Director at “CANDLE”
SRI,
E-mail - avagyan@asls.candle.am
- 5 Avanesyan Arpat Sanjan Cand. of tech. sci., Acting Member of Phil-Psych. Of
Academy of RA
- 6 Ayvazyan Armen Gagik Probationer, NPUA,
E-mail - agagarm@gmail.com
- 7 Babayan Arman Artak Post-graduate student of the Chair “Mechanics and Machine
Science”, NPUA,
E-mail - babayan.arman.545@gmail.com
- 8 Baghiyan Aram Haykaz Cand. of tech. sci., “IMPROVIZ” LLC, Scientific Consultant,
E-mail - abaghiyan@improvismail.com
- 9 Balasanyan Boris Sergey Dr. of tech. sci., Prof., Head of the Chair “Mechanical
Engineering and Automation”, NPUA,
E-mail - bbalasanyan@yahoo.com
- 10 Chukhajyan Narek Hayk engineer-researcher, senior programmer, VMS Software Inc.,
E-mail - n.chukhajyan@gmail.com
- 11 Dashtoyan Harutyun Robert Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., Head of Micro and
Nanoelectronics laboratory of NPUA
E-mail - dashtoyan.h@gmail.com
- 12 Davtyan Albert Harutyun Acting Head of VTL and Ph.D. student in “Beam Physics and
Accelerator Technologies” at “CANDLE” SRI,
E-mail - albertvacuum@gmail.com
- 13 Gevorgyan Vazgen Semyon Post-graduate “Synopsys Armenia”, A&MS Senior Circuit
Design Engr I NPUA,
E-mail - vazg.gevorgyan@gmail.com
- 14 Ghukasyan Sevak Arshak Cand. of tech. sci., Chair of Microelectronic Circuits and
Systems of NPUA, Analog and Mixed Signal Circuit design
Engineer, “Synopsys Armenia” CJSC,
E-mail - ghukasya@synopsys.com
- 15 Grigoryan Areg Avetik First-year Graduate student of the Physics Faculty, YSU,
E-mail - argrig2001@gmail.com
- 16 Grigoryan Hayk Taron Post-graduate student, NPUA , “Synopsys Armenia” CJSC,
A&MS circuit design engineer,
E-mail - htgrigo@gmail.com
- 17 Grigoryan Mushegh Taron Post-graduate student of NPUA Engineer, “Synopsys Armenia”
CJSC
E-mail - mushegg@synopsys.com

- 18** Harutyunyan Mher Aleksandr Cand.of sci., Assoc. Prof.
E-mail - hamher@yandex.ru
- 19** Hayrapetyan Serob Garnik Cand.of tech. sci., SW, Micro and Nanoelectronics scientific laboratory of NPUA
E-mail - sergar55@mail.ru
- 20** Hovsepyan Vahe Gevorg ZCC, Design engineer of the Mining Planning Department of Mining and Technical Service
E-mail - vahehovs@bk.ru
- 21** Isunts Hamlet Araik Lecturer of the Chair “Machine building and automation”, NPUA, Acting Head of SF and Ph.D. student in “Beam Physics and Accelerator Technologies” at “CANDLE” SRI,
E-mail - hisunts@yahoo.com
- 22** Karapetyan Erik Yervand Undergraduate student NPUA, Application of specific integrated circuit physical design engineer I “Synopsys Armenia” CJSC,
E-mail - kerik@synopsys.com
- 23** Khachatryan Rafayel Norayr Student of NPUA, Junior Engineer of the “Quest Global Armenia” Inc.
- 24** Martirosyan Norayr Wilyams Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., head of Micro and Nanoelectronics laboratory of NPUA
E-mail - marnorw@yahoo.com
- 25** Papyan Edgar Tigran Graduate student, NPUA, Analog and Mixed signal layout design engineer, Engr. “Synopsys Armenia” CJSC,
E-mail - papyan@synopsys.com
- 26** Petrosyan Gevorg Lyudvig Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair “Mechanics and Machine Science”, NPUA,
E-mail - gevorglp@seua.am
- 27** Sahakyan Vahan Apres Probationer, Institute of Radiophysics and Electronics NAS RA
- 28** Sargsyan Hovhannes Elfik Cand. of tech. sci., “IMPROVIZ” LLC, CEO,
E-mail - hovo@improvismail.com
- 29** Sasuntsyan Marine Eduard Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., of the Chair "General Chemistry and Chemical Processes", NPUA
E-mail - msasuntsyan@mail.ru
- 30** Tovmasyan Rafael Armen Post-graduate student, NPUA,
E-mail - r.tovmasyan@polytechnic.am
- 31** Vardanyan Arman Aram Cand. of tech. sci., Associate professor, NPUA,
E-mail - vardanyan_arman@hotmail.com
- 32** Vardanyan Hayk Vardan Post-graduate student NPUA, Analog and Mixed signal circuit design engineer, Senior Engr. “Synopsys Armenia” CJSC,
E-mail - vardanya@synopsys.com

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, ՄԴԿ, 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 (անտասցիա) 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. Цитированная 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).

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

2023

3

ՀԱՏՈՐ

ТОМ 76
VOLUME

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ

ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ
JULY - SEPTEMBER

Հրատ. Խմբագիր՝
Խմբագիրներ՝

ԺԱՆԱ Ա. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ
Հ.Ց. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ
Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 26.01.2024

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

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 9.5 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 1: Տպաքանակ՝ 150

Հայաստանի Ազգային
Պոլիտեխնիկական
Համալսարանի
«Պոլիտեխնիկ»
տպագրահրա-
տարակչություն
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