

ISSN 0002-306 X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ՀԱՏՈՐ LXXII ТОМ

3

ԵՐԵՎԱՆ

2019

ЕРЕВАН

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 72

N 3

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2019

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 72

N 3

ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ

ЕРЕВАН 2019

PROCEEDINGS

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

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 72

N 3

JULY - SEPTEMBER

YEREVAN 2019

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

2019

3

ՀԱՏՈՐ

TOM 72
VOLUME

ՀՈՒԼԻՍ - ՍԵՊՏԵՄԲԵՐ
ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ
JULY - SEPTEMBER

Հրատ. Խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

Ստորագրված է տպագրության՝ 26.12.2019

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

Շարվածքը՝ համակարգչային:

Տառատեսակը՝ Sylfaen, Times New Roman: 8.75 տպ. մամ.:

Պատվեր՝ 505: Տպաքանակ՝ 200

Հայաստանի ազգային
պոլիտեխնիկական
համալսարանի տպարան
Երևան, Տերյան 105,
Հեռ.՝ 520 356

Типография Национального
политехнического университета
Армении
Ереван, ул. Теряна 105,
Тел.: 520 356

Printing house of National
Polytechnic University
of Armenia
105 Teryan str. Yerevan,
Tel. 520 356

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
Բաղդալյան Ն.Պ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Բաղդասարյան Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Գոնեւմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս
Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի
Դավթյան Ս.Պ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ք.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա
Զորյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ
Իյուշենկո Ա.Ֆ., Բելառուսի ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Լան Չ., տ.գ.թ., Չինաստան
Կարայան Հ.Ս., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
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
Ղուլյան 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
Միխալևիչ Ա.Ա., Բելառուսի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս
Շիխտման Ու., տ.գ.թ., Գերմանիա
Չանգ Ֆ., Թայվանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., Թայվան
Չապլիզին 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
Մքիտեն Ս.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ
Ստենպլեյսկի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Վորոբյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ
Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., 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
Քուչուկյան Ա.Թ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

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

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

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

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

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

Бадалян Н.П., д.т.н., проф., Россия

Воробьев А.Е., д.т.н., проф., Россия

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

Гонейма М., к.т.н., Египет

Гримблат В., к.т.н., Чили

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

Давтян С.П., член-корр. НАН РА, д.х.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

Караян Г.С., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

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

Куртуа Б., к.т.н., Франция

Кучукян А.Т., академик НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

Михалевич А.А., академик НАН Беларуси, д.т.н., проф., Беларусь

Петросян О.А., д.т.н., проф., Армения

Петросянц К.О., д.т.н., проф., Россия

Сапатнекар С., к.т.н., США

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

Сбитнев С.А., д.т.н., проф., Россия

Симонян С.О., д.т.н., проф., Армения

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

Тихомиров Г.В., д.ф.-м.н., проф., Россия

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

Усанов В.И., д.т.н., проф., Россия

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

Цанова С., к.т.н., Болгария

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

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

Шлихтманн У., к.т.н., Германия

EDITORIAL BOARD

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

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՄԵՅԴԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. Техн. наук), 2019

Մ.Է. ՍԱՄՎԵԼՅԱՆ

ՀԱՄԱԳՈՐԾԱԿՑԱՑԻՆ ԽՈՐՔԱՑԻՆ ԲԱԶՄԱԳՈՐԾԱԿԱԼ ԱՄՐԱՊՆԴՄԱՄԲ ՈՒՍՈՒՑՈՒՄ. ԴԺՎԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ, ՄԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԲԱՑ ԽՆԴԻՐՆԵՐ

Վերջին տարիներին խորքային ամրապնդմամբ ուսուցման (ԱՌ) ոլորտում նշանակալից հաջողություններ է արձանագրվել մի շարք դժվարին խնդիրներում, ինչպիսիք են համակարգչային խաղերը, սեղանի խաղերը և ռոբոտաշինությունը: Չնայած այս հաջողությունների մեծ մասը տեղի է ունեցել միագործակալ ԱՌ-ում, սակայն իրական աշխարհի բազում միջավայրեր բաղկացած են մեծ թվով գործակալներից, որոնք պետք է համագործակցեն՝ ընդհանուր խնդիրները լուծելու համար: Այնուամենայնիվ, միագործակալ ԱՌ ոլորտում մեթոդները պիտանի չեն բազմագործակալ սցենարների համար՝ մի շարք դժվարությունների պատճառով: Սույն աշխատանքում, հետազոտելով ԱՌ խնդիրն ու գոյություն ունեցող ԱՌ մեթոդները, մատնանշվում են վերջիններիս օգտագործման հիմնախնդիրները բազմագործակալ միջավայրերում: Ակնարկ է արվում ընթացիկ բազմագործակալ ԱՌ ալգորիթմների վերաբերյալ և մատնանշվում դրանց սահմանափակումները: Համառոտ նկարագրվում են մի քանի հեռանկարային ուղղություններ՝ հետագա աշխատանքների կատարման համար:

Առանցքային բառեր. ամրապնդմամբ ուսուցում, բազմագործակալ համակարգ, բազմագործակալ ուսուցում:

Ներածություն: Ամրապնդմամբ ուսուցումը (reinforcement learning) մեքենայական ուսուցման (ՄՌ) (machine learning) ոլորտ է, որն առնչվում է այն հարցին, թե ինչպես պետք է որոշակի գործակալ գործի միջավայրում, որպեսզի առավելագույնի հասցնի միջավայրից տրված գումարային պարգևատրումը (reward) [1]: ԱՌ-ն առանձնանում է ՄՌ-ի այլ ճյուղերից և պլանավորումից (planning) նրանով, որ ԱՌ-ում շեշտը դրվում է գործակալի վարքը շրջակա միջավայրի հետ անմիջական փոխազդեցության արդյունքում ուսուցանելու վրա՝ առանց հիմնվելու որևիցե վերահսկողության կամ շրջակա միջավայրի ամբողջական մոդելի վրա: Խորքային ուսուցման (deep learning) [2] վերջին տարիների զարգացումները պայմանավորեցին ԱՌ մեթոդների առաջխաղացումը արհեստական բանականության մի շարք բարդ խնդիրների լուծման ոլորտում, ինչպիսիք են համակարգչային խաղերը [3], սեղանի խաղերը [4] և ռոբոտաշինությունը [5]:

Իրական աշխարհի բազում միջավայրեր բաղկացած են բազմաթիվ գործակալներից, որոնք հաճախ պետք է համագործակցեն՝ ընդհանուր նպատակին հասնելու համար: Օրինակ՝ անօդաչու թռչող սարքերի, ինքնագնաց մեքենաների և

արտադրական գործարաններում բազմաբնույթ ռոբոտային սարքերի համակարգումը բնական կերպով ներկայացվում է որպես համագործակցային բազմագործակալ խնդիրների շարք: Սակայն միագործակալ ԱՌ-ի համար մշակված մեթոդները հաճախ պիտանի չեն բազմագործակալ համակարգերի խնդիրների լուծման համար՝ որոշակի դժվարությունների պատճառով, ինչպիսիք են գործողությունների մեծ տիրույթը, ապակենտրոնացումը (decentralisation), ոչ ստացիոնարությունը (non-stationarity), հաղորդակցությունը և այլն: Այս մարտահրավերներն էլ ավելի դժվարին են դարձնում բազմագործակալ ԱՌ-ի (ԲԱՌ) կիրառումը այն միջավայրերում, որտեղ առկա են մեծ թվով գործակալներ:

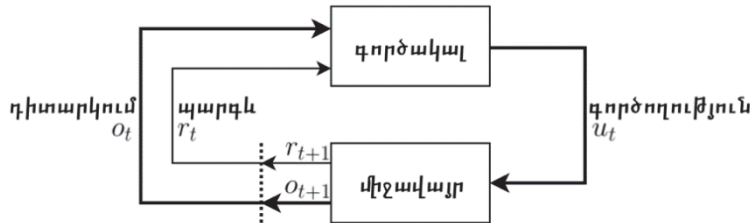
Սույն աշխատանքում, ուսումնասիրելով գոյություն ունեցող միագործակալ ԱՌ-ի մեթոդները, նկարագրվում են բազմագործակալ համակարգերում վերջիններիս կիրառման դժվարությունները, ինչպես նաև գոյություն ունեցող լուծումները: Բացի այդ, մատնանշվում են ԲԱՌ ավգորիթմների թերությունները, և առաջարկվում են մի քանի ուղղություններ՝ հետագա աշխատանքների կատարման համար:

Միագործակալ խորքային ամրապնդմամբ ուսուցում: Ներկայացվում են միագործակալ ԱՌ-ն (այսուհետ ԱՌ ասելով կհասկանանք միագործակալ ԱՌ-ն), ԱՌ-ի խնդրի դրվածքը, վերջինիս լուծման ժամանակակից մեթոդները:

ԱՌ-ի նպատակն է սովորել՝ ինչպես պետք է իրավիճակներին համապատասխանեցնել այնպիսի գործողություններ, որ առավելագույնի հասցվի թվային պարգևատրումը [1]: Ուսումնառողին չի հաղորդվում, թե որ գործողությունները պետք է կատարվեն: Փոխարենը, փորձելով տարբեր գործողություններ, նա պետք է ինքնուրույն բացահայտի, թե որոշակի իրավիճակներում որ գործողություններն են առավելագույն չափով պարգևատրվում: Գործողությունները կարող են ազդեցություն ունենալ ոչ միայն անմիջապես պարգևատրման վրա, այլև հաջորդ իրավիճակի, ինչպես նաև բոլոր հետագա պարգևատրումների վրա: Փորձի և սխալի որոնումը և հետաձգված պարգևատրումը ԱՌ-ի երկու ամենակարևոր առանձնահատկություններն են:

ԱՌ-ի խնդիրը պարզագույն դեպքում ներառում է միայն մեկ ուսումնառող և որոշում կայացնող, որին սովորաբար անվանում են **գործակալ** (agent): Գործակալից դուրս ամեն ինչ կոչվում է **միջավայր** (environment): Միջավայրը և գործակալը գտնվում են շարունակական փոխազդեցության մեջ: Ժամանակի ամեն դիսկրետ t քայլին գործակալը ստանում է միջավայրից o_t **դիտարկում** (observation) և կատարում է u_t **գործողություն** (action): Ժամանակի հաջորդ քայլին գործակալը ստանում է թվային r_t **պարգևատրում** (reward)՝ որպես կատարած գործողությունների արդյունք: Մյուս կողմից՝ միջավայրը յուրաքանչյուր քայլում ստանում է u_t գործողությունը, անցում է կատարում նոր վիճակի և գործակալին է ուղարկում

o_{t+1} դիտարկումը և r_{t+1} պարգևատրումը: Նկարում ներկայացվում է գործակալի և միջավայրի միջև փոխազդեցությունը ԱՈՒ-ում:



Նկ. Գործակալի և միջավայրի փոխազդեցությունը ԱՈՒ-ում

Լիարժեքորեն դիտարկելի (fully observable) միջավայրերում գործակալը ուղղակիորեն կարող է դիտարկել միջավայրի առկա s_t վիճակը՝ $o_t = s_t$: Մասնակիորեն դիտարկելի (partially observable) միջավայրերում միջավայրի s_t վիճակը հասանելի չէ գործակալին, և փոխարենը նա ստանում է այնպիսի դիտարկում, որը սահմանափակ տեղեկություն է պարունակում վիճակի մասին:

Լիարժեքորեն դիտարկելի ԱՈՒ-ի խնդիրը հաճախ կարելի է ձևակերպել որպես Մարկովյան որոշումների գործընթաց (ՄՈԳ) (Markov Decision Process) [1]: ՄՈԳ-ը ներկայացվում է $\langle S, U, \mathcal{P}, \mathcal{R}, \gamma \rangle$ հնգյակի միջոցով, որտեղ S -ը վիճակների վերջավոր բազմությունն է (state space), իսկ $\mathcal{U}$ -ն՝ գործակալի գործողությունների վերջավոր բազմությունը (action space): $\mathcal{P}: S \times \mathcal{U} \times S \rightarrow [0, 1]$ ներկայացնում է վիճակների անցման ֆունկցիան (transition function), որտեղ $\mathcal{P}(s, u, s') = \mathbb{P}[s_{t+1} = s' | s_t = s, u_t = u]$, իսկ $\mathcal{R}: S \times \mathcal{U} \rightarrow \mathbb{R}$ -ն պարգևատրման ֆունկցիան է (reward function), որտեղ $\mathcal{R}(s, u) = \mathbb{E}[r_{t+1} | s_t = s, u_t = u]$: γ -ն ծառայում է որպես պարգևատրման զեղչման գործակից (discount factor):

Ժամանակի ամեն t քայլին (time step) գործակալի նպատակն է ընտրել այն գործողությունը, որն առավելագույնի կհասցնի հետագայում ստացվող պարգևատրումները: Մասնավորապես, գործակալի նպատակն է առավելագույնի հասցնել սպասվող **զեղչված շահույթը** (discounted return), որը տրվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$R_t = r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n r_{t+n+1},$$

որտեղ զեղչման γ գործակիցը որոշում է հետագա պարգևատրումների առկա արժեքը:

Գործակալի վարքը նկարագրվում է π **ռազմավարությամբ** (policy), որն արտապատկերում է վիճակների բազմությունից դեպի գործակալի հնարավոր գործողություններն ընտրելու հավանականությունը: Ռազմավարությունը կարող է լինել դետերմինիստական, երբ $u = \pi(s)$, կամ ստոխաստիկական, երբ $\pi(u|s) =$

$= \mathbb{P}[u_t = u | s_t = s]$: Այսպիսով, ԱՌՆ խնդրի նպատակն է մշակել մի ռազմավարություն, որն առավելագույնի է հասցնում սպասվող զեղչված շահույթը բոլոր $s \in S$ վիճակների դեպքում:

π ռազմավարության արժեքային ֆունկցիան (value function) սահմանվում է որպես սպասված շահույթ s վիճակում u գործողությունը կատարելիս, և այնուհետև, ըստ π ռազմավարության գործելիս՝ $Q^\pi(s, u) = \mathbb{E}[R_t | s_t = s, u_t = u]$: Բեղմանի օպտիմալության հավասարումը ռեկուրսիվորեն նկարագրում է օպտիմալ Q -ֆունկցիան՝ $Q^*(s, u) = \max_{\pi} Q^\pi(s, u)$, որպես ֆունկցիա՝ կախված ՄՌԳ-ի պարզևատրման և վիճակների անցումային ֆունկցիաներից՝

$$Q^*(s, u) = \mathcal{R}(s, u) + \gamma \sum_{s'} \mathcal{P}(s, u, s') \max_{u'} Q^*(s', u'):$$

Ունենալով օպտիմալ Q -ֆունկցիան՝ կարող ենք մշակել օպտիմալ π^* ռազմավարությունը, որը միշտ «ազահաբար» է գործում (օպտիմալ ընտրություն է կատարում) Q^* -ի նկատմամբ՝ $\pi^*(u|s) = \arg \max_u Q^*(s, u)$: Այնուամենայնիվ, ՄՌԳ-ը, մասնավորապես $\mathcal{R}$ և $\mathcal{P}$ ֆունկցիաները, անհայտ է կամ շատ մեծ, ինչը գործնականում թույլ չի տալիս հաշվարկել օպտիմալ Q -ֆունկցիան դինամիկ ծրագրավորման միջոցով:

Ժամանակի ընթացքում առաջարկվել են բազում մեթոդներ ԱՌՆ խնդիրը լուծելու համար՝ մոտարկելով Q -ֆունկցիան: ԱՌՆ-ում առաջխաղացմանը նպաստած ալգորիթմներից են Q -ուսուցումն [6] ու TD-ուսուցումը [7], որոնք բոլոր $s \in S$ և $u \in U$ զույգերի համար պահում են $Q(s, u)$ -ի արժեքները համապատասխան աղյուսակում: Ուսուցման ընթացքում, երբ գործակալը առկա ռազմավարությամբ գործողություններ է կատարում միջավայրում և ստանում գործողությունների համապատասխան իրական պարզևատրումները, աղյուսակի արժեքները թարմացվում են: Ապացուցված է, որ որոշակի պայմաններ բավարարելու դեպքում Q -ուսուցումն ու TD-ուսուցումը զուգամիտում են դեպի օպտիմալ Q^* -ն [7, 8]:

Աղյուսակային մեթոդները, այնուամենայնիվ, նպատակահարմար չեն այն ՄՌԳ-երում, որտեղ վիճակների S բազմությունը հսկայական է: Օրինակ՝ նարդի խաղում վիճակների բազմության հզորությունը 10^{20} կարգի է, «Գո» խաղում՝ 10^{170} , իսկ «Աթարի» համակարգչային խաղերում՝ $256^{84 \times 84 \times 4}$ [3]: Հնարավոր լուծումներից մեկն է Q -ֆունկցիայի մոտարկումը ֆունկցիաների մոտարկիչների (function approximator) միջոցով, ինչպիսիք են խորքային նեյրոնային ցանցերը [2]:

Խորքային ԱՌՆ-ի առաջին հաջողված մոդելը խորքային Q -ցանցերն (ԽԳՑ) են [3], որոնցում Q -ֆունկցիան ներկայացված է որպես նեյրոնային ցանց՝ պարամետրացված θ պարամետրերով՝ $Q(s, u; \theta)$: Ուսման ժամանակ գործակալն ընտրում է գործողությունները՝ ելնելով ուսումնասիրության (exploration) որոշակի մեթո-

դից, ինչպիսին է ϵ -«ագահ» ուսումնասիրությունը, երբ $1 - \epsilon$ հավանականությամբ ընտրվում է օպտիմալ գործողությունը՝ $\arg \max_u Q(s, u; \theta)$, իսկ ϵ հավանականությամբ՝ պատահական գործողություն: Յուրաքանչյուր գործողությունը կատարելուց և պարզևատրումն ու հաջորդ վիճակը ստանալուց հետո $\langle s, u, r, s' \rangle$ քառյակը պահվում է հիշողության մեջ: θ պարամետրերն ուսուցանվում են հիշողությունից պատահական կերպով b քառյակներ ընտրելու և հետևյալ ֆունկցիան նվազեցնելու արդյունքում՝

$$\mathcal{L}(\theta) = \sum_{i=1}^b \left[\left(r + \gamma \max_{u'} Q(s', u'; \theta^-) - Q(s, u; \theta) \right)^2 \right], \quad (1)$$

որտեղ θ^- -ն թիրախային Q -ցանցի պարամետրերի բազմությունն է: Թիրախային Q -ցանցը (target network) հիմնական Q -ցանցի պատճենն է, որը «սառեցվում» է ուսուցանման ժամանակ և թարմացվում միայն որոշակի քանակի իտերացիաներից հետո:

Ժամանակի ընթացքում ԽՔՑ-ն բարելավվել է տարբեր եղանակներով: Օրինակ՝ կրկնակի ԽՔՑ-ում օպտիմալացման $\mathcal{L}(\theta)$ ֆունկցիայի սահմանման մեջ հաջորդ քայլում ստացված պարզևատրումը գնահատելու համար ընտրվում լավագույն գործողությունը՝ ելնելով առկա, այլ ոչ թե թիրախային Q -ցանցից [9]: Եվս մեկ բարելավում է ԽՔՑ-ում Q -ցանցում տեղի ունեցող կառուցվածքային փոփոխությունը, որի արդյունքում ցանցի ելքում գնահատվում են և՛ վիճակի արժեքային ֆունկցիան, և՛ վիճակում համապատասխան գործողություն ընտրելու առավելության (advantage) ֆունկցիան [10]:

Մասնակիորեն դիտարկելի միջավայրերում նպատակահարմար է մշակել այնպիսի ռազմավարություն, որը հիմնվում է դիտարկումների ամբողջական պատմության վրա: Խորքային ռեկուրենտ Q -ցանցերը [11] օգտագործում են ռեկուրենտ նեյրոնային ցանցեր (recurrent neural networks), ինչպիսիք են LSTM [12] և GRU [13] ցանցերը, որպեսզի մշակեն Q -ցանցեր, որոնք Q -արժեքի գնահատման ընթացքում օգտագործեն դիտարկումների հաջորդականություն մեկ դիտարկման փոխարեն:

Ռազմավարության գրադիենտային մեթոդներ: Բազում խնդիրների համար (օրինակ՝ ռոբոտաշինության համար) գործողությունների տիրույթը ոչ թե դիսկրետ բազմություն է, այլ անընդհատ: Այս բնույթի խնդիրների համար ԽՔՑ և դրա նման մեթոդները կիրառելի չեն: Փոխարենը կիրառվում են ռազմավարության գրադիենտային մեթոդներ (policy gradient methods) [14], որոնք մշակում են գործակալի ռազմավարությունը ոչ թե Q -ուսուցման նման անուղղակի կերպով, այլ ուղղակիորեն մշակելով ստոխաստիկական $\pi(s, u; \theta)$ ռազմավարություն՝ հիմնված θ պարամետրերի վրա: Գործնականում առանձնահատուկ արդյունք են դրսևո-

րում «դերասան-քննադատ» (actor-critic) բնույթի ալգորիթմները, որտեղ գործակալը գործողություններն ընտրում է՝ ելնելով $\pi(s, u; \theta)$ ստոխաստիկ ռազմավարությունից, սակայն ուսուցման ժամանակ պարամետրերը թարմացվում են՝ օգտագործելով գործակալի Q -ֆունկցիան: Այսպիսի խորքային ամրապնդմամբ ուսուցման ալգորիթմներից են DDPG-ն [15], A3C-ն [16], PPO-ն [17] և SAC-ը [18]:

Բազմագործակալ խորքային ամրապնդմամբ ուսուցում: Իրական աշխարհի տարաբնույթ խնդիրներ, որոնք կարող են լուծվել ԱՌ-ի կիրառման միջոցով, կազմված են ոչ թե մեկ, այլ բազում գործակալներից: Օրինակ՝ ինքնագնաց մեքենաների, անօդաչու սարքերի և այլ բնույթի բազմառոբոտ համակարգերի ղեկավարումը դառնում է ավելի ու ավելի առաջնային: Արդյունքում անհրաժեշտություն է առաջանում զարգացնել ԲԱՌ մեթոդներ, որոնք կարող են հաջողությամբ կիրառվել տարատեսակ բազմագործակալ համակարգերում:

Առանձնակի հետաքրքրություն են ներկայացնում մասնակիորեն դիտարկելի, համագործակցային (cooperative) բազմագործակալ ուսուցման խնդիրները: Համագործակցային խնդիրները կազմում են կարևոր խնդիրների հսկայական դաս, որտեղ մեկ օգտատեր, որը կառավարում է բաշխված համակարգը, կարող է որոշել ընդհանուր նպատակը, օրինակ՝ նվազագույնի հասցնել երթևեկության խցանումը կամ այլ իրադրություններ: Իրական աշխարհի խնդիրներից շատերը պայմանավորված են աղմկոտ կամ սահմանափակ սենսորային դիտարկումներով: Մասնակի դիտարկելի միջավայրերը նաև առաջացնում են հաղորդակցության սահմանափակումներ, որի արդյունքում գործակալներին անհրաժեշտ է լինում ուսանել ապակենտրոնացված (decentralised) ռազմավարություններ: Այնուամենայնիվ, մարզման ընթացքում հաճախակի առկա է լինում լրացուցիչ տեղեկություն, որը կարող է իրականացվել վերահսկվող պայմաններում կամ սիմուլյացիայի միջոցով:

Այսպիսի խնդիրները կարելի է ձևակերպել որպես ապակենտրոնացված մասնակի դիտարկելի ՄՈՊ (decentralised partially-observable MDP) [19]՝ կազմված հետևյալ յոթյակից՝ $\langle S, U, \mathcal{P}, \mathcal{R}, Z, O, n, \gamma \rangle$: $s \in S$ նկարագրում է միջավայրի վիճակը: n թիվը սահմանում է գործակալների քանակը: Ժամանակի ամեն քայլին յուրաքանչյուր $a \in A \equiv \{1, \dots, n\}$ գործակալ ընտրում է $u_a \in U$ գործողությունը, և նրանց գործողությունները միասին կազմում են համատեղ (joint) $\mathbf{u} \in \mathbf{U} \equiv U^n$ գործողությունը: Գործողությունը կատարելիս միջավայրի վիճակը փոփոխվում է՝ ելնելով վիճակների անցման ֆունկցիայից՝ $\mathcal{P}: S \times \mathbf{U} \times S \rightarrow [0, 1]$: Բոլոր գործակալները կիսում են ընդհանուր պարզևատրումը ըստ $\mathcal{R}: S \times \mathbf{U} \rightarrow \mathbb{R}$ ֆունկցիայի: γ -ը պարզևատրման զեդչման գործակիցն է:

Դիտարկում ենք մասնակի դիտարկելի միջավայրերը, որտեղ յուրաքանչյուր գործակալ ստանում է $z \in Z$ դիտարկում՝ ելնելով դիտարկումների

$O(s, a): S \times A \rightarrow Z$ ֆունկցիայից: Յուրաքանչյուր գործակալ ունի գործողություն-դիտարկում զույգերի պատմություն $\tau \in T \equiv (Z \times U)^*$, ըստ որի կարելի է մշակել ստոխաստիկական $\pi^a(u^a|\tau^a): T \times U \rightarrow [0, 1]$ ռազմավարություն: Համատեղ π ռազմավարության համար կարող ենք սահմանել համատեղ արժեքային ֆունկցիա՝ $Q^\pi(s_t, \mathbf{u}_t) = \mathbb{E}[R_t|s_t, \mathbf{u}_t]$:

ԲԱՈւ դժվարությունները: Վերոնշյալ խնդրների պարագայում ԱՈւ-ի հիմնական մեթոդները պիտանի չեն հետևյալ պատճառներով.

1) Գործողությունների բազմություն էքսպոնենցիալ աճ: Գործակալների համատեղ գործողությունների բազմությունն աճում է էքսպոնենցիալ՝ արագ գործակալների քանակի աճի հետ: Խնդիրը լուծելի դարձնելու համար հաճախ անհրաժեշտ է օգտագործել ապակենտրոնացված ռազմավարություն, երբ յուրաքանչյուր գործակալ ընտրում է իր գործողությունը՝ հիմնվելով բացառապես իր սեփական դիտարկումների ու գործողությունների պատմության վրա:

2) Ոչ ստացիոնարություն: Մարզման ընթացքում յուրաքանչյուր գործակալի ռազմավարությունը փոփոխվում է՝ առանձին գործակալների տեսանկյունից միջավայրը դարձնելով ոչ ստացիոնար:

3) Ներդրման վերագրում (credit assignment): Այն դեպքում, երբ գործակալները ստանում են ընդհանուր թիմային պարգևատրում, անհատ գործակալները պետք է որոշեն իրենց ներդրումը թիմի հաջողության մեջ:

4) Ապակենտրոնացում: Հաղորդակցման սահմանափակումները և մասնակի դիտարկելիությունը կարող են ստիպել ուսանել ապակենտրոնացված ռազմավարություններ նույնիսկ այն դեպքում, երբ համատեղ գործողությունների տիրույթը շատ մեծ չէ:

5) Հաղորդակցություն: Բազմագործակալ համակարգերում հաճախ առկա են հաղորդակցման ուղիներ, որոնցով գործակալները կարող են տեղեկություններ փոխանակել: Այնուամենայնիվ, առայժմ լուծված չէ այն խնդիրը, թե ինչպես հաղորդակցվել այլ գործակալների կամ մարդկանց հետ՝ ընդհանուր նպատակին հասնելու համար:

Վերոհիշյալ հանգամանքները դժվարացնում են ԱՈւ մեթոդների կիրառումը բազմագործակալ համակարգերում, որտեղ առկա են մեծ թվով գործակալներ: Այնուամենայնիվ, ԲԱՈւ մեթոդների բարելավումը շատ կարևոր է արհեստական բանականությամբ օժտված համակարգեր կառուցելու համար, որոնք արդյունավետ կերպով կարող են հաղորդակցվել ինչպես միմյանց, այնպես էլ մարդկանց հետ:

ԲԱՈւ գոյություն ունեցող մեթոդներ: Համագործակցային ԲԱՈւ-ում թերևս ամենատարածված մեթոդն անկախ Q -ուսուցումն է (independent Q -learning) [20], որը ԲԱՈւ խնդիրը լուծում է՝ այն վերածելով միևնույն միջավայրը կիսող բազում

միագործակալ ԱՈւ խնդիրների հավաքածուի: Գործակալներից յուրաքանչյուրն ուսանում է իր Q -ֆունկցիան, որը կարող է հիմք ծառայել ապակենտրոնացված «ազահ» ռազմավարություն մշակելու համար: Կարելի է նաև ձևակերպել անկախ ուսուցման «դերասան-քննադատ» տարբերակը [21]: Այս մոտեցումները, այնուամենայնիվ, անտեսում են ԲԱՈւ խնդիրներում գործակալների փոփոխվող ռազմավարությունների արդյունքում առաջացած ոչ ստացիոնարությունը:

Ապակենտրոնացված ռազմավարությունները հաճախ կարելի է մարզել կենտրոնացված ձևով, օրինակ՝ սիմուլացված միջավայրում կամ լաբորատոր պայմաններում: Սա կարող է ապահովել միջավայրի $s \in S$ վիճակի հասանելիությունը մարզման ժամանակ, որն այլապես հասանելի չէ անհատ գործակալներին, ինչպես նաև հեռացնել հաղորդակցման սահմանափակումները գործակալների միջև: Ապակենտրոնացված ռազմավարությունների կենտրոնացված մարզումը կարող է օգնել՝ հաղթահարելու էքսպոնենցիալ արագ աճող գործողությունների բազմության խնդիրը՝ ուսուցանելով համատեղ Q -ֆունկցիա, որը կարող է ֆակտորացվել առանձին գործակալների Q -ֆունկցիաների: VDN մեթոդը ներկայացնում է համատեղ Q -ֆունկցիան որպես անհատ գործակալների Q -ֆունկցիաների գումար՝ $Q_{tot}(\mathbf{\tau}, \mathbf{u}) = \sum_{i=1}^n Q_i(\tau, u^i; \theta^i)$ [22], ինչը թույլ է տալիս մշակել ապակենտրոնացված ռազմավարություն: QMIX մեթոդը ներկայացնում է համատեղ Q -ֆունկցիան որպես անհատ Q -ֆունկցիաների ոչ գծային համադրություն [23]: Մասնավորապես, յուրաքանչյուր գործակալի Q -ֆունկցիա տրվում է որպես հատուկ խառնիչ (mixing) նեյրոնային ցանցի մուտք, որը արտածում է համատեղ Q -ֆունկցիան: Մարզման ընթացքում խառնիչ ցանցի գործակիցները մշակվում են հիպերցանցի միջոցով, որը որպես մուտք ստանում է միջավայրի վիճակը և արտածում է խառնիչ ցանցի գործակիցների բազմությունը: Հիպերցանցի ելքային շերտում կիրառվում է բացարձակ արժեք ֆունկցիան, որի արդյունքում խառնիչ ցանցի գործակիցները լինում են դրական թվեր: Արդյունքում, ստեղծվում է մոնոտոն կապ համատեղ Q -ֆունկցիայի և գործակալների Q -արժեքների միջև՝ $\frac{\partial Q_{tot}}{\partial Q_a} \geq 0$ կամայական a գործակալի համար, որի շնորհիվ $\arg \max_{\mathbf{u}} Q_{tot}(\mathbf{\tau}, \mathbf{u}) = \{\arg \max_{u^1} Q_1(\tau^1, u^1), \dots, \arg \max_{u^n} Q_n(\tau^n, u^n)\}$, այսինքն՝ առանձին գործակալները, «ազահաբար» վարվելով, կատարում են «ազահ» համատեղ գործողությունը:

Հնարավոր է նաև ուսանել ամբողջովին կենտրոնացված համատեղ Q -ֆունկցիան, որն ուղղորդում է ռազմավարության օպտիմալացումը «դերասան-քննադատ» բնույթի ալգորիթմներում՝ մշակելով ապակենտրոնացված ռազմավարություններ: MADDPG ալգորիթմը մարզում է կենտրոնացված քննադատ յուրաքանչյուր գործակալի համար, որը կարող է կիրառվել և՛ համագործակցային, և՛ մրցակցային միջավայրերում [24]: COMA մեթոդը, ի տարբերություն MADDPG-ի, ուղղա-

կիրեն անդրադառնում է թիմի համատեղ պարզևատրմանը՝ առանձին գործակալների ներդրումների վերագրման խնդրին, օգտագործելով կենտրոնացված քննադատ և ապակենտրոնացված առավելության ֆունկցիաներ, բայց սահմանափակվում է միայն այն միջավայրերով, որտեղ գործողությունների բազմությունը դիսկրետ է [21]: Գոյություն ունեն նաև այլ «դերասան-քննադատ» տիպի մեթոդներ, որոնք կիրառում են ապակենտրոնացված քննադատ Q-ֆունկցիաներ յուրաքանչյուր գործակալի համար՝ առանց օգտագործելու կենտրոնացված մարգման հնարավորությունը [25]: Այնուամենայնիվ, վերոգրյալ բոլոր ալգորիթմները մարգման ընթացքում պահանջում են հսկայական ծավալի օրինակներ և հաճախ զուգամիտում են ոչ օպտիմալ լույսով մինիմումի կետերի: Բացի այդ, կենտրոնացված քննադատների մարգումը հաճախ անիրագործելի է, եթե գործակալների թիվը շատ մեծ է:

ԲԱՈՒ Բաց խնդիրներ: Ներկայացվում են գոյություն ունեցող խորքային ԲԱՈ մեթոդներում առկա որոշ խնդիրներ, և համառոտ նկարագրվում են մի քանի հեռանկարային ուղղություններ հետագա հետազոտությունների համար:

Միջավայրի համակարգված ուսումնասիրություն: ԲԱՈ-ում համատեղ գործողությունների մեծ բազմությանն առնչվող հիմնական խնդիրը վիճակների բազմության ուսումնասիրությունն է: Ներկայիս ԲԱՈ մեթոդների գերակշռող մասն օգտագործում է անհատ գործակալների կողմից իրականացվող պարզ, չուղղորդված հետազոտություններ: Այնուամենայնիվ, օպտիմալ համատեղ ռազմավարությունը հաճախ պահանջում է բոլոր գործակալներից կամ գործակալների ինչ-որ ենթաբազմությունից համատեղ ուսումնասիրել նոր ռազմավարությունը՝ համաձայնեցված ընտրելով պատահական գործողություններ:

ԲԱՈ-ում միջավայրի ուսումնասիրության հետագա առաջընթացի համար հեռանկարային ուղղություն է պատահական պրոցեսների վրա հիմնված ուսումնասիրության մեթոդների մշակումը, որոնք փոխկապակցված են գործակալների միջև և կատարվում են կենտրոնացված մարգման ընթացքում: Մասնավորապես, ուսումնասիրությունը կարող է իրականացվել գործակիցների տիրույթում, գործողությունների տիրույթի փոխարեն, քանի որ ուսումնասիրվող ռազմավարությունը կարող է պահանջել բազմաթիվ գործողություններ կամ ամբողջական էպիզոդներ:

Հիերարխիկ ԲԱՈ: ԲԱՈ-ում հավանական առաջխաղացում կարող է հանդիսանալ որոշումների կայացման բարդության նվազեցումը ռազմավարության հիերարխիկ ներկայացման միջոցով: Չնայած նորագույն մեթոդները, ինչպիսին է, օրինակ, QMIX-ը, կարող են լուծել 30 գործակալներ ներառող բարդ բազմագործակալ խնդիրներ [26], այնուամենայնիվ, քիչ հավանական է, որ դրանք մշտապես կարող են մշակել օպտիմալ ռազմավարություններ այնպիսի միջավայրերում, որոնք կազմված են շատ ավելի մեծ թվով գործակալներից (օրինակ՝ 100-ից ավելի):

Գործակալների թվի աճի հետ մեկտեղ բարդանում է նաև ներդրման վերագրման խնդիրը:

Նման զանգվածային բազմագործակալ միջավայրերի համար կարող է արդյունավետ լինել համատեղ *Q*-ֆունկցիան ֆակտորացնելը հիերարխիկ շերտերի, որոնք ներկայացնում են գործակալների ֆիքսված խմբեր: Յուրաքանչյուր խմբի ներսում գործող գործակալները հնարավորություն կունենան շփվելու խմբի անդամների հետ՝ կանխորոշված կամ ուսուցանված արձանագրությունների միջոցով: Այնուհետև յուրաքանչյուր խումբ կստեղծի համատեղ խմբի *Q*-արժեքը, որը, ի վերջո, կխառնվի համընդհանուր *Q*-արժեքի հետ: Ուշադրության արժանի է այն հարցը, թե ինչպես լավագույնս օգտագործել և կենտրոնացված, և տեղային դիտարկումները համատեղ *Q*-արժեքների հիերարխիկ հաշվարկի մեջ, և թե ինչպես կարգավորել գործակալների միջև կապը հիերարխիայի տարբեր մակարդակներում:

Մարդակենտրոն FUL: Քննարկման արժանի է այն խնդիրը, թե արդյոք հնարավոր է մի խումբ գործակալների ուսուցանել բնական լեզվով հաղորդակցվել այլ գործակալների և մարդկանց հետ: Նման բարդ նպատակի հասնելու համար անհրաժեշտ է համատեղել հետազոտությունների առաձին ուղղություններ, ինչպիսիք են միջգործակալ հաղորդակցությունը (inter-agent communication) [27], նպատակաուղղված երկխոսության համակարգերը (goal-oriented dialogue systems) [28], հրահանգներին հետևելը (instruction following) [29], ինչպես նաև խոսելն ու գործելը (speaking and acting) [30]:

Նախ և առաջ անհրաժեշտ է ստեղծել այնպիսի հաստուկ ԱՌ միջավայր, որը կպահանջի մեկից ավելի գործակալների բնական լեզվով հրահանգներ ստանալը, անհրաժեշտության դեպքում հարցեր տալը, այնուհետև միացյալ ուժերով ընդհանուր խնդիրը լուծելը: Կարևոր է ուսանել ընդհանրացնել նախկինում չհանդիպած ցուցումները և կարողանալ համագործակցել տարանջատման պայմաններում մարզված գործակալների հետ: Գործակալները պետք է նաև կարողանան կարգավորել անսպասելի իրադարձությունները: Օրինակ՝ գործակալները կարող են ստանալ նոր հրահանգներ, որից հետո գործակալների մի խումբ պետք է ընդհատի իր ընթացիկ առաջադրանքը, կատարի նոր հրահանգը և դրանից հետո շարունակի ընդհատված առաջադրանքը: Նման միջավայր կարելի է կառուցել LIGHT համակարգի հիման վրա [30], որը կլրացվի խաղային վիճակի վրա ազդեցություն ունեցող գործողություններով և կներառի մի քանի գործակալ:

Եզրակացություն: Խորքային ամրապնդմամբ ուսուցման ոլորտում վերջին տարիներին արձանագրվել են էական առաջխաղացում և նշանակալից հաջողություններ տարաբնույթ խնդիրների լուծման հարցում [3-5]: Այնուամենայնիվ, նշված խնդիրները պարունակում էին միայն մեկ ուսումնառող գործակալ, մինչ-

դեռ իրական կյանքի բազում համակարգեր բաղկացած են մեծ թվով գործակալներից, որոնք միասնական ուժերով փորձում են լուծել ընդանուր խնդիրը:

Ձևակերպելով միագործակալ և համագործակցային բազմագործակալ ԱՌՆ խնդիրները՝ ներկայացվել են այն մարտահրավերները, որոնք դժվարին են դարձնում հաջողության հասած միագործակալ ԱՌՆ մեթոդների կիրառումը համագործակցային բազմագործակալ համակարգերում: Նկարագրելով գոյություն ունեցող ԲԱՌՆ մեթոդները՝ նշվել են դրանց որոշ թերությունները, և առաջարկվել մի քանի հեռանկարային ուղղություններ՝ ապագա հետազոտությունների կատարման համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Sutton, R.S. and Barto, A.G.** Reinforcement Learning: An Introduction. Second edition. - MIT press, Cambridge, MA, 2018.- 526 p.
2. **Lecun, Y., Bengio Y., and Hinton G.** Deep learning // Nature. -2015.- 521(7553). -P. 436–444.
3. Human-level control through deep reinforcement learning / **V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A.A. Rusu, et al** // Nature. -2015.- 518(7540). -P. 529–533.
4. A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and go through self-play / **D. Silver, T. Hubert, J. Schrittwieser, et al** // Science. -2018.- 362(6419). -P. 1140–1144.
5. **Levine, S., Finn, C., Darrell, T., and Abbeel, P.** End-to-end training of deep visuomotor policies // Journal of Machine Learning Research. -2016.- 17(39). - P. 1–40.
6. **Watkins, C.** Learning from delayed rewards: PhD thesis. - University of Cambridge, England, 1989.
7. **Sutton, R.** Learning to predict by the methods of temporal differences // Machine learning. -1988.- 3(1). -P. 9–34.
8. **Watkins, C. and Dayan, P.** Q-learning // Machine Learning. -1992.- P. 279–292.
9. **Van Hasselt, H. Guez, H., Silver, D.** Deep reinforcement learning with double Q-learning // Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence. - 2016.- P. 2094-2100.
10. Dueling network architectures for deep reinforcement learning / **Z. Wang, T. Schaul, M. Hessel, et al** // Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning. -2016.- P. 1995-2003.
11. **Hausknecht, M., Stone, P.** Deep Recurrent Q-Learning for Partially Observable MDPs // AAAI Fall Symposium Series. -2015.
12. **Hochreiter, S. and Schmidhuber, J.** Long short-term memory // Neural computation. -1997.- 9(8). -P. 1735–1780.
13. **Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., and Bengio, Y.** Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling // NIPS Workshop on Deep Learning. -2014.

14. **Sutton, R, McAllester, D., Singh, S., and Mansour, Y.** Policy Gradient Methods for Reinforcement Learning with Function Approximation // Advances in Neural Information Processing Systems. -2000.- P. 1057-1063.
15. Continuous control with deep reinforcement learning / **T. Lillicrap, J. Hunt, A. Pritzel, et al** // International Conference on Learning Representations. -2016.
16. Asynchronous methods for deep reinforcement learning / **V. Mnih, A. Badia, M. Mirza, et al** // Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning. -2016.- P. 1928– 1937.
17. Proximal Policy Optimization Algorithms / **J. Schulman, F. Wolski, P. Dhariwal, et al** // ArXiv -2017.- abs/1707.06347.
18. **Haarnoja, T., Zhou, A., Abbeel, P., Levine, S.** Soft Actor-Critic: Off-Policy Maximum Entropy Deep Reinforcement Learning with a Stochastic Actor // Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning. -2018.- P. 1861-1870.
19. **Oliehoek, F.A. and Amato, C.A.** Concise Introduction to Decentralized POMDPs. - SpringerBriefs in Intelligent Systems.- Springer, 2016. – 114 p.
20. **Tan, M.** Multi-agent reinforcement learning: Independent vs. cooperative agents // Proceedings of the 10th International Conference on Machine Learning. -1993.- P. 330–337.
21. Counterfactual multiagent policy gradients / **J. Foerster, G. Farquhar, T. Afouras, et al** // Proceedings of the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence. -2018.- P. 2974–2982.
22. Value-Decomposition Networks For Cooperative Multi-Agent Learning / **P. Sunehag, G. Lever, A. Gruslys, et al** // Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems. -2017.- P. 2085-2087.
23. QMIX: Monotonic Value Function Factorisation for Deep Multi-Agent Reinforcement Learning / **T. Rashid, M. Samvelyan, C. Schroeder, et al** // Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning. -2018.- P. 4295– 4304.
24. Multi-agent actorcritic for mixed cooperative-competitive environments / **R. Lowe, Y. Wu, A. Tamar, et al** // Advances in Neural Information Processing Systems. -2017.- P. 6382–6393.
25. **Gupta, J.K., Egorov, M., and Kochenderfer, M.** Cooperative Multi-agent Control Using Deep Reinforcement Learning // Autonomous Agents and Multiagent Systems. - 2017.- P. 66–83.
26. The StarCraft Multi-Agent Challenge / **M. Samvelyan, T. Rashid, C. Schroeder, et al** // Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems. -2019.- P. 2186-2188.
27. **Mordatch, I. and Abbeel, P.** Emergence of Grounded Compositional Language in Multi-Agent Populations // Proceedings of the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence. -2018.- P. 1495 - 1502.
28. **Bordes, A. and Weston, J.** Learning end-to-end goal-oriented dialog // International Conference on Learning Representations. - 2017.

29. Grounded Language Learning in a Simulated 3d World / **K.M. Hermann, F. Hill, S. Greenet, et al** // ArXiv. -2017.- abs/1706.06551.
30. Learning to speak and act in a fantasy text adventure game / **J. Urbanek, A. Fan, S. Karamcheti, et al** // Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. -2019.

Հայ-Ռուսական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 25.09.2019:

М.Э. САМВЕЛЯН

КООПЕРАТИВНОЕ ГЛУБОКОЕ МНОГОАГЕНТНОЕ ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ: СЛОЖНОСТИ, ПРИНЦИПЫ И ОТКРЫТЫЕ ЗАДАЧИ

В последние годы область глубокого обучения с подкреплением (ОП) достигла значительных успехов в ряде сложных задач, таких как компьютерные игры, настольные игры и робототехника. Хотя большая часть этого успеха состояла в одноагентном ОП, многие реальные среды состоят из нескольких агентов, которые должны взаимодействовать для решения общих задач. Тем не менее, методы для ОП с одним агентом плохо подходят для сценариев с несколькими агентами из-за некоторых сложностей. В работе подробно рассмотрены проблема ОП и существующие методы ОП, выявлены проблемы использования этих методов в многоагентных средах. Дан обзор текущих алгоритмов многоагентного ОП и тщательно выявлены их ограничения. Описаны некоторые перспективные направления дальнейших работ.

Ключевые слова: обучение с подкреплением, многоагентная система, многоагентное обучение.

M.E. SAMVELYAN

COOPERATIVE DEEP MULTI-AGENT REINFORCEMENT LEARNING: DIFFICULTIES, PRINCIPLES AND OPEN PROBLEMS

In recent years, the field of deep reinforcement learning (RL) has achieved remarkable success in a number of challenging problems, such as computer games, board games and robotics. Although most of this success has been in single-agent RL, many real-world environments consist of multiple agents that need to cooperate in order to solve common tasks. Nonetheless, methods for single-agent RL are poorly suited for multi-agent scenarios due to several difficulties. In this work, the RL problem and the existing RL methods are considered and the difficulties of using these methods in multi-agent environments are revealed. An overview of current multi-agent RL algorithms is then presented and their limitations are carefully identified. Several promising directions for future work are described.

Keywords: reinforcement learning, multi-agent system, multi-agent learning.

**А.Н. КАРАПЕТЯН, К.В. ОГАНЕСЯН, Н.Г. МЕЛИКСЕТЯН,
В.В. САРОЯН**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА НА СТАРТОВЫЙ ПРОЦЕСС В
ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОПОДШИПНИКАХ
СКОЛЬЖЕНИЯ**

Приводятся результаты исследования влияния зазора на процесс трения в стартовой стадии в полимер-полимерных микроподшипниках скольжения. Для исследуемых пар сухого трения найдены оптимальные значения диаметрального зазора, обеспечивающие минимальные значения коэффициента трения и износа сопряженных деталей. Рассмотрено влияние внешних факторов: статической нагрузки, скорости скольжения, а также времени предварительного контакта, на трибологические свойства пары трения полимер-полимер.

Ключевые слова: зазор, статическое трение, микроподшипник, коэффициент трения, износ.

Введение. В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что пары трения полимер-полимер прочно вошли в современную технику и широко применяются в узлах трения точных приборов и миниатюрных микроэлектромеханических устройствах (МЭМУ) [1-4].

Пары трения полимер-полимер в основном используются в качестве материалов для микроподшипников скольжения (втулки, валики). Следует отметить, что применение многих промышленных термопластичных полимерных материалов неоптимизировано, и трибологическое поведение полимер-полимерных микроподшипников скольжения недостаточно изучено [5, 6]. В частности, важное значение имеет приработочный процесс микроподшипников, когда происходит предварительное смещение при переходе от статического трения к кинетическому. В работах [7,8] показано, что период приработки, когда статическая сила трения постоянно увеличивается, может привести к критическим ситуациям: ведущее звено в устройстве не может привести в движение ведомое из-за очень высокого сопротивления трению. Эта проблема очень важна в МЭМУ полимерных подшипников, в которых поверхностные силы и реологические свойства материалов играют значительную роль. Время статического контакта трущихся материалов до скольжения существенно влияет на статическую силу трения при переходе от покоя к скольжению. Работоспособность и долговечность микроподшипников скольжения из пар

трения полимер-полимер во многом зависят от трибологических свойств и размерной точности деталей сопряжения, а также от значения оптимального диаметрального зазора подшипника (в сопряжении с валиком) и точности сохранения допустимого зазора и натяга при эксплуатации и хранении. Поэтому исследование влияния зазора на стартовый процесс, когда происходит переход статического трения на кинетическое, является весьма важным и актуальным для МЭМУ полимерных микроподшипников.

Цель работы - исследование влияния диаметрального зазора на статическое трение и износ в полимер-полимерных микроподшипниках скольжения.

Методика эксперимента. С целью выявления роли различных эксплуатационных условий при проектировании микроподшипников скольжения и влияния диаметрального зазора на характеристики зависимости коэффициента трения от времени скольжения были проведены серии фрикционных испытаний полимер-полимерных подшипников в период приработки.

Экспериментальные исследования перехода от статического трения к кинетическому были проведены в лабораторных условиях на трибометре, детально описанном в работе [6]. Трибологические свойства материалов оценивались при следующих режимах испытания: статическая нагрузка во время покоя, перед началом движения (поворота валика-приложения движущего момента вращения), изменялась в пределах $F=8...30\text{ Н}$, скорость скольжения - $V=4,3...101,6\text{ мкм/с}$, а время предварительного контакта под статической нагрузкой (время стоянки перед пуском) - $t=5...900\text{ с}$. Цикл испытаний при исследуемых режимах составлял 10 час.

Для исследований были использованы различные по физико-механическим свойствам, химическому составу и строению полимерные материалы, широко применяемые в полимер-полимерных трибосопряжениях (табл.1).

Таблица 1

Механические характеристики материалов для микроподшипников скольжения

Материал (торговая марка)	Поверх- ностная свободная энергия, γ , МДж/м ²	Модуль упругости, E_p , МПа	Микро- твердость, НВ, МПа	Кoeffи- циент Пуассона, ν	Напряжение сопротивления сдвигу, σ_c , МПа
РА6 (Гарнамид Т-27)	46	1600	75	0,35	40
ПК (Поликарбонат)	40	2400	140	0,43	55
ПОМ (Дельрин 500)	38	2300	160	0,34	65
АБС пластики	45	2500	150	0,38	45

Результаты исследований и их обсуждение. Исследуемый микроподшипник скольжения и полученные в результате экспериментальных исследований характеристики кривой, описывающей переход от статического трения к кинетическому, представлены на рис.1 и 2. Установлено, что процесс предварительного смещения подшипников сопровождается значительным увеличением коэффициента трения. Скачок коэффициента трения Δf и время предварительного смещения t_r (от момента начала вращения валика до начала скольжения валика по втулке - переход к кинетическому трению от трения покоя) можно рассматривать как принципиальные фрикционные характеристики рабочего периода.

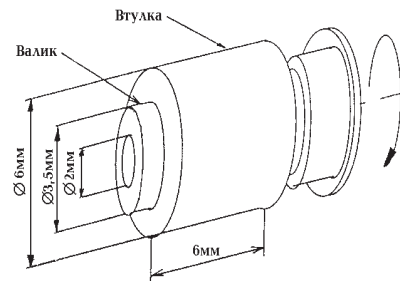


Рис.1. Исследуемый полимер-полимерный микроподшипник

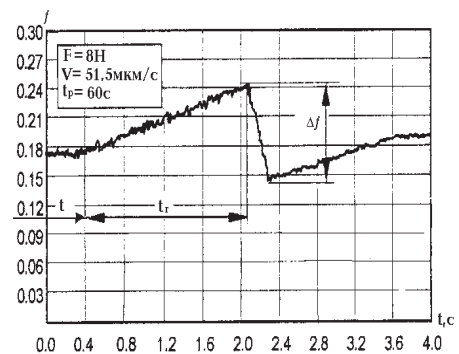


Рис.2. Пример типичного графика зависимости коэффициента трения от времени перехода от стационарного контакта к скольжению: t - время предварительного контакта, t_r - время предварительного смещения, Δf - скачок коэффициента трения во время пуска

С этой целью были изготовлены образцы (всего 1000 шт): валики из поликарбоната (**ПК**) и полиоксиметилена (**ПОМ**), а втулки - из полиамида 6 (**ПА6**) и сополимера акрилонитрила, бутадиена и стирола (**АБС**). Исследовались следующие три пары трения: **ПК-ПА6**, **ПОМ-ПА6**, **ПОМ-АБС**. Для этих пар трения определялись максимальный и минимальный диаметральный зазоры (табл.2), а также распределение количества пар трения от зазора (рис. 3), имеющих одинаковые размеры сопряжения. Диаметры втулок и валиков измеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях на инструментальном микроскопе УИП-21 с точностью до $0,1 \cdot 10^{-6}$ м. Величину весового износа определяли на аналитических весах типа ВЛР-200 с точностью до $0,1 \cdot 10^{-6}$ г.

Таблица 2

Диаметральный зазор для пар трения

Пара трения	Номинальный диаметр, мм	
	втулок: $\Phi=3,600$ мм	валиков (цапфы): $\Phi=3,450$ мм
	Диаметральный зазор, мм	
	максимальный	минимальный
ПК-ПА6	$\Delta=3,609-3,466=0,143$ мм	$\Delta=3,562-3,476=0,086$ мм
ПОМ- ПА6	$\Delta=3,600-3,436=0,164$ мм	$\Delta=3,561-3,454=0,105$ мм
ПОМ- АБС	$\Delta=3,594-3,436=0,158$ мм	$\Delta=3,572-3,456=0,116$ мм

Как видно из рис.3, между количеством сопряжений и зазором существует квадратическая зависимость. Это экспериментально обнаруженная зависимость для исследованных подшипников. Зависимость коэффициента трения от зазора представляет собой сложную функцию адгезионных и механических свойств контактирующих поверхностей. Для пар трения **ПК-ПА6**, **ПОМ-ПА6**, **ПОМ-АБС** максимальное количество пар трения, имеющих одинаковые размеры сопряжения, наблюдается соответственно при зазорах 118, 134 и 142 мкм.

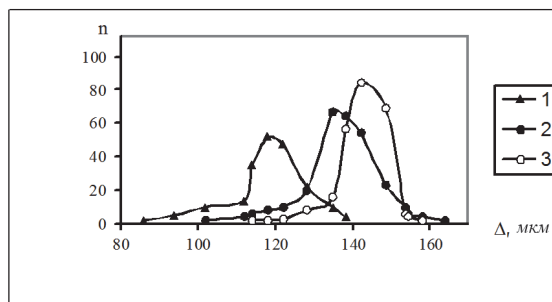
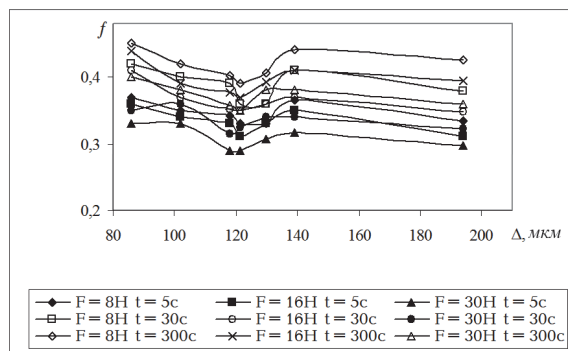


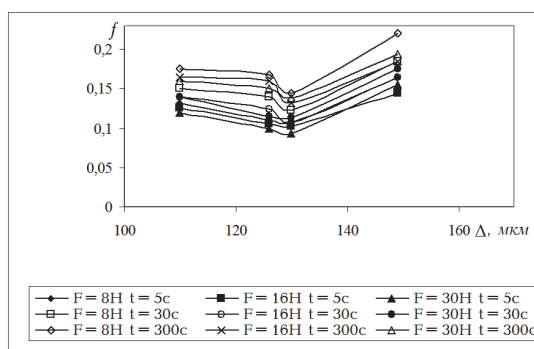
Рис.3. Функция распределения количества сопряжений пар трения от диаметрального зазора микроподшипников: 1- ПК- ПА-6, 2 - ПОМ- ПА6, 3 - ПОМ- АБС

Результаты влияния диаметрального зазора на стартовый процесс, когда происходит переход статического трения на кинетическое для исследуемых пар трения, приведены на рис.4. Характерной особенностью рассматриваемых зависимостей является то, что для исследуемых пар трения существуют оптимальные значения зазоров, при которых обеспечиваются минимальные значения коэффициентов трения. Для исследуемых пар трения **ПК-ПА6**, **ПОМ-ПА6**, **ПОМ-АБС** минимальное значение коэффициента трения наблюдается соответственно при зазорах 118, 134 и 142 мкм, что совпадает с максимальным количеством пар трения, имеющих одинаковые размеры сопряжения, и является важным критерием для функционирования **МЭМУ**. Полученные зави-

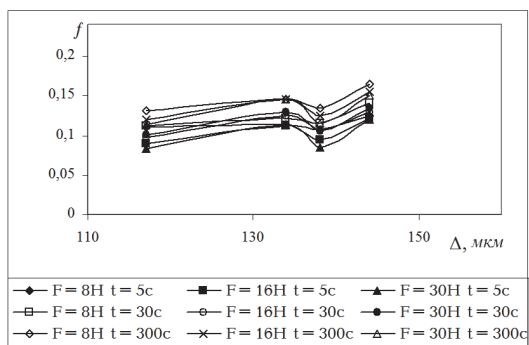
симости коэффициента трения от зазора позволяют определить оптимальные зазоры, обеспечивающие минимальные значения коэффициентов трения.



а)



б)



в)

Рис. 4. Зависимости статического коэффициента трения от диаметального зазора в микроподшипниках скольжения для следующих пар трения: **ПК - ПА6** (а); **ПОМ - ПА6** (б); **ПОМ - АБС** (в)

Для сравнительной оценки трибологических свойств исследуемых полимер-полимерных микроподшипников скольжения в табл. 3 приведены обобщенные значения коэффициентов трения и весовых износов при оптимальных диаметральных зазорах. Как видно из таблицы, наилучшими трибологическими свойствами обладает пара трения **ПОМ - АБС**.

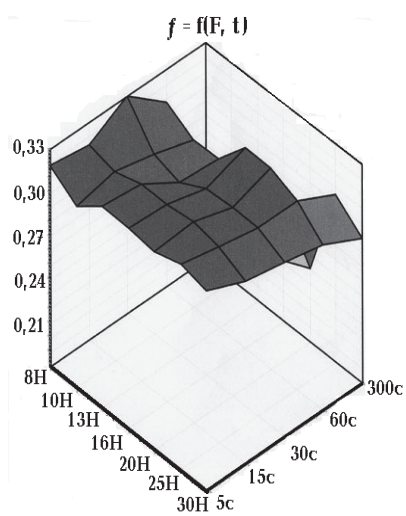
Таблица 3

Трибологические свойства исследуемых пар трения при оптимальных зазорах и при $F=30H$, $t=60$ с и $V=51,9$ мкм/с

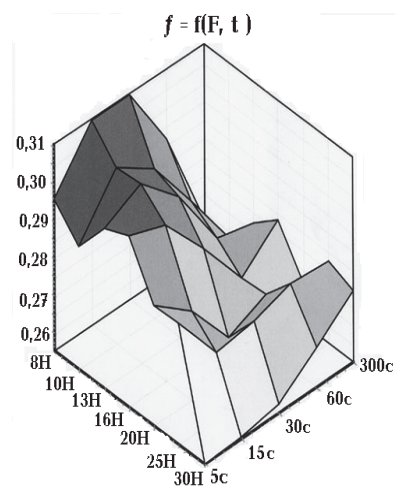
Пара трения	Оптимальный зазор, мкм	Коэффициент трения		Весовой износ, ε	
		статический	кинетический	втулка	валик
ПК - ПА6	118	0,29-0,40	0,26-0,27	0,0074	0,0058
ПОМ - ПА6	134	0,100-0,145	0,09-0,102	0,0072	0,0055
ПОМ - АБС	142	0,098-0,135	0,080-0,095	0,0042	0,0032

Известно [7, 8], что на статический коэффициент трения существенное влияние оказывают статическая нагрузка, скорость скольжения и время предварительного контакта. В связи с этим определенный интерес представляет исследование статического коэффициента трения в широком нагрузочном интервале.

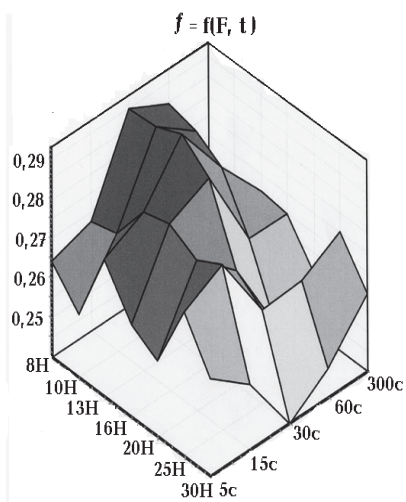
Для пар трения **ПК-ПА6** ($\Delta=0,086$ мкм) на рис. 5-7 приведены двумерные зависимости коэффициента трения: от статической нагрузки и времени предварительного контакта при разных скоростях скольжения (рис. 5), от скорости скольжения и времени предварительного контакта при разных нагрузках (рис. 6), а также от нагрузки и скорости скольжения при разных временах предварительного контакта (рис. 7). Такая зависимость хорошо суммирует влияние нагрузки и скорости скольжения, а также времени стоянки перед пуском на коэффициент трения пары полимер-полимер. Так, повышение скорости скольжения от 4,3 до 101,6 мкм/с (рис.5) при исследуемых нагрузках и временах стоянки перед пуском приводит к существенному повышению коэффициента трения. Повышение нагрузки от 8 до 30 Н (рис. 6) при исследуемых скоростях скольжения и временах стоянки перед пуском приводит, наоборот, к существенному снижению коэффициента трения. Повышение времени предварительного контакта от 5 с до 900 с (рис.7) приводит к значительному повышению времени предварительного смещения и значения коэффициента трения.



а)

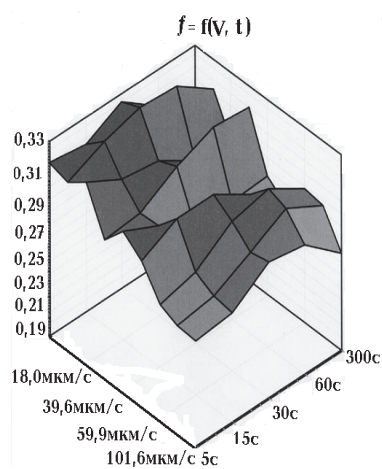


б)

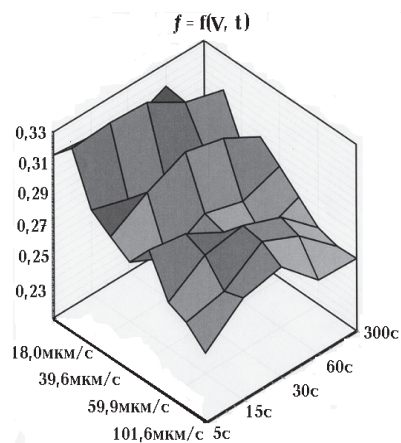


в)

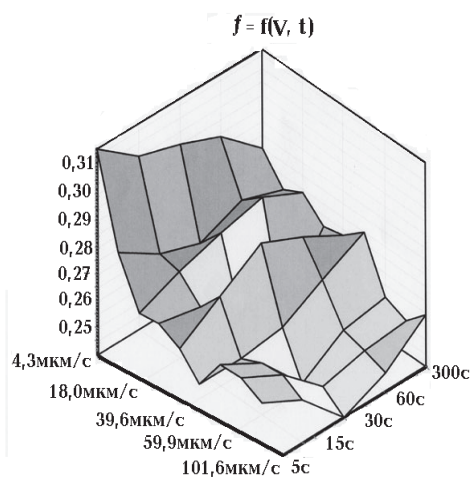
Рис. 5. Зависимость коэффициента трения f от нагрузки и времени предварительного контакта t при разных скоростях скольжения: 4,3 мкм/с (а), 51,5 мкм/с (б), 101,6 мкм/с (в)



а)



б)



в)

Рис. 6. Зависимость коэффициента трения f от скорости скольжения V и времени предварительного контакта t при разных нагрузках: 8 Н (а), 16 Н (б), 30 Н (в)

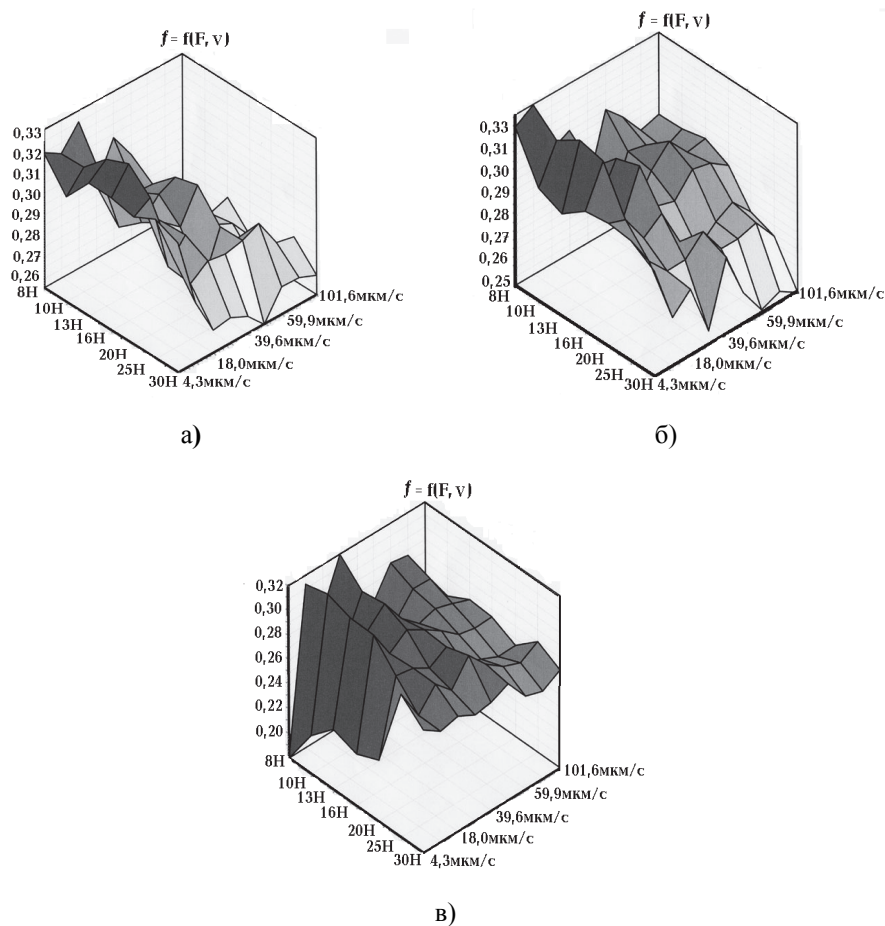


Рис.7. Зависимость коэффициента трения f от нагрузки и скорости скольжения при разных временах предварительного контакта t : 5 с (а), 30 с (б), 300 с (в)

Закключение. Проведенные исследования дополняют наши представления о влиянии зазора на стартовый процесс полимер-полимерных микроподшипников скольжения, когда происходит переход статического трения на кинетическое. Для исследуемых пар сухого трения найдены оптимальные значения диаметрального зазора, обеспечивающие минимальные значения коэффициента трения и износа сопряженных деталей. Установлено существенное влияние нагрузки и скорости скольжения, а также времени предварительного контакта на трибологические свойства пары трения полимер-полимер.

Работа выполнена в рамках научной темы “Создание и исследование деталей машин и композиционных материалов на полимерной основе с использованием местного сырья и минералов” базовой проблемной лаборатории по трибологии НПУА за 2018г. при финансовой поддержке Комитета по науке МОН РА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Sundararajan S., Bhushan B.** Micro/nanotribological studies of polysilicon and SiC films for MEMS applications // *Wear*. -1998.-217.- P.251-261.
2. Трение и износ материалов на основе полимеров / **В.А. Белый, А.И. Свириденко и др.** - Минск: Наука и техника, 1976.- 431с.
3. **Rymuza Z.** Tribology of Miniature Systems.- Elsevier, Amsterdam, 1989. – 565p.
4. **Rymuza Z., Kusznierevicz Z., Manturzyk G.** Testing miniature, in particular polymer- polymer // *Wear*. – 1994. – 174. - P. 39-46.
5. **Blau P.J.** Friction Science and Technology.- Marcel Dekker, New York, 1996. - 339p.
6. Static friction and adhesion in polymer-polymer microbearings / **Z. Rymuza, Z. Kusznierevicz, T. Solarski, et al** // *Wear*. – 2000. -238. - P. 56-69.
7. **Pogosian A.K., Karapetyan A.N., Hovhannisyan K.V.** Development of composite antifriction materials based on the thermoplastic polymers // *Tribologia*. –2005. - N 5. – P. 111-119.
8. **Pogosian A., Hovhannisyan K. and Isajanyan A.** Polymer Friction Transfer (FT) // *Encyclopedia of Tribology*. - N. Y.: Springer Scie, 2013. - P. 2585-2592.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 19.04.2019.

**Ա.Ն. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Կ.Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ն.Գ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ,
Վ.Վ. ՍԱՐՈՅԱՆ**

**ՊՈԼԻՄԵՐ-ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՍԱՀՔԻ ՄԻԿՐՈԱՌԱՆՑՔԱԿԱԼՆԵՐՈՒՄ
ԲԱՑԱԿԻ ԹՈՂԱՐԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՎՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ներկայացված են պոլիմեր-պոլիմերային սահքի միկրոառանցքակալներում բացակի՝ թողարկման գործընթացի վրա ազդեցության ուսումնասիրության արդյունքները: Հետազոտվող չոր շփման զույգերի համար գտնված են տրամագծային բացակի օպտիմալ արժեքները, որոնք ապահովում են շփման գործակցի և մաշման փոքրագույն արժեքներ: Դիտարկվել են ստատիկ բեռնվածքի, սահքի արագության և նախնական հպման ժամանակամիջոցի ազդեցությունը պոլիմեր-պոլիմերային շփման զույգերի շփագիտական հատկությունների վրա:

Առանցքային բառեր. բացակ, ստատիկ շփում, միկրոառանցքակալ, շփման գործակից, մաշում:

**A.N. KARAPETYAN, K.V. HOVHANNISYAN, N.G. MELIKSETYAN,
W.V. SAROYAN**

**INVESTIGATING THE GAP INFLUENCE ON THE STARTING PROCESS
IN THE POLYMER-POLYMER PLAIN MICROBEARINGS**

The results of investigating the gap influence on the friction process at the starting stage in the polymer-polymer plain microbearings are presented. The effect of external factors: the static load, the sliding velocity, as well as the time of the preliminary contact on the tribological properties of the friction couple polymer-polymer has been considered. For dry friction pairs, optimal values of diametric gap have been found, providing a low friction coefficient and the wear of the joint details.

Keywords: gap, static friction, microbearing, friction coefficient, wear.

ԱԹ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՑԱՆ

ՕՊՏԻՄԱԼՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԱՆԻՇԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ՝
ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ԲԱՑ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՀԱՄԱԼԻՐ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Իրականացվել է հանքավայրերի շահագործման խնդիրների լուծման գոյություն ունեցող օպտիմալության չափանիշների վերլուծություն: Ելնելով «հանքավայրի մշակման ողջ ընթացքում առավելագույն տարբերակված ռենտա կամ գերնորմատիվային շահույթ» օպտիմալության չափանիշից՝ հիմնավորվել է այն օպտիմալության չափանիշը, որը հաշվի է առնում նաև հանքավայրերի համալիր յուրացումը: Հիմնավորված օպտիմալության չափանիշին համապատասխան՝ ձևավորվել է նպատակային ֆունկցիան, որը հիմնական (օգտակար հանածոյի արդյունահանում և հարստացում), ուղեկից (լեռնամետալուրգիական թափոնների՝ մակաբացման ապարների, հարստացման պոչանքների և մետալուրգիական խառանների օգտահանում) արտադրությունների արդյունավետությունների և շրջակա միջավայրին հասցվող վնասի (թափոնների տեղավորման համար հատկացվող հողատարածքների օտարում) հանրահաշվական գումարի առավելարկումն է:

Առանցքային բառեր. հանքավայր, համալիր շահագործում, օպտիմալության չափանիշ, թափոնների օգտահանում, արդյունավետություն:

Ներածություն: Ընդերքօգտագործման ոլորտի խնդիրները բազմաթիվ են: Դրանցից առանձնապես կարևորվում են կոնդիցիաների և հանքավայրերի շահագործման օպտիմալ պարամետրերի հիմնավորման խնդիրները, որոնք անհրաժեշտ է լուծել գիտականորեն հիմնավորված օպտիմալության չափանիշի հիման վրա: Միննույն ժամանակ, հանքավայրերի համալիր յուրացումը էապես ազդում է դրանց շահագործման արդյունավետության վրա: Ուստի, օպտիմալության չափանիշի հիմնավորումը հանքավայրերի համալիր շահագործման հաշվառմամբ արդիական խնդիր է:

Հետազոտության նպատակն է հանքավայրերի համալիր շահագործման հաշվառմամբ հիմնավորել ընդերքօգտագործման ոլորտի խնդիրների լուծման օպտիմալության չափանիշը և ձևավորել նպատակային ֆունկցիան:

Խնդրի դրվածքը և հետազոտության մեթոդները: Բավարար հիմնավորվածությամբ կարելի է պնդել, որ ընդերքօգտագործման առնչվող ցանկացած խնդրի լուծման համար օպտիմալության չափանիշը պետք է լինի մեկ-միասնական [1, 2]: Ենթադրենք՝ հանքավայրի մշակման եղանակի ընտրությունը կատարվում է մեկ, մշակման համակարգին՝ մեկ այլ, նվազագույն արդյունաբերական պարունակությամբ՝ 3-րդ օպտիմալության չափանիշների համաձայն, իսկ եզրագծային

պարունակությունը հիմնավորվում է «գնահատանքային ցուցանիշների համալիրի» հիման վրա, ապա, ակնհայտ է, օպտիմալացումը կներկայացնի չհամաձայնեցված, միմյանց հակասող լուծումների հավաքածու [2]: Այս տեսակետին համակարծիք շատ հետազոտողներ, որոնք նշում են, որ գնահատանքային ցուցանիշների բազմաթիվ և հակասական լինելը թույլ չի տալիս գտնել միանշանակ լուծում ու անխուսափելիորեն հանգեցնում է անհամադրելի արդյունքների:

Ակադեմիկոս Ն. Ֆեյտելմանի կարծիքով [3]՝ մեկ-միասնական օպտիմալության չափանիշի բացակայության դեպքում չի կարելի համեմատել և գնահատել տարբերակների առավելություններն ու թերությունները, այսինքն՝ նպատակաուղղված ղեկավարել հասարակական արտադրությունը: Հարկ է նաև հաշվի առնել այն բարդությունները, որոնք կապված են մեկ-միասնական չափանիշի խոր տեսական հիմնավորման և գործնական կիրառման հետ, սակայն կասկած չկա, որ այդպիսի չափանիշ օբյեկտիվորեն գոյություն ունի:

Մասնագիտական գրականության մեջ դիտարկվել են տարբեր ցուցանիշներ, որոնք առաջարկվում էին որպես օպտիմալության չափանիշ: Օրինակ, Ի.Ա. Արսենտևը [4, 5] որպես օպտիմալության չափանիշ ընդունում է «հանքավայրի մշակման առավելագույն շահույթը»: Այլ հեղինակներ ընդունում են օպտիմալության ուրիշ չափանիշներ՝ «հանքավայրի պաշարների մշակման առավելագույն դիսկոնտացված ռենտան», «հանքավայրի պաշարների յուրացման առավելագույն տարբերակված ռենտան կամ գերնորմատիվային շահույթը» [6, 7], «կապիտալ ներդրումների համեմատական տնտեսական արդյունավետությունը» [8]:

20-րդ դարի 40-ական թվականներին ակադեմիկոս Մ.Ի. Ագոշկովը առաջին անգամ քննականորեն վերլուծեց օպտիմալացման կարևորագույն խնդիրներից մեկը՝ հանքարանի տարեկան արտադրողականության որոշումը [9], հիմք ընդունելով «1 *ա* հանքաքարի արդյունահանման նվազագույն ինքնարժեք» օպտիմալության չափանիշը: Հետագայում, «1 *ա* հանքաքարի հաշվեկշռային պաշարներից առավելագույն շահույթ (կամ տարբերակված ռենտա)» օպտիմալության չափանիշի հիման վրա Մ.Ի. Ագոշկովի կողմից տրվեցին ստորգետնյա մշակման համակարգերի ընտրության, հաշվեկշռային պաշարների կորուստների տնտեսական հետևանքների հաշվառման մեթոդիկաներ:

[1, 6, 7] աշխատանքներում հանգամանորեն դիտարկվել և հիմնավորվել է, որ ընդերքի օպտիմալ յուրացման հիմնահարցի խնդիրների լուծման համար մեկ-միասնական օպտիմալության չափանիշը «հանքավայրի մշակման ողջ ընթացքում առավելագույն տարբերակված ռենտան կամ գերնորմատիվային շահույթն» է, որն արտահայտվում է հետևյալ նպատակային ֆունկցիայով.

$$\sum_{j=1}^{T_i} (U_{ij} - \sigma_{pij}) A_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

որտեղ U_{ij} -ն 1-*տ* հանքաքարի կորզվող արժողությունն է՝ ըստ *i*-րդ տարբերակի *j*-րդ տարում, U_{ij} ղռ./տ (ղրամ/տ), σ_{pij} -ն՝ 1-*տ* հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման բերված ծախսերը՝ ըստ *i*-րդ տարբերակի *j*-րդ տարում, U_{ij} ղռ./տ (ղրամ/տ), A_{ij} -ն՝ ձեռնարկության տարեկան արտադրողականությունը՝ ըստ *i*-րդ տարբերակի *j*-րդ տարում, *տ/տարի*, T_i -ն՝ պաշարների շահագործման ժամկետը՝ ըստ *i*-րդ տարբերակի, *տարի*:

Եթե U_{ij} , σ_{pij} A_{ij} մեծությունները ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում, ապա (1) նպատակային ֆունկցիան կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$(U_{ji} - \sigma_{pi}) Q_{ji} \rightarrow \max, \quad (2)$$

որտեղ Q_{ji} -ն հանքավայրի հանքաքարի շահագործական պաշարներն են՝ ըստ *i*-րդ տարբերակի, *տ*:

Օպտիմալացման արդյունքները լիովին կախված են ընդունված օպտիմալության չափանիշից. միավոր ժամանակում արտադրվող արտադրանքի (ըստ ճյուղի) միևնույն քանակի դեպքում լուծումներն ըստ համեմատվող չափանիշների կտարբերվեն առանձին հանքավայրերի մշակման ինտենսիվությամբ, կոնդիցիաներով, հաշվեկշռային պաշարների քանակով և դրանց օգտագործման ամբողջականությամբ, տարբեր ժամանակահատվածներում անհատական ծախսերով, միաժամանակյա մշակման մեջ գտնվող հանքավայրերի թվով:

(1) և (2) նպատակային ֆունկցիաները բնութագրում են հանքավայրերի ոչ համալիր յուրացումը: Հանքավայրերի համալիր յուրացման դեպքում խնդիրը հանգում է հետևյալին. ձևավորել այնպիսի նպատակային ֆունկցիա, որը հաշվի կառնի նաև հանքավայրերի համալիր յուրացումը:

Հետազոտության ընթացքում օգտագործվել են տվյալների հավաքագրման, վերլուծման, ընդհանրացման և տնտեսագիտամաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդները:

Հետազոտության արդյունքները: Եթե U_{ij} մեծության մեջ հաշվի առնվեն նաև ուղեկից օգտակար բաղադրիչների կորզումից, լեռնամետալուրգիական արտադրության թափոնների օգտահանումից ստացվող արժողությունները, իսկ σ_{pij} մեծության մեջ՝ այդ միջոցառումների հետ կապված ծախսերը, ապա (1) նպատակային ֆունկցիան կբնութագրի հանքավայրերի համալիր յուրացումը: Ընդ որում, հանքավայրերի համալիր շահագործման օպտիմալ պարամետրերի հիմնավորման խնդիրները լուծելու համար ավելի հարմար է նպատակային ֆունկցիան ներկայացնել ծավալուն տեսքով, որը միաժամանակ հնարավորություն կտա նկատի

ունենալ բնապահպանական գործոններ: Ստացված նպատակային ֆունկցիան կունենա հետևյալ տեսքը.

$$\sum_{j=1}^{T_i} (U_{lij} - \bar{\sigma}_{pij}) A_{ij} + (U_{d.oqij} - \bar{\sigma}_{p.d.oqij}) A_{d.oqij} + (U_{uy.oqij} - \bar{\sigma}_{p.uy.oqij}) A_{uy.oqij} + \\ + (U_{d.fu.oqij} - \bar{\sigma}_{p.d.fu.oqij}) A_{d.fu.oqij} + \sum_{k=1}^m Q_{h.pk} \rightarrow \max, \quad (3)$$

որտեղ U_{lij} -ն 1 u հանքաքարի կորզվող արժողությունն է (ուղեկից օգտակար բաղադրիչների կորզումից ստացվող արժողության հաշվառմամբ) j -րդ տարում ըստ i -րդ տարբերակի, $\$/u$ ($\eta p u l / u$), $\bar{\sigma}_{pij}$ -ն 1 u հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման բերված ծախսերը (ուղեկից օգտակար բաղադրիչների կորզման բերված ծախսերի հաշվառմամբ) j -րդ տարում ըստ i -րդ տարբերակի, $\$/u$ ($\eta p u l / u$), $U_{d.oqij}$ -ն, $U_{uy.oqij}$ -ն, $U_{d.fu.oqij}$ -ն՝ մակաբացման ապարների, հարստացման պոչանքների և մետալուրգիական խարամների օգտահանումից ստացվող արժողությունները j -րդ տարում ըստ i -րդ տարբերակի, $\$/u$ ($\eta p u l / u$), $\bar{\sigma}_{p.d.oqij}$ -ն, $\bar{\sigma}_{p.uy.oqij}$ -ն, $\bar{\sigma}_{p.d.fu.oqij}$ -ն՝ մակաբացման ապարների, հարստացման պոչանքների և մետալուրգիական խարամների օգտահանման բերված ծախսերը j -րդ տարում ըստ i -րդ տարբերակի, $\$/u$ ($\eta p u l / u$), $A_{d.oqij}$ -ն, $A_{uy.oqij}$ -ն, $A_{d.fu.oqij}$ -ն՝ մակաբացման ապարների, հարստացման պոչանքների և մետալուրգիական խարամների տարեկան օգտահանվող քանակները j -րդ տարում ըստ i -րդ տարբերակի, $\$/u$ ($\eta p u l / u$), $Q_{h.pk}$ -ն՝ k -րդ տեսակի թափոնին հատկացվող հողային տարածքի գինը, $\eta p u l$, m -ը՝ օբյեկտների թիվը, $h u u$:

Եթե (3) նպատակային ֆունկցիայում առկա ցուցանիշները ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում, ապա նպատակային ֆունկցիան ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$(U_{li} - \bar{\sigma}_{pi}) Q_i + (U_{d.oqi} - \bar{\sigma}_{p.d.oqi}) Q_{d.oqi} + (U_{uy.oqi} - \bar{\sigma}_{p.uy.oqi}) Q_{uy.oqi} + \\ + (U_{d.fu.oqi} - \bar{\sigma}_{p.d.fu.oqi}) Q_{d.fu.oqi} - \sum_{k=1}^m Q_{h.pk} \rightarrow \max, \quad (4)$$

որտեղ $Q_{d.oqi}$ -ն, $Q_{uy.oqi}$ -ն, $Q_{d.fu.oqi}$ -ն ըստ i -րդ տարբերակի մակաբացման ապարների, հարստացման պոչանքների և մետալուրգիական թափոնների օգտահանման քանակներն են հանքավայրի ամբողջ մշակման ընթացքում, u :

Կոնկրետ պայմաններում վերը բերված նպատակային ֆունկցիաները կարող են պարզեցվել կամ բարդացվել: Այսպես, եթե այս կամ այն պատճառով չի նախատեսվում մակաբացման ապարների կամ արտադրության այլ թափոնների օգտահանում, ապա նպատակային ֆունկցիայի համապատասխան գումարելին հավասարվում է զրոյի (անտեսվում է): Եթե որևէ թափոն նախատեսվում է օգ-

տագործել մի քանի ուղղությամբ, ապա ֆունկցիայի համապատասխան գումարելին հարկավոր է ներկայացնել ավելի ծավալուն տեսքով:

U_{ij} , $\mathcal{O}_{pi}$ մեծությունները նույնպես անհրաժեշտ է որոշել՝ հաշվի առնելով կոնկրետ պայմանները և հանքաքարի արդյունահանման ու վերամշակման համար ընդունված եղանակներն ու գործընթացները: Ուստի (3) և (4) արտահայտությունների ցուցանիշների մեծությունները դիտարկվող հանքավայրերի խմբերի համար հարկավոր է ներկայացնել առանձին-առանձին:

Այս առումով դիտարկման արժանի է ստորև բերվող երեք դեպք, երբ մշակվում են.

1) **նսկու** հանքավայր (Մոթքի և նմանատիպ հանքավայրեր), և որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է ուղղակի կամ անուղղակի ցիանավորմամբ ստացվող **Դորեի համաձուլվածք**,

2) **պղնձամոլիբդենային, պղնձի կամ ոսկի-բազմամետաղային** հանքավայր (օրինակ, Քաջարանի, Վայքի կամ Ոսկեծորի և նմանատիպ հանքավայրեր), և որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է համապատասխան **մետաղը** (նախատեսվում է ֆլոտացիայի եղանակով հանքաքարերի հարստացում և խտանյութերի մետալուրգիական վերամշակմամբ համապատասխան մետաղի արտադրում),

3) **երկաթի** հանքավայր (Հրագդանի և նմանատիպ հանքավայրեր), և որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է **մաքուր երկաթը** (նախատեսվում է թաց մագնիսական զատման եղանակով հանքաքարի հարստացում, խտանյութի գնդիկավորում, ուղղակի վերականգնմամբ սպունգանման երկաթի ստացում և էլեկտրահալմամբ մաքուր երկաթի արտադրում):

1 *տ* հանքաքարի արդյունահանման և հարստացման բերված ծախսերը ներկայացնում են ինքնարժեքի և նորմատիվ (ընդունելի) շահույթի գումարը [10].

$$\bar{\sigma}_p = F_{w,i} + \frac{K_w}{T_{\text{ետ}}}, \quad (5)$$

որտեղ $F_{w,i}$ -ն 1 *տ* հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման բերված ծախսերն են, $U\mathcal{U}\mathcal{L}$ *դոլ./տ* (դրամ/տ), K_w -ն՝ հանքահարստացման կոմբինատի տարեկան արտադրողականության 1 *տ*-ի գծով տեսակարար կապիտալ ներդրումները, $U\mathcal{U}\mathcal{L}$ *դոլ.× տարի/տ* (*դրամ× տարի/տ*), $T_{\text{ետ}}$ -ն՝ կապիտալ ներդրումների ետգնման նորմատիվ (ընդունելի) ժամկետը, *տարի*:

Եթե որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է այս կամ այն տեսակի մետաղը, ապա բերված ծախսերը հանդիսանում են հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման ու ստացված խտանյութի մետալուրգիական վերամշակման բերված ծախսերի գումարը.

$$\bar{\mathcal{O}}_{p,d} = \bar{\mathcal{O}}_p + \gamma \bar{\mathcal{O}}_{p,d,q}, \quad (6)$$

որտեղ $\bar{\mathcal{O}}_{p,d,q}$ -ն 1 տ խտանյութի մետալուրգիական վերամշակման բերված ծախսերն են, *ԱՄՆ դոլ./տ (դրամ/տ)*,

(6) բանաձևով բերված ծախսերը որոշվում են վերոնշյալ 1-ին և 2-րդ դեպքերի համար:

Ինչ վերաբերում է 3-րդ դեպքին, երբ որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է հանքաքարի ու, այնուհետև, խտանյութի վերամշակման արգասիք հանդիսացող մաքուր երկաթը, պատկերը մի փոքր այլ է: Այս դեպքում մաքուր երկաթի ստացման բերված ծախսերը կազմվում են հանքաքարի արդյունահանման և թաց մագնիսական զատմամբ հարստացման, երկաթի խտանյութի գնդիկավորման ու սպունգանման երկաթի ստացման, սպունգանման երկաթի էլեկտրահալմամբ մաքուր երկաթի արտադրման բերված ծախսերի գումարով:

$$\bar{\mathcal{O}}_{p,d,h} = \bar{\mathcal{O}}_p + \gamma (\bar{\mathcal{O}}_{p,q} + \bar{\mathcal{O}}_{p,m,q}) + \gamma_{u,h} \bar{\mathcal{O}}_{p,t,h}, \quad (7)$$

որտեղ $\bar{\mathcal{O}}_{p,q}$ -ն, $\bar{\mathcal{O}}_{p,m,q}$ -ն և $\bar{\mathcal{O}}_{p,t,h}$ -ն՝ համապատասխանաբար 1 տ հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման, 1 տ խտանյութի գնդիկավորման, 1 տ գնդիկավորված երկաթի ուղղակի վերականգնմամբ սպունգանման երկաթի ստացման, 1 տ սպունգանման երկաթի էլեկտրահալման բերված ծախսերն են, *ԱՄՆ դոլ./տ (դրամ/տ)*, γ -ն և $\gamma_{u,h}$ -ն՝ համապատասխանաբար հանքաքարից խտանյութի, խտանյութից սպունգանման երկաթի ելքերը, *միավորի մաս*:

Ակնհայտ է, որ $\bar{\mathcal{O}}_{p,q}$, $\bar{\mathcal{O}}_{p,m,q}$ և $\bar{\mathcal{O}}_{p,t,h}$ մեծությունները որոշվում են (5) բանաձևին համանման արտահայտություններով՝ տեղադրելով դրանցում տվյալ գործընթացին համապատասխանող ցուցանիշները:

1-ին դեպքում, երբ մշակվում է **սսկու** հանքավայր (Սոթքի և նմանատիպ հանքավայրեր), և որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է ուղղակի կամ անուղղակի ցիանավորմամբ ստացվող **Դորեի համաձուլվածքը**, 1 տ հանքաքարի **կորզվող արժողությունը** նպատակահարմար է որոշել հետևյալ բանաձևով [11].

$$U_y^T = \alpha_w \varepsilon Q_q, \quad (8)$$

որտեղ α_w -ն օգտակար բաղադրիչի պարունակությունն է արդյունահանված հանքաքարում, $q/տ$, ε^2 -ն՝ Դորեի համաձուլվածք ոսկու կորզման գործակիցը, միավորի մաս, Q_q -ն՝ Դորեի համաձուլվածքում 1 գրամ ոսկու գինը, *ԱՄՆ դոլ./գ (դրամ/գ)*:

Ակնհայտ է, որ α_w -ն ներկայացնում է ընդերքում օգտակար բաղադրիչի պարունակության (α) և արդյունահանման ժամանակ հանքաքարի որակի փոփոխման գործակցի (K_n) արտադրյալը:

Դորեի համաձուլվածք ոսկու կորզման գործակիցը (ε^2 , *միավորի մասեր*) որոշվում է հետևյալ բանաձևով [11]՝

$$\varepsilon^2 = 1 - \frac{\theta}{\alpha K_n}, \quad (9)$$

որտեղ θ -ն հարստացման պոչանքներում ոսկու պարունակությունն է, $q/տ$:

2-րդ դեպքում, երբ մշակվում է **պղնձամոլիբդենային, պղնձի կամ ոսկի-բազմամետաղային** հանքավայր (օրինակ, Քաջարանի, Վայքի կամ Ոսկեձորի և նմանատիպ հանքավայրեր), և որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է համապատասխան **մետաղը** (նախատեսվում է ֆլոտացիայի եղանակով հանքաքարերի հարստացում և խտանյութերի մետալուրգիական վերամշակմամբ համապատասխան մետաղի արտադրում), 1 տ հանքաքարի **կորզվող արժողությունը** որոշվում է հետևյալ բանաձևով [2].

$$U_{q, \theta} = Q_{\theta} \gamma_{\theta}, \quad (10)$$

որտեղ Q_{θ} -ն մետաղի գինն է, $U \text{ ՄՆ դր./տ (դրամ/տ)}$, γ -ն՝ հանքաքարից խտանյութի ելքը, *միավորի մաս*, γ_{θ} -ն՝ խտանյութից մետաղի ելքը, *միավորի մաս*:

Մետաղի հաշվեկշռի հաշվառմամբ՝ օգտակար բաղադրիչի՝ հանքաքարից խտանյութի կորզման գործակիցն այս դեպքում որոշվում է հետևյալ բանաձևով [2, 12].

$$\varepsilon = \frac{\beta \gamma}{\alpha K_n}, \quad (11)$$

որտեղ β -ն մետաղի պարունակությունն է համանուն խտանյութում, $\% (q/տ)$:

Հանքաքարից խտանյութի ելքը որոշվում է հետևյալ բանաձևով

$$\gamma = \frac{\alpha K_n - \theta}{\beta - \theta} : \quad (12)$$

Օգտակար բաղադրիչի պարունակությունը հարստապոչերում արտահայտվում է հետևյալ ուղղագիծ հավասարմամբ [7].

$$\theta = a \alpha K_n + b, \quad (13)$$

որտեղ a -ն ու b -ն տվյալ տիպի հանքաքարի վերամշակման դեպքում հաստատուն գործակիցներ են, *միավորի մաս*:

3-րդ դեպքում, երբ մշակվում է **երկաթի** հանքավայր (Հրազդանի և նմանատիպ հանքավայրեր), և որպես վերջնարտադրանք դիտարկվում է **մաքուր եր-**

կաթը (նախատեսվում է թաց մագնիսական զատման եղանակով հանքաքարի հարստացում, խտանյութի գնդիկավորում, ուղղակի վերականգնմամբ սպունգանման երկաթի ստացում և էլեկտրահալմամբ մաքուր երկաթի արտադրում), 1 տ հանքաքարի **կորզվող արժողությունը** որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$U_{k,b} = \gamma \gamma_{u,b} \gamma_{d,b} Q_{d,b}, \quad (14)$$

որտեղ γ -ն, $\gamma_{u,b}$ -ն և $\gamma_{d,b}$ -ն համապատասխանաբար հանքաքարից խտանյութի, խտանյութից սպունգանման երկաթի և սպունգանման երկաթից մաքուր երկաթի ելքերն են, *միավորի մաս*, $Q_{d,b}$ -ն՝ 1 տ մաքուր երկաթի գինն է, *ԱՄՆ դոլ./տ (դրամ/տ)*:

Եզրակացություն.

1. Ընդերքօգտագործման ոլորտի խնդիրներն անհրաժեշտ է լուծել մեկ-միասնական օպտիմալության չափանիշի հիման վրա:

2. Հանքավայրերի համալիր յուրացման աստիճանը էապես ազդում է շահագործման արդյունավետության վրա:

3. Հանքավայրերի համալիր շահագործման խնդիրների լուծման օպտիմալության չափանիշը հիմնական, ուղեկից (լեռնամետալուրգիական թափոնների օգտահանում) արտադրությունների արդյունավետությունների և շրջակա միջավայրին հասցվող վնասի (թափոնների տեղավորման համար հատկացվող հողատարածքների օտարում) հանրահաշվական գումարի առավելարկումն է:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Агабалян Ю.А.** Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые).- Saarbrücken (Германия): Palmarium Academic Publishing, 2015.- 288 с.
2. **Աղաբալյան Յու.Ա., Հովհաննիսյան Ա.Հ., Բաղդասարյան Ա.Թ.** Պինդ օգտակար հանածոների հանքավայրերի արդյունաբերական գնահատում և մշակման պարամետրերի օպտիմալացում: Դասագիրք / ՀԱՊՀ. –Եր.: Ճարտարագետ, 2017. -260 էջ:
3. **Фейтельман Н.М.** Об экономической оценке минеральных ресурсов//Вопросы экономики.- 1968.- № 11.- С. 58-75.
4. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьеров.- М.: Недра, 1970.- 319 с.
5. **Арсентьев А.И.** Планирование развития горных работ в карьерах.- М.: Недра, 1972. -152 с.
6. **Агабалян Ю.А.** Фактор времени и определение оптимальных параметров месторождений и рудников.- Ереван: Айастан, 1990. -78 с.
7. **Агабалян Ю.А.** Теория и практика оптимального освоения недр.-М.: Недра, 1994. -176 с.
8. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений // Экономическая газета.- 1981. -С. 2-3.

9. **Агошков М.И.** Определение производительности рудника.- М.: Металлургиздат, 1948.- 272 с.
10. Горная энциклопедия. / Гл. ред. **Е.А. Козловский**; Ред. кол.: **М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев** и др. – М.: Сов. энциклопедия. 1989.- Т.4.-623 с.
11. **Агабян Ю.А.** Методология оптимального освоения недр // Вестник Государственного инженерного университета Армении. – Ереван, 2012.-Вып. 15, N1.-С. 56-65.
12. **Зверевич В.В., Перов В.А.** Основы обогащения полезных ископаемых. –М.: Недра, 1971.-261 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.07.2019:

А.Т. БАГДАСАРЯН

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Произведен анализ существующих критериев оптимальности решения задач эксплуатации месторождений. Основываясь на критерии оптимальности “максимальная дифференциальная рента или сверхнормативная прибыль за весь срок отработки месторождения”, обосновывается тот критерий оптимальности, который учитывает также комплексное освоение месторождений. В соответствии с обоснованным критерием оптимальности сформулирована целевая функция, которая представляет собой максимизацию алгебраической суммы эффектов основного (добыча и переработка полезного ископаемого) и попутного (утилизация отходов горнометаллургического производства – вскрышных пород, хвостов обогащения и металлургических шлаков) производств и ущерба, наносимого окружающей среде (отчуждение земельных участков для расположения отходов).

Ключевые слова: месторождение, комплексная эксплуатация, критерий оптимальности, утилизация отходов, эффективность.

A.T. BAGHDASARYAN

**SUBSTANTIATING THE SELECTION OF THE OPTIMALITY
CRITERION AT THE COMPLEX DEVELOPMENT OF DEPOSITS BY
THE OPEN METHOD**

An analysis of the existing optimality criteria for solving the problems of development of deposits is carried out. Based on the optimality criterion “maximum differential rent or excess profits for the entire period of mining a field”, the optimality criterion is justified, which also takes into account the integrated development of the field deposits. In accordance with the justified optimality criterion, the objective function is formulated, which is maximizing the algebraic sum of the effects of the main (mining and processing of mineral resources) and the associated (utilization of waste from mining and metallurgical production - overburden, tailings and metallurgical slag) production and damage to the environment (alienation of land for waste disposal).

Keywords: deposit, integrated development, optimality criterion, waste management, efficiency.

Ս.Ս. ՂԱՐՍԼՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ԲԱՑ ԵՎ ՍՏՈՐԳԵՏՆՅԱ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՇՐՋԱԿԱ
ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՎՐԱ ԲԱՑԱՍՄԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ
ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ

Այսօր արդիական է հանքավայրի բաց մշակման եղանակի կիրառության մեծացումը՝ ի հաշիվ ստորգետնյա եղանակի բացառման:

Աշխատանքում Սոթքի ոսկու հանքավայրի օրինակով ներկայացված են համակցված՝ բաց և ստորգետնյա եղանակներով մշակման դեպքում մթնոլորտ արտանետվող վնասակար նյութերի և շրջակա միջավայրին հասցվող վնասի քանակական տարբերությունները:

Առանցքային բառեր. ստորգետնյա, հանքավայր, մշակում, արտանետում, բացահանք, շմագ, ազդեցություն:

Ներածություն: Սոթքի ոսկու հանքավայրի արդյունաբերական յուրացումը սկսվել է դեռևս 1976 թվականից, երբ մշակվել է հանքավայրի շահագործման առաջին նախագիծը: Հանքավայրը շահագործվել է համակցված եղանակով. ստորգետնյա եղանակով արդյունահանվել է տարեկան 500.0 հազ.տ, իսկ բաց եղանակով՝ տարեկան 250 հազ.տ հանքաքար: Մակայն այսօր հանքավայրի մշակումն իրականացվում է միայն բաց եղանակով տարեկան 1 մլն.տ արտադրողականությամբ՝ հետագայում նախատեսվելով միայն այս եղանակով շահագործումը:

Շրջակա միջավայրին հասցվող վնասի տեսանկյունից՝ բաց եղանակով հանքավայրի շահագործման հիմնական թերություններն են.

- լցակույտերի մեծ ծավալները, հետևաբար՝ նաև դրանց հատկացվող հողային մակերեսները,

- դատարկ՝ մակաբացման ապարների զգալի ծավալների հետ կապված՝ նախապատրաստական, փխրեցման, հանութաբարձման, տեղափոխման և բեռնաթափման աշխատանքները,

- մեծ մակերեսներով հողային տարածքների խախտումները,
- ավտոտրանսպորտի տեղաշարժի համար նախատեսվող ճանապարհների երկարության մեծացումը,

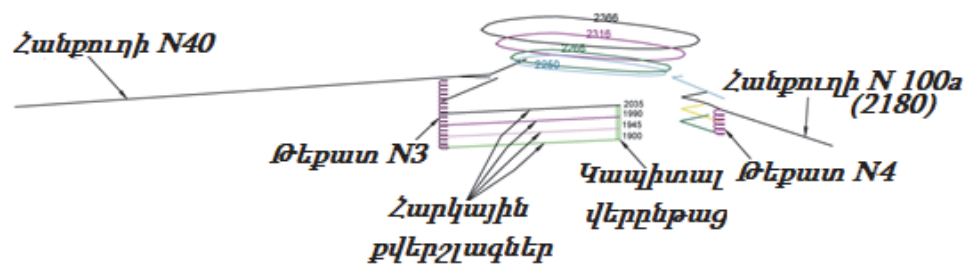
- ընդերքի ջրային հաշվեկշռի խախտումը,

- լանդշաֆթի զգալի փոփոխությունը:

Սոթքի հանքավայրի գործունեությունից շրջակա միջավայրի վրա ազդեցությունը որոշվում է միջավայրին հասցված տնտեսական վնասով: Տնտեսական վնասի հաշվարկը կատարվում է պայմանական միավորներով և ենթակա չէ վճարման, սակայն նրա մեծությունը պատկերացում է տալիս շրջակա միջավայրի վրա ձեռնարկության գործունեության ազդեցության մասին: Տնտեսական վնասը որոշված է ՀՀ-ում գործող կարգի համաձայն [1-4]:

Վերջինս առավել պատկերավոր դարձնելու նպատակով՝ որոշվել են մթնոլորտ արտանետումների քանակները, մակերևութային ջրահոսքերը և հողային ռեսուրսների վրա ազդեցության չափը, ինչի հիման վրա հաշվարկվել է տնտեսական վնասի չափը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: [5] աշխատանքում հիմնավորված է Սոթքի ոսկու հանքավայրի համակցված՝ բաց-ստորգետնյա եղանակով շահագործման օպտիմալությունը: Սահմանվել է, որ մինչև 2257 մ հորիզոնը շահագործումն առավել նպատակահարմար է իրականացնել բաց, իսկ այդ հորիզոնից ներքև՝ ստորգետնյա եղանակով (նկ.1):



Նկ. 1. Սոթքի ոսկու հանքավայրի համակցված՝ բաց-ստորգետնյա եղանակով շահագործման սխեման

[6] աշխատանքում Սոթքի ոսկու հանքավայրի համար կատարվել է օպտիմալ ստորգետնյա մշակման համակարգերի ընտրություն, համաձայն որի, կախված հանքային մարմնի հզորությունից և հանքաքարային զանգվածում ոսկու պարունակությունից, ընտրվել են հետևյալ մշակման համակարգերը.

- մինչև 3 մ հզորությամբ հանքային մարմնի կամ նրա առանձին մասերի մշակման համար օպտիմալ է վարընթաց շերտերի հանումով, միջշերտային սահմանազատող երկաթբետոնե երեսակով քերաշերտի տեղակայանքով հանքաքարի առերևմամբ մշակման համակարգը, իսկ 3 մ-ից մեծ հզորության դեպքում՝ վարընթաց շերտերի հանումով, պնդացող լցանյութով լցափակմամբ և ինքնագնաց սարքավորումների օգտագործմամբ մշակման համակարգի երկու տարբերակները [6],

- հանքային զանգվածում մինչև 2 *գ/տ* ուսկու պարունակությամբ և 8 *մ*-ից մեծ հզորությամբ հանքային մարմնի կամ նրա առանձին մասերի մշակման համար օպտիմալ է ենթահարկային փուլում, ճակատային արտաթողմամբ մշակման համակարգը, իսկ ուսկու 2 *գ/տ*-ից բարձր պարունակության դեպքում՝ վարընթաց շերտերի հանումով, պնդացող լցանյութով լցափակմամբ մշակման համակարգը:

Շահագործական աշխատանքների արդյունքում.

- մթնոլորտ է արտանետվում ինչպես փոշի, այնպես էլ վնասակար գազեր: Փոշեգոյացման հիմնական աղբյուրներն են հորատանցքերի և պայթանցքերի հորատման, հանութաբարձման, բեռնաթափման և պնդացող լցանյութի պատրաստման աշխատանքները, ինչպես նաև անվադողերի և ճանապարհի ծածկի միջև շփումը, թափքերից և լցակույտի մակերևույթից արտափչումը: Վնասակար գազերը հիմնականում առաջանում են հորատման, հանութաբարձման և տեղափոխման սարքավորումների ու մեքենաների շարժիչներում վառելանյութի այրման հետևանքով,

- տեղի է ունենում ջրային ռեսուրսների աղտոտվածություն,

- դեգրադացվում, աղբոտվում և աղտոտվում են հողային ռեսուրսները:

Համակցված հաջորդաբար շահագործումը ենթադրում է. նախ՝ հանքավայրի բաց եղանակով շահագործում մինչև 2257 *մ*/հորիզոնը, այնուհետև՝ անցում ստորգետնյա եղանակով մշակմանը:

Համեմատական գնահատականի համար դիտարկվել են հանքավայրի շահագործման հետևյալ տարբերակները.

1) երբ հանքավայրի շահագործումը 2257 *մ*/հորիզոնից ներքև շարունակվում է միայն բաց եղանակով՝ 1 *մ/ն տ/տարի* արտադրողականությամբ,

2) երբ հանքավայրի շահագործումը 2257 *մ*/հորիզոնից ներքև շարունակվում է իրականացվել ստորգետնյա եղանակով՝ 1 *մ/ն տ/տարի* արտադրողականությամբ: Պետք է հաշվի առնել, որ բացահանքն արդեն հասել է համակցված եղանակով շահագործման օպտիմալ սահմաններին [5]:

Շրջակա միջավայրի աղտոտումից տնտեսական վնասը համալիր մեծություն է և որոշվում է որպես վնասների գումար (φ), որոնք աղտոտող գոտու սահմաններում հասցվում են ռեցիպիենտների առանձին տեսակներին: Հիմնական ռեցիպիենտներ են բնությունը, գյուղատնտեսական հանդակները, անտառային ռեսուրսները, բուսական և կենդանական աշխարհը և այլն:

$$\varphi = \varphi_{\text{Մ}} + \varphi_{\text{Ջ}} + \varphi_{\text{Հ}} + \varphi_{\text{ՀՕ}} + \varphi_{\text{անտ.տնտ.}}, \quad (1)$$

որտեղ $\varphi_{\text{Մ}}$ -ն վնասակար նյութերի մթնոլորտ արտանետումներից հասցված տարեկան գումարային վնասն է, $\varphi_{\text{Ջ}}$ -ն՝ ջրավազաններ թափվող վնասակար նյութե-

րից հասցված տարեկան գումարային վնասը, Ψ_z -ն՝ հողերի դեգրադացիայից, աղ-
բոտումից և աղտոտումից հասցված տարեկան վնասը, Ψ_{zo} -ն՝ հողերի օտարու-
մից հասցված տարեկան վնասը, $\Psi_{անտ.տնտ.}$ -ն՝ անտառային տնտեսությանը հասց-
ված վնասը:

Վնասակար նյութերի մթնոլորտ արտանետումների հետևանքով շրջակա
միջավայրին հասցված տնտեսական վնասի հաշվարկը կատարվում է հետևյալ
բանաձևով՝

$$U = \sum_i \Psi_i \Phi_i \sum_j P_j, \quad (2)$$

որտեղ U -ն ազդեցությունն է, $\eta_{բաւ}$, $\sum_j$ -ն՝ աղտոտող աղբյուրի շրջապատի գոր-
ծակիցը, Ψ_i -ն՝ i -րդ նյութի համեմատական վնասակարությունն արտահայտող
մեծությունը, Φ_i -ն՝ փոխանցման գործակիցը, $\Phi_i = 1000 \eta_{բաւ}$, P_i -ն՝ i -րդ նյութի ար-
տանետումների Ψ_i քանակի հետ կապված գործակից, որը հաշվում են (3) բանա-
ձևով՝

$$P_i = q(3S_{\text{ու}} - 2U\theta U_i), \quad (3)$$

որտեղ $S_{\text{ու}}$ -ն i -րդ նյութի արտանետման քանակն է, $u/u_{բաւ}$, q -ն՝ գործակից. ան-
շարժ աղբյուրների դեպքում՝ $q = 1$, շարժական աղբյուրների (ավտոտրանսպորտի)
դեպքում՝ $q = 3$ [2], $U\theta U_i$ -ն i -րդ նյութի սահմանային թույլատրելի արտանետման
մեծությունը, $u/u_{բաւ}$:

Հաշվարկման ենթակա է մթնոլորտային օդի, ջրային ավազանի և հողերի
աղտոտումից հասցվող տնտեսական վնասը: Տնտեսական վնասի հաշվարկը
կատարվում է [2-4] ՀՀ-ում գործող կարգերի համաձայն:

Հողային ռեսուրսների վրա ազդեցությունը 2 տեսակ է՝ ուղղակի և անուղ-
ղակի: Ստորգետնյա հանքի շահագործման ընթացքում հողային ռեսուրսների վրա
ուղղակի ազդեցությունը բացակայում է: Հողի վրա անուղղակի ազդեցություն-
ները հնարավոր են ձեռնարկության փոշեգազային արտանետումների հետևան-
քով:

Մթնոլորտում վնասակար արտանետումները մասնակի ցրումից հետո
նստում են հողի, բուսականության և ձնածածկույթի մակերևույթին [2]:

Ջրային ավազանի աղտոտվածության հետևանքով տնտեսական վնաս է
հասցվում հետևյալ չորս ոլորտներին.

- բնակչության առողջությանը,
- անտառային, գյուղատնտեսական և ձկնային տնտեսություններին,
- ջրային տնտեսությանը,
- արդյունաբերությանը [3]:

Հետազոտության արդյունքները: Վնասակար նյութերի մթնոլորտ արտանետումների և հողի վրա անուղղակի ազդեցությունների հետևանքով շրջակա միջավայրին հասցված տնտեսական վնասի հաշվարկի համար ելակետային տվյալներ են հանդիսացել աղ. 1-ում բերված մթնոլորտ վնասակար արտանետումները, որոնք հաշվարկվել են՝ համաձայն գործող մեթոդակարգերի [1,7-16]: Վերջիններս այսօր կիրառվում են տարբեր ձեռնարկությունների կողմից շրջակա միջավայրի վրա ազդեցության գնահատման («ՇՄԱԳ») համար:

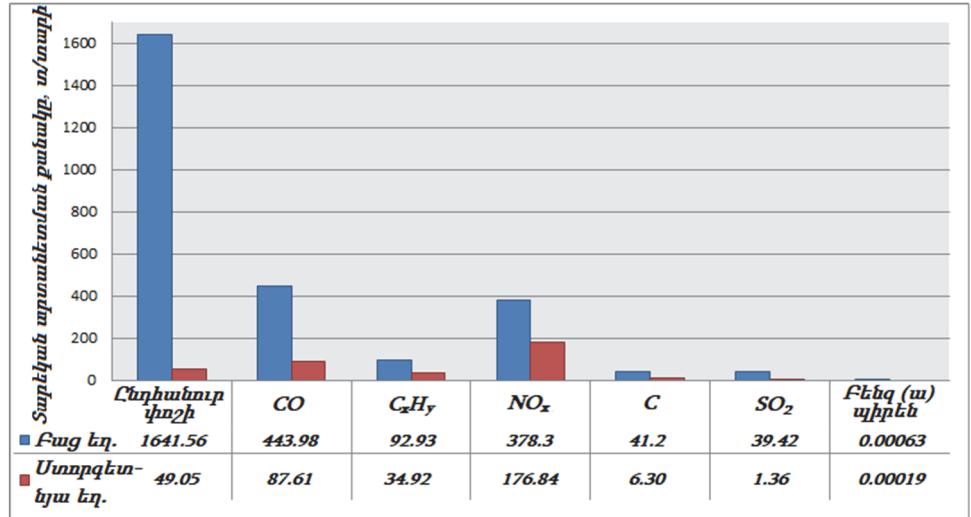
Աղյուսակ 1

Վնասակար արտանետումների որակական և քանակական բաղադրություններն ըստ դիտարկվող երկու տարբերակների

Հ/հ	Վնասակար նյութերի անվանումը	Վտանգավորության դասը	ՄԹԿ ամ. *մգ/մ³	Մթնոլորտ արտանետվող վնասակար նյութերի տարեկան քանակը, տ/տարի	
				բաց եղանակ	ստորգետնյա եղանակ
1	Հանքափոշի	3	0,3	1641,56	48,92
2	Ցեմենտի փոշի	3	0,3	0	0,13
3	Ածխածնի օքսիդ (CO)	4	5,0	443,98	87,61
4	Ածխաջրածիններ (C _x H _y)	2	1,5	92,93	34,92
5	Ազոտի օքսիդներ (NO _x)	2	0,2	378,3	176,84
6	Մուր (C)	3	0,15	41,2	6,3
7	Ծծմբային անհիդրիդ (SO ₂)	3	0,5	39,42	1,36
8	Բենզապիրեն	1	1·10 ⁻⁶	630·10 ⁻⁶	190·10 ⁻⁶
	Ընդամենը	-		2637,39	356,08

* - Սահմանային թույլատրելի կոնցենտրացիա, առավելագույն միանվագ [17]

Աղ. 1-ի արդյունքների հիման վրա կառուցվել է համեմատական գրաֆիկ (նկ. 2), որից պարզորոշ երևում է, թե որքան է կրճատվում մթնոլորտ արտանետումների քանակը, երբ անցում է կատարվում ստորգետնյա եղանակով մշակմանը:



Նկ 2. Բաղ և ստորգետնյա եղանակով մշակման դեպքում մթնոլորտ արտանետումների գրաֆիկական պատկերը

Սոթքի ոսկու հանքավայրի շահագործման արդյունքում շրջակա միջավայրի վրա ազդեցության համեմատական բնութագիրն ամփոփ տեսքով բերված է աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

Սոթքի ոսկու հանքավայրի շահագործման արդյունքում շրջակա միջավայրի վրա բացասական ազդեցության համեմատական գնահատականը

ՀՀ	Ցուցանիշի անվանումը	Չափ. միավորը	Ցուցանիշի արժեքը	
			բաղ եղանակ	ստորգետնյա եղանակ
1	2	3	4	5
Հողային ռեսուրսների վրա ազդեցության գնահատում				
1	Հողի դեգրադացիայի հետևանքով խախտված հողամասի արժեքը	մլն դրամ	28,8	0*
2	Հողի աղբոտման հետևանքով վնասված հողամասի արժեքը	մլն դրամ	212,5	0
3	Աղտոտման հետևանքով խախտված հողամասի արժեքը	մլն դրամ	7,08	7,45
Հողային ռեսուրսների վրա տնտեսական գործունեության հետևանքով առաջացած ազդեցության գնահատականը		մլն դրամ	720,96	16,63
Մթնոլորտային օդի աղտոտում				

Աղյուսակ 2-ի շարունակությունը

1	2	3	4	5
1	Մթնոլորտ արտանետվող վնասակար նյութերի տարեկան քանակը՝ պայթեցման աշխատանքների ժամանակ	տ	255,68	29,88
2	Ձեռնարկության ընդհանուր արտանետումները	տ	2637,39	356,08
	Մթնոլորտային արտանետումներից տնտեսությանը հասցված տնտեսական վնասը	մլն դրամ	130,5	43,94
Մակերևութային ջրահոսքեր				
	Թարմ աղբյուրակապային ջրի ծախսերը ձեռնարկության համար	հազ. մ³/տարի	104,0	72,3
	Հանքաջրերի օգտագործում	հազ. դրամ/տարի	266,48	127,805
	Սոթք գետը թափվող տնտեսա-կենցաղային հոսքաջրեր	հազ. մ³/տարի	10,325	10,192
	Սոթք գետը թափվող մաքրված հանքաջրերի քանակը	հազ. մ³/տարի	321,5	738,0
	Շրջանառու ջրի օգտագործում	հազ. մ³/տարի	9,3	1,15
	Ջրային ռեսուրսների աղտոտվածության հետևանքով տնտեսությանը հասցված տնտեսական վնասը	հազ.դրամ/տարի	494,0	1507,4
Լցակայաններ				
	Դատարկ ապարներ	մլն տ/տարի	17	0
	Շրջակա միջավայրին հասցված ընդհանուր տնտեսական վնասը (հող, օդ, ջուր)	մլն դրամ/տարի	1345,46	62,17

* - երկրորդ տարբերակում նոր լցակայաններ չեն առաջանում

Եզրակացություն: Ստորգետնյա եղանակով մշակման դեպքում.

- հողային ռեսուրսների վրա ազդեցությունը կրճատվում է մոտ 43 անգամ,
- մթնոլորտ արտանետումները կրճատվում են 7,4 անգամ, ընդ որում, միայն փոշու տեսքով արտանետումները կրճատվում են շուրջ 33,46 անգամ, իսկ վնասակար այլ գազերինը՝ 2,1-ից մինչև 28,9 անգամ,
- շրջակա միջավայրի աղտոտվածությունից ընդհանուր տնտեսական վնասը կրճատվում է 21,64 անգամ,
- ավելանում է միայն ջրային ռեսուրսների աղտոտվածության հետևանքով տնտեսական վնասի չափը՝ մոտ 3,05 անգամ: Այս երևույթը բացատրվում է նրանով, որ ավելանում է գետը թափվող հանքաջրերի քանակը: Բաց եղանակով մշակման ժամանակ այդ ջրերն օգտագործվում էին լեռնային զանգվածի և ճանապարհների ջրցանման համար՝ փոշենստեցման նպատակներով: Ստորգետնյա մշակման

Ժամանակ նման ծավալի ջրի կարիք չկա, որի հետևանքով այդ հանքաջրերը, նախնական մաքրումից հետո, թափվում են Սոթք գետը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с изменениями N 1, 2).-М., 2012.- 85с.
2. ՀՀ Կառավարության N 91-Ն որոշում «Մթնոլորտի վրա տնտեսական գործունեության հետևանքով առաջացած ազդեցության գնահատման կարգը հաստատելու մասին», 25.01.2005թ.
3. ՀՀ Կառավարության N 1110-Ն որոշում «Ջրային ռեսուրսների վրա տնտեսական գործունեության հետևանքով առաջացած ազդեցության գնահատման կարգ», 14.08.2003թ.
4. ՀՀ Կառավարության N 92-Ն որոշում «Հողային ռեսուրսների վրա տնտեսական գործունեության հետևանքով առաջացած ազդեցության գնահատման կարգը հաստատելու մասին», 25.01.2005թ.
5. **Оганесян А.Г., Карслян С.С.** Определение оптимальной границы между открытыми и подземными горными работами при комбинированной разработке Соткского золоторудного месторождения // Известия Кыргызского государственного технического ун-а им. И. Раззакова: Теоретический и прикладной научно-технический журнал.- 2018.- №3 (47).- С. 174-180.
6. **Карслян С.С.** Выбор оптимальной системы для подземной разработки Соткского золоторудного месторождения // Вестник НПУА: Металлургия, Материаловедение, Недропользование.- 2017.- №1.- С. 99-106.
7. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) и оценки экологического ущерба при эксплуатации различных видов карьерного транспорта.- М., 1994.- С. 18-26.
8. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий по производству строительных материалов.- Казахстан, 2008.- С. 21-22.
9. Методика, расчеты вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ.- Люберцы, 1999.- 46с.
10. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами.- Л.: Гидрометеиздат, 1986.- С. 9-52.
11. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с дымовыми газами отопительных и отопительно-производственных котельных.- Минжилкомхоз РСФСР, 1986.- 44с.
12. Нормативные показатели удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от основных видов технического оборудования.- Харьков, 1991.
13. **Кирпатовский И.П.** Охрана природы: Справочник.- М., 1980.- 376с.
14. Инструкция по нормированию водопотребления на транспортных предприятиях Минавтотранса Арм. ССР.- Ереван, 1987.- 30с.

15. Ջրային ռեսուրսներ թափվող կեղտաջրերի թույլատրելի սահմանային արտահոսքի չափաքանակների հաշվարկի մեթոդիկան հաստատելու մասին: ՀՀ Կառավարության N 464 - Ն որոշում, 10 դեկտեմբերի 2003թ.
16. Методика расчета предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты со сточными водами. – Харьков, 1990.- 112с.
17. ՀՀ Կառավարության N 160-Ն որոշումը «Բնակավայրերում մթնոլորտային օդն աղտոտող նյութերի սահմանային թույլատրելի խտությունների (կոնցենտրացիաների-ՄԹԿ) նորմատիվները հաստատելու մասին», 02.02.2006 թ.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.07.2019:

С.С. КАРСЛЯН

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТКРЫТЫМ И ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБАМИ

В настоящее время при эксплуатации месторождений часто отказываются от подземной разработки, предпочитая открытый способ. Данная проблема является весьма актуальной.

В настоящей работе на примере Соткского золоторудного месторождения показаны количественные различия выбрасываемых в атмосферу вредных веществ и ущерба окружающей среды в процессе комбинированной (открытым и подземным способами) разработки.

Ключевые слова: подземный, месторождение, разработка, выброс, карьер, ОВОС, воздействие.

S.S. GHARSLYAN

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT AT MINING THE DEPOSIT BY OPEN AND UNDERGROUND METHODS

At present, at mining the deposits, the open method is preferred to the underground mining. That problem is rather urgent.

In this work, using the example of the gold field in Sotq, the quantitative differences of harmful substances emitted into the atmosphere and the damage to the environment in the process of combined (open and underground methods) development are shown.

Keywords: underground, field, development, release, open pit, EIA, impact.

Լ.Ս. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

ՀԱՆՔԱԹԵՔԱՏՈՎ ԼԵՈՆԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ԳՐԱՎԻՏԱՑԻՈՆ ԹՈՂԱՆՑՄԱՆ ՏԵՍԱԿԱՆ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՑԻՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ներկայացվել են բացահայտում հանքաթեքատով հանքաքարի գրավիտացիոն եղանակով թողանցման տեսական և մոդելային հետազոտությունների արդյունքները: Տարբեր կառուցվածքներով մոդելային ստենդների վրա որոշվել է ապարակտորների թողանցման արագությունը, ինչպես նաև հորիզոնի նկատմամբ հանքաթեքատների մոդելային ստենդների տարբեր թեքությունների հաշվառմամբ կատարվել են համապատասխան հետազոտություններ, և մշակվել կախվածություններ՝ հանքաթեքատների սահմաններից ապարակտորների թռիչքի հեռավորության որոշման համար:

Առանցքային բառեր. հանքաթեքատ, մոդելավորում, մոդելային ստենդ, հանքաքար, թողանցում, գրավիտացիոն եղանակ, արագություն, ապարակտորների թռիչքի հեռավորություն:

Ներածություն: Բարդ ռելիեֆային պայմաններում տեղադրված բացահայտքերում հայտնի են բազմաթիվ եղանակներ, երբ լեռնային զանգվածը սեփական կշռի ազդեցությամբ հատուկ թեք փորվածքներով՝ ապարաթեքատներով, հանքաթեքատներով (հանքիջանցքներով) տեղափոխվում է դեպի հանքաքարի ընդունման հրապարակ կամ ստորգետնյա տարողություններ, այնուհետև՝ դեպի հանքաքարի ջարդման տեղամաս [1]:

Հանքաթեքատները, որոնք կառուցվում են լեռնային բացահայտքերի բնական թեքությունների վրա, հորիզոնի նկատմամբ իրենց թեքության անկյունով դասակարգվում են. թեք, զառիթափ և խիստ զառիթափ, համապատասխանաբար, մինչև 45° , $45\dots60^\circ$ և $60\dots80^\circ$ անկյուններով, ըստ ձևի՝ պլանում, պրոֆիլում և լայնական կտրվածքներով, սարքավորումների կառուցավորմամբ (ծածկի տիպով և ներքևի հրապարակում բարձր սարքավորման տեսակով):

Զառիթափ հանքաթեքատները սովորաբար կիրառվում են ամուր, մոնոլիտային (մենաքարային) ապարների թողանցման համար, որտեղ լեռնային զանգվածի անընդհատ աճող արագությունը դրան հաղորդում է զգալի կինետիկ էներգիա, ինչը կարող է նպաստել զանգվածի լրացուցիչ ջարդմանը: Մակայն, շինարարության համար անհրաժեշտ լեռնակապիտալ աշխատանքների կատարման մեծ ծավալների պատճառով, այս տիպի հանքաթեքատներն ունեն սակավ կիրառություն:

Բացահանքերում առավել լայն կիրառություն են ստացել այն հանքաթեքատները, որոնց կառուցման համար լեռնակապիտալ ծախսերը համեմատաբար քիչ են, և սարալանջի կամ բացահանքի կողի թեքության անկյունը մոտավորապես հավասար է հանքաթեքատի անկյանը:

Հանքաթեքատները զետեղարաններով և բարձող սարքավորումներով ավելի հաճախ կիրառվում են այնպիսի շրջաններում, որտեղ օդի ջերմաստիճանը բարձր է 0-ից, քանի որ ձմռանը լեռնային զանգվածը հանքաթեքատների ներքևի փակ մասում կարող է սառչել և առկախվել: Լեռնային զանգվածի առերևման վերջնական արագության նվազեցման համար, որպես կանոն, հանքաթեքատները հատկազօծում ունենում են շրջադարձի անկյուն: Այս դեպքում լեռնային զանգվածի առերևման արագությունը, շրջադարձային տեղամասերում կառուցված պաշտպանիչ պատին հարվածելուց հետո, զգալի կերպով նվազում է, և որքան շրջադարձային տեղամասի թեքության անկյունը մեծ է, այնքան կինետիկ էներգիան փոքրանում է [2]:

Հանքաթեքատներն իրենց հետագծով, առանց հիմքի վերին պաշտպանիչ ծածկի (մետաղական թերթեր, բետոն, ռելսեր և այլն), առավել պարզ են և տնտեսապես ձեռնտու: Այս դեպքում լեռնային զանգվածի թողանցման ժամանակ հնարավոր է թեքատի սահմաններից դուրս ապարակտորների թռիչքի երևույթների առաջացում, ինչը այլ պայմանների հետ միասին զգալիորեն պայմանավորված է հանքաթեքատի կտրվածքում սահքի ապարային մակերևույթի անհարթություններով:

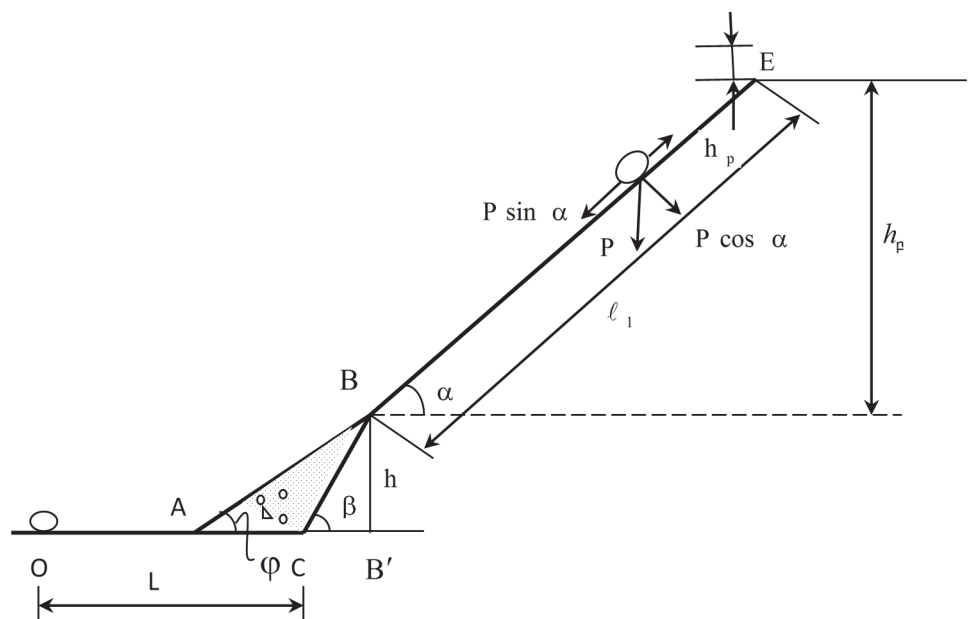
Հանքաթեքատներով լեռնային զանգվածի թողանցման ժամանակ ապարակտորների՝ հանքաթեքատի սահմաններից դուրս թռչելու պատճառով բացահանքի ներքին աշխատանքային հրապարակներում առաջանում են վտանգավոր գոտիներ: Այդ կապակցությամբ լեռնային ապարների թողանցման գործընթացի ուսումնասիրման համար առավել օբյեկտիվ տվյալներ հնարավոր է ստանալ արտադրական պայմաններում՝ համապատասխան հետազոտությունների կատարման միջոցով: Սակայն հայտնի է, որ արտադրական պայմաններում հանքաթեքատների ձևերի և պարամետրերի տարբերակների փոփոխումը և դիտարկումը կապված են զգալի դժվարությունների հետ, և դրանք, տարբերակների դիտարկումների դեպքում, գործնականում կիրառելի դառնում է անիրագործելի: Այդ կապակցությամբ հանքաթեքատի սահմաններից դուրս ապարակտորների թռիչքի սահմանները նպատակահարմար է որոշել ֆիզիկական մոդելային հետազոտություններով: Մոդելավորմամբ հնարավոր է որոշել նաև թողանցվող լեռնային զանգվածի ընդունող հրապարակի պարամետրերը, սահմանելով հանքաթեքատի հիմքին

հարող տեղամասում առանձին ապարակտորների թռիչքի հեռավորությունը հատակագծում, ինչպես նաև լեռնային զանգվածի ձևավորվող կիսվածքի պարամետրերը:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդի հիմնավորումը: Հանքաթեքատով լեռնային զանգվածի թողանցման ժամանակ ապարակտորների շարժման հիմնական տեսակներն են գլորումը և ցատկ առաջացնող շարժումները: Մոդելային փորձարկումների հիման վրա ցույց է տրվել, որ բավարար թեքությամբ լանջով անկանոն ձևերով լեռնային ապարների ցատկային շարժման դեպքում տեղի է ունենում ցատկերի աստիճանաբար մարում և անցում ապարակտորների գլորմանը [3]:

Հանքաթեքատներով ապարակտորների շարժմանը բնորոշ երկու տեսակների դեպքում ապարակտորների՝ հանքաթեքատի սահմաններից դուրս թռիչքի հաշվարկային հեռավորությունները որոշվում են ապարակտորների գլորման հաշվարկային արագությունների միջոցով՝ համաձայն հայտնի մեթոդի [4]:

Ինչպես ցույց է տրված նկ. 1 - ում, հանքաթեքատով շարժվող ապարակտորի անցած ճանապարհի սխեման բաժանվել է երեք տեղամասերի՝ EB, BA և AO:



Նկ. 1. Հանքաթեքատի մոդելային ստենդով թողանցման ժամանակ ապարակտորների արագության և թռիչքի հեռավորության որոշման հաշվարկային սխեման

Թողանցման EB տեղամասում ապարակտորի շարժումը հավասարաչափ արագացված է, և շարժման հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$F_1 = ma_1, \quad (1)$$

որտեղ F_1 -ը ապարակտորի շարժումն առաջացնող ուժն է, ℓ , m -ը՝ ապարակտորի զանգվածը, lq , a_1 - ը՝ ապարակտորի շարժման արագացումը, $l/\sqrt{p}l^2$:

Հաշվի առնելով, որ $F_1 = mg(\sin \alpha - f \cos \alpha)$, այստեղից՝

$$a_1 = g(\sin \alpha - f \cos \alpha), \quad (2)$$

որտեղ f -ը ապարակտորի և հանքաթեքատի հիմքի ապարի միջև արտաքին շփման գործակիցն է:

Հանքաթեքատի B կետում արագությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [5].

$$v_B = \sqrt{2\ell_1 a_1} + v_0^2, \quad (3)$$

որտեղ ℓ_1 - ը հանքաթեքատի EB տեղամասի երկարությունն է, u :

BA տեղամասում շարժումը հավասարաչափ է, այսինքն՝ $F_2 = 0$ և $a_2 = 0$ և ապարակտորի շարժման արագությունը հաստատուն է: A կետում արագությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$v_A = v_B \cos(\alpha - \varphi) = \cos(\alpha - \varphi) \cdot \sqrt{2\ell_1 a_1} + v_0^2, \quad (4)$$

որտեղ φ -ն ապարակտորների լցվածքի բնական թեքման անկյունն է, *այսինքն*:

AO տեղամասում շարժումը հավասարաչափ դանդաղող է, որի շարժման հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{1}{2} m(v^2 - v_A^2) = -mgf: \quad (5)$$

O կետում արագությունը հավասար է զրոյի, AO հեռավորությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$AO = \frac{v_A^2}{2gf}: \quad (6)$$

v_0 սկզբնական արագությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$v_0 = \sin \alpha \sqrt{2gh_p}, \quad (7)$$

որտեղ α -ն հանքաթեքատի հորիզոնի նկատմամբ թեքության անկյունն է, *այսինքն*, g -ն՝ ապարակտորի ազատ անկման արագացումը, $l/\sqrt{p}l^2$, h_p -ն՝ հանքաթեքատով հանքաքարի թողանցման բարձրությունը, u :

OC տեղամասում ապարակտորի թռիչքի հեռավորությունը՝

$$OC = AO + AC, \quad (8)$$

որտեղ՝

$$AC = h(ctg\varphi - ctg\beta): \quad (9)$$

Տեղադրելով (2), (4), (6) և (9) արտահայտությունները (8) բանաձևում, ստացվում է լեռնային ապարային զանգվածի հանքաթեքատից ապարակտորների թռիչքի հեռավորության որոշման արտահայտությունը.

$$OC = \frac{1}{f} \cos^2(\alpha - \varphi) \cdot \cos^2 \varphi [l_1(\sin \alpha - f \cos \alpha) + \sin^2 \alpha h_p] + h(ctg\varphi - ctg\beta), \quad (10)$$

որտեղ h –ը թողանցված ապարակտորների դարսակի բարձրությունն է, l_1 , f –ը՝ թողանցվող ապարի հանքաթեքատի հիմքի ապարի հետ կազմած արտաքին շփման գործակիցը, β –ն՝ հանքաթեքատի վերջնամասի թեքության անկյունը, $h_{տ.}$, h –ը՝ հանքաթեքատի վերջնամասի բարձրությունը, l_1 :

Վերևում նշված հայտնի մեթոդով հանքաթեքատով թողանցվող ապարակտորների թռիչքի հեռավորության որոշման (10) բանաձևը ոչ միշտ է տալիս ճշգրիտ արդյունք, քանի որ պայթեցված լեռնային ապարային ցանկացած զանգված բաղկացած չէ միայն ապարակտորներից, այլ ներկայացնում է տարբեր ձևերի և չափերի կտորների համախումբ, որտեղ հատիկաչափական կազմի չափամասերի մեծությունը տատանվում է միլիմետրի հազարերորդական մասերից մինչև մետրեր: Բացի դրանից, հանքաթեքատով լեռնային զանգվածի շարժման բնութագիրը պայմանավորված է նաև լեռնային զանգվածում առանձին մասնիկների ձևերով, չափերով և մասնիկների ու հանքաթեքատի կտրվածքի ապարների միջև շփման գործակցով:

Ակնհայտ է, որ լեռնային զանգվածի հանքաթեքատով թողանցման բնութագիրը և հատկությունները ամբողջովին որոշվում են նրա բաղադրիչների առանձին չափամասերի հատկություններով և միավոր ծավալում դրանց հարաբերակցությամբ:

Այդ կապակցությամբ ապարային կտորների շարժման արագությունը և դրանց թռիչքի հեռավորությունը որոշվում են՝ կախված այդ գործոններից [5]:

Մեր կողմից կատարված ուսումնասիրությունների ժամանակ պահպանվել են համակարգի նմանության պայմանները և մոդելային հետազոտություններին ներկայացվող պահանջները [6]:

Մասնավորապես, բնական պայմաններում և մոդելավորման ժամանակ ապարակտորների շարժման արագության մասշտաբի որոշման համար, ըստ Ֆրուդի չափանիշի, օգտագործվել է հետևյալ արտահայտությունը [7]՝

$$a_v = \frac{V_{\rho G}}{V_{\dot{m} \eta}} = \sqrt{\frac{\mathcal{G}_{\rho G} I_{\rho G}}{\mathcal{G}_{\dot{m} \eta} I_{\dot{m} \eta}}} : \quad (11)$$

Ծանրության դաշտում մոդելավորման ժամանակ ապարակտորների ազատ անկման արագացման մասշտաբը պետք է լինի հավասար մեկի, այսինքն՝

$$\mathcal{G}_{\rho G} = \mathcal{G}_{\dot{m}} :$$

Այստեղից (11) բանաձևը կրնո՞ւնի հետևյալ տեսքը.

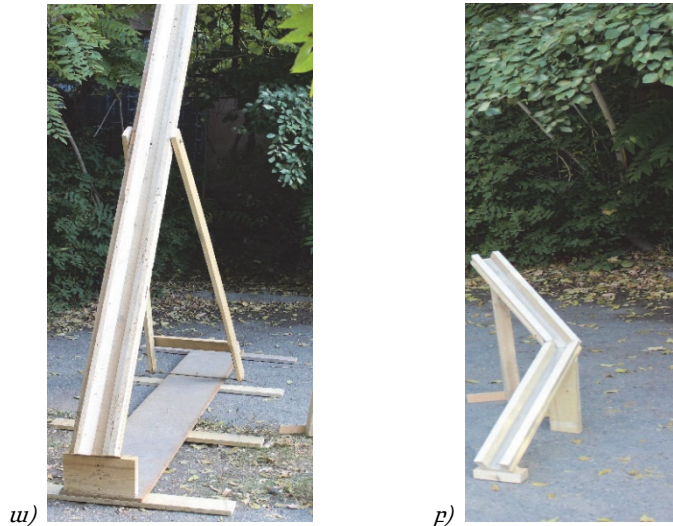
$$a_v = \sqrt{\frac{I_{\rho G}}{I_{\dot{m} \eta}}} = \sqrt{a_{q\delta}} , \quad (12)$$

որտեղ $V_{\rho G}$ -ն բնական պայմաններում ապարակտորների շարժման արագությունն է, $u/\sqrt{r l}$, $V_{\dot{m} \eta}$ -ը՝ հանքաթեքատի մոդելում ապարակտորի շարժման արագությունը, $u/\sqrt{r l}$, $a_{q\delta}$ -ը՝ գծային մասշտաբը, $\mathcal{G}_{\rho G}$ -ն՝ ազատ անկման արագացումը բնական պայմաններում, $u/\sqrt{r l^2}$, $\mathcal{G}_{\dot{m} \eta}$ -ը՝ ազատ անկման արագացումը մոդելում, $u/\sqrt{r l^2}$, $I_{\rho G}$, $I_{\dot{m} \eta}$ -ը՝ գծային չափերը, համապատասխանաբար, բնական և մոդելային պայմաններում, u :

Վերևում բերված (12) արտահայտությունից հետևում է, որ հանքաթեքատով ապարային զանգվածի թողանցման գործընթացի մոդելավորման ժամանակ, մոդելային ստենդում ապարների կտորների թռիչքի ուսումնասիրման և անվտանգ գոտու որոշման նպատակով, բավարար է պահպանել համակարգի երկրաչափական նմանությունը:

Հետազոտության արդյունքները: Թողանցման գործընթացի համալիր ուսումնասիրման և ապարակտորների թռիչքի հեռավորության և անվտանգ գոտու որոշման նպատակով աշխատանքում բերվել են նաև հանքաթեքատով լեռնային զանգվածի թողանցման մոդելավորման գործընթացի հետազոտությունների արդյունքները՝ ստացված տարբեր կառուցվածքներով մոդելային ստենդների վրա:

Հանքաթեքատի մոդելային ստենդները պատրաստվել են փայտից և ցույց են տրված նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Բացահանքի կողի վրա կառուցվող հանքաթեքատով լեռնային զանգվածի թողանցման պրոցեսի ուսումնասիրման մոդելային ստենդներ.
ա) ուղիղ առանցքով, բ) հատակագծում բեկված առանցքով միմյանց հոդակապերով միացված երկու հատվածամասերից բաղկացած մոդելային ստենդ

Հանքաթեքատի մոդել՝ ուղիղ առանցքով (նկ. 2 ա): Հանքաթեքատի այս մոդելի կտրվածքը սեղանաձև է, և փորձարկումների ժամանակ ապարային զանգվածի թողանցումը կատարվել է մոդելի հիմքով, որի կառուցվածքն ունեցել է.

- մոդելի հիմքի վրա սոսնձով ամրացված 0,5 մ/հ-ից փոքր ապարային չափամասեր,

- մոդելի հիմքի երկարությամբ ամրացված է եղել երկաթյա թիթեղ,

- մոդելային հետազոտության դեպքում ապարակտորների թողանցման համար մոդելային ստենդի թեքության անկյունն ապահովվում է մոդելի հիմնականաբար հիմքի վրա նախատեսված առանձին անշարժ հենարանների տեղադրման միջոցով: Վերջիններիս միջև հեռավորությունը նախագծվել է այնպես, որ մոդելի հենակի անշարժ հենարանների միջև տեղադրումով ապահովվում են մոդելային ստենդի հորիզոնի նկատմամբ թեքության տրված անկյունները:

Հատակագծում բեկված առանցքով հանքաթեքատի մոդել (նկ. 2 բ): Հանքաթեքատի այս մոդելը ներկայացնում է հատակագծում բեկված առանցքով և միմյանց հոդակապերով միացված երկու կամ ավելի հատվածամասերից բաղկացած փայտե ճոռ: Դա կառուցվել է թողանցվող լեռնային զանգվածի կինետիկ էներգիայի նվազեցման և թողանցման գործընթացի կառավարման նպատակով:

Հոդակապերով միմյանց միացված երկու կամ ավելի հատվածամասերի անկյունները փոփոխվում են իրարից անկախ: Դրանց աշխատանքային անկյուն-

ները հորիզոնի նկատմամբ կարող են փոփոխվել 40...90° սահմաններում, փոփոխման քայլը՝ կախված մոդելավորման փորձի կատարման պայմաններից, կազմում է 1°:

Լեռնային ապարային զանգվածի հանքաթեքատով թողանցման գործընթացի մոդելային ստենդով ուսումնասիրման համար վերցվել են «Զանգեզուրի ՊՄԿ» ՓԲԸ Քաջարանի բացահանքի մանր մանրահատիկ չափամասերի գրունտներ և ապարակտորներ:

Վերջիններիս չափերի և բացահանքի պայմաններում պայթեցված լեռնային զանգվածի ապարակտորների չափերի հարաբերությունը, ինչպես նաև պատրաստված մոդելների չափերը վերցված են 1:100 մասշտաբով:

Մոդելային հետազոտություններ կատարելիս պարզվել է, որ ոչ միշտ է հնարավոր լինում պահպանել բնական և մոդելային նյութերի կտորների գծային չափերի երկրաչափական նմանությունը: Փորձերը ցույց են տվել, որ մասշտաբային հարաբերակցությունները տրված ճշտությամբ պահպանվում են մոդելավորվող նյութի միայն խոշոր կտորների դեպքում, ինչը էական ազդեցություն չի գործում հետազոտման վերջնարդյունքի ճշտության վրա:

Բացահանքի ընդունման հրապարակում ապարակտորների թռիչքի հեռավորության որոշումը մոդելային հետազոտություններով: Մոդելային ստենդի ճոշին տրվում է որոշակի անկյունով թեքություն, և հանքաթեքատի մոդելի վերջնամասը ամրացվում է ընդունման հորիզոնական հարթությունից 10 սմ բարձրության վրա: Այնուհետև ստենդի վերին ծայրից բաց թողնելով ապարների կտորները, ընդունման հրապարակի վրա մոդելի վերջնամասում ֆիքսվում է ապարակտորի թռիչքի L հեռավորությունը ընդունման հարթության վրա: Փորձերը կրկնվել են մոդելային ստենդի հորիզոնի նկատմամբ թեքության մի շարք անկյունների դեպքում:

Նկ. 2-ում բերված հանքաթեքատի մոդելային ստենդներով հորիզոնի նկատմամբ տարբեր թեքությունների դեպքում հետազոտությունների կատարման ընթացքում իրականացվել են համապատասխան չափումներ: Մոդելային հետազոտություններով կատարված չափումների արդյունքները, ըստ նկ. 2 –ում բերված (նկ. 2 ա) ուղիղ և հատակագծում բեկված առանցքով (նկ. 2 բ) ու միմյանց հետ հողակապերով միացված երկու հատվածամասերից բաղկացած մոդելային ստենդների դեպքում, բերված են, համապատասխանաբար, աղ. 1...2-ում, ինչպես նաև նկ. 3 ... 4-ում:

Ապարակտորների՝ մոդելավորման ստենդներով թողանցման ժամանակ վերջիններս թռչելով ցրվում են ընդունման հրապարակում հանքաթեքատի հիմքից տարբեր ուղղություններով, որոնց հեռավորությունները տարբերվում են (10) արտահայտությամբ որոշված արժեքներից: Մոդելավորմամբ ստացված արդ-

յունքների հարաբերական շեղումը հաշվարկայինից կազմում է շուրջ 20...30%, ինչը վկայում է հանքաթեքատով լեռնային զանգվածի թողանցման անվտանգ գոտու չափերի որոշման անալիտիկ արտահայտության ոչ բավարար չափով ճշտության մասին:

Աղյուսակ 1

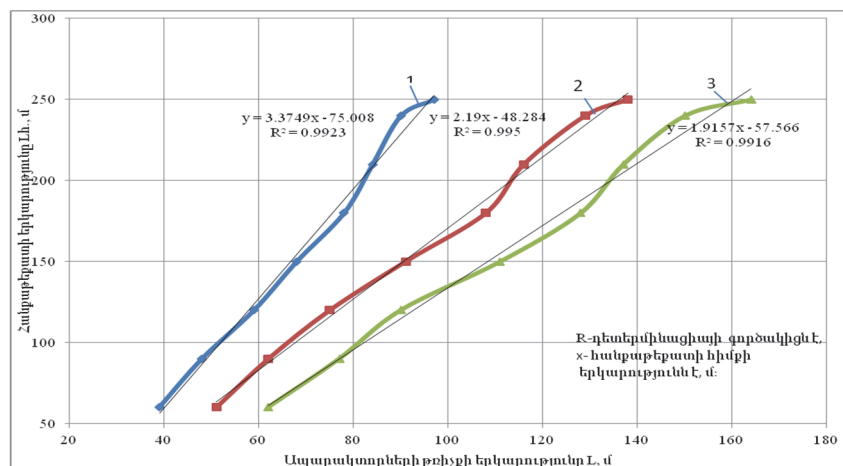
Հանքաթեքատի ' ուղիղ առանցքով մոդելի դեպքում ապարակտորների թռիչքի հեռավորությունների որոշման արդյունքները

Հանքաթեքատի մոդելի թեքության անկյունը, <i>աստ.</i>	Ապարակտորների թռիչքի հեռավորությունը, <i>սմ</i>							
	Հանքաթեքատի երկարությունը, <i>սմ</i>							
	60	90	120	150	180	210	240	250
45	39	48	61	68	78	84	89	97
50	51	62	75	100	118	123	125	150
55	62	77	90	115	146	137	131	164

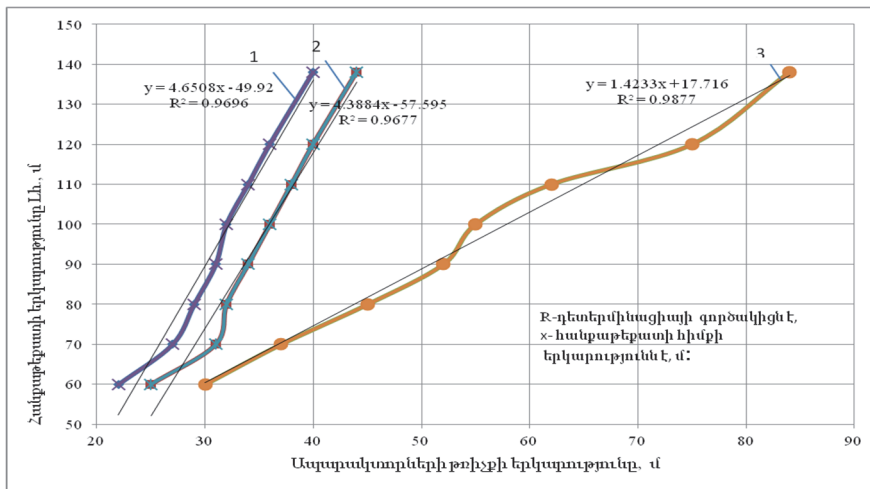
Աղյուսակ 2

Հանքաթեքատի ' հասակագծում բեկված առանցքով մոդելի դեպքում ապարակտորների թռիչքի հեռավորությունների որոշման արդյունքները

Հանքաթեքատի մոդելի առանձին հատվածամասերի թեքության անկյունները, <i>աստ.</i>		Ապարակտորների թռիչքի հեռավորությունը, <i>սմ</i>							
		Հանքաթեքատի երկարությունը, <i>սմ</i>							
		60	70	80	90	100	110	120	138
45	50	22	27	29	31	32	34	36	40
50	55	25	31	32	40	36	38	40	44
55	60	30	37	45	52	55	62	75	84



Նկ. 3. Ապարակտորների թռիչքի հեռավորության կախվածությունը մոդելային ստենդի երկարությունից և թեքության անկյունից. 1- մոդելի թեքության անկյունը $\alpha = 45^\circ$; 2- նույնը ' $\alpha = 50^\circ$; 3- նույնը ' $\alpha = 55^\circ$



Նկ. 4. Ապարակտորների թռիչքի հեռավորության կախվածությունը մոդելային ստենդի երկարությունից և առանձին հատվածամասերի թեքության անկյուններից.
1-մոդելի հատվածամասերի թեքության անկյունները $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 50^\circ$; 2- նույնը $\alpha_1 = 50^\circ$, $\alpha_2 = 55^\circ$; 3- նույնը $\alpha_1 = 55^\circ$, $\alpha_2 = 60^\circ$

Ապարակտորների թռիչքի հեռավորության և հանքաթեքատի երկարության միջև կորելյացիոն կապի դետերմինացման գործակիցը տատանվում է 0,9678- 0,9877 սահմաններում, ինչը վկայում է այս պարամետրերի միջև հուսալի գծային կապի մասին:

Եզրակացություն: Ներկայացված է լեռնային բացահանքերի բնական թեքությունների վրա և ըստ ձևի՝ պլանում, պրոֆիլում և լայնական կտրվածքում, սարքավորումների կառուցավորմամբ (ծածկի տիպով և ներքևի հրապարակում բարձր սարքավորման տեսակով) ու հորիզոնի նկատմամբ իրենց թեքման անկյուններով հանքաթեքատների դասակարգումը:

Բացահանքում հանքաթեքատով հանքաքարի թողանցման գործընթացի համալիր ուսումնասիրման և ընդունող հրապարակում ապարակտորների թռիչքի հեռավորության և անվտանգ գոտու չափերի որոշման նպատակով տարբեր կառուցվածքներով մոդելային ստենդների վրա կատարվել են մոդելային հետազոտություններ: Վերջիններիս միջոցով որոշվել են հանքաթեքատով թողանցվող լեռնային զանգվածի թռիչքի հեռավորությունն ու անվտանգ գոտու չափերը: Մտացված արդյունքները համեմատվել են հանքաթեքատի սահմաններից դուրս ապարակտորների թռիչքի հաշվարկային հեռավորությունների և ապարակտորների գլորման արագությունների որոշման հայտնի մեթոդիկայով ստացված տվյալների հետ:

Մոդելավորմամբ ստացված տվյալների հարաբերական շեղումը հաշվարկայինից կազմում է շուրջ 20...30%, ինչը վկայում է հանքաթեքատով լեռնային զանգվածի թողանցման անվտանգ գոտու չափերի որոշման անալիտիկ արտահայտության ոչ բավարար չափով ճշտության մասին:

Մոդելավորման հետազոտություններով լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

1. Ստեղծվել են տարբեր կառուցվածքներով հանքաթեքատների մոդելային ստենդներ՝ լեռնային զանգվածի թողանցման գործընթացի համալիր ուսումնասիրման նպատակով:

2. Մոդելային հետազոտություններով որոշվել են լեռնային ապարների թողանցման ժամանակ հանքաթեքատի սահմաններից դուրս ապարակտորների թռիչքի պարամետրերը, ինչպես նաև հանքաթեքատով թողանցվող լեռնային զանգվածի թռիչքի հեռավորությունն ու անվտանգ գոտու չափերը:

3. Ուղիղ առանցքով և հատակագծում բեկված առանցքով ու միմյանց հողակապերով միացված երկու հատվածամասերից բաղկացած մոդելային ստենդների համար մշակվել են ապարակտորների թռիչքի հեռավորության կախվածությունները մոդելային ստենդների երկարություններից և հորիզոնի նկատմամբ դրանց թեքության անկյուններից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Карьерные рудоспуски / **В.В. Ржевский, А.И. Арсентьев, Р.С. Пермиков и др.** - М.: Недра, 1969.- 208 с.
2. **Ржевский В.В.** Технология и комплексная механизация открытых горных работ. - М.: Недра, 1980. - 631 с.
3. **Боннер Неу.** Обоснование параметров технологической схемы с породоскатами при открытой разработке нагорных месторождений строительных материалов Камбоджи: Автореф. дис... канд. техн. наук / МГИ. - М., 1994. - 22 с.
4. **Ройнишвили Н.М.** Защита железнодорожного пути от горных обвалов и осыпей.- М.: Транспорт, 1973.-304с.
5. **Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарян Э.В.** Основы механики горных пород.- Л.: Недра, 1989.- 488 с.
6. Моделирование проявления горного давления / **Г.Н. Кузнецов, М.Н. Бұдько, Ю.И. Васильев и др.** - Л.: Недра, 1968.-279 с.
7. **Мкртчян Б.И., Петросян Ф.А., Мкртчян К.Б.** Опыт эксплуатации карьерных рудоспусков в условиях Каджаранского месторождения // Горный журнал.- М., 1988.- № 9. - С. 42-43.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 29.05.2019:

Л.С. БАЛАСАНЯН

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МОДЕЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПЕРЕПУСКА ГОРНОЙ
МАССЫ РУДОСКАТОМ**

Приведены результаты теоретических и модельных исследований по гравитационному перепуску руды на карьере. На модельных стендах разной конструкции определены скорость перепуска кусков породы. По ориентированным под разными углами к горизонту стендам рудоскатов выполнены соответствующие исследования и разработаны зависимости определения расстояния полета кусков породы за пределы рудоскатов.

Ключевые слова: рудоскат, моделирование, модельный стенд, руда, перепуск, гравитационный способ, скорость, расстояние полета породных кусков.

L.S. BALASANYAN

**THE RESULTS OF THEORETICAL AND MODEL INVESTIGATIONS OF
THE GRAVITATIONAL BYPASS OF THE MOUNTAIN MASS BY ORE
CHUTE**

The results of theoretical and model studies on the gravitational bypass of ore at the open-pit mine are given. On model stands of different designs, the bypass rate of rock pieces is determined. Adequate studies are carried out and oriented for the determination of the distance of the rock pieces out of the rock ore range to determine the distance of the orescale stands.

Keywords: ore chute, modeling, model stand, ore, bypass, gravity method, speed, distance of flight of rock pieces.

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ս.Հ. ԷԼԲԱԿՅԱՆ

ԱՇԽԻՆԵՐՑԻԿԼԱՑԻՆ ԳԱԶԻՖԻԿԱՑՄԱՍԲ ՇՈԳԵԳԱԶՍՈՒՐԲԻՆԱՑԻՆ
ՏԵՂԱԿԱՑԱՆՔԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՑԻՆ ՄԽԵՄԱՑԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵՎ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Իրականացվել են մանրահատիկավոր, փոշենման և հատիկավոր վառելիքների գազիֆիկացման, սինթեզ գազի ստացման տեխնոլոգիական գործընթացների, ինչպես նաև ներցիկային գազիֆիկացմամբ շոգեգազատուրբինային տեղակայանքների շահագործման փորձի վերլուծություններ: Մշակվել են ածխի ներցիկային գազիֆիկացմամբ շոգեգազային տեղակայանքի կառուցվածքային սխեմայի հաշվարկման և էներգաարդյունավետության գնահատման ալգորիթմներ:

Առանցքային բառեր. ածխի ներցիկային գազիֆիկացում, գազգեներատոր, սինթեզ գազ, շոգեգազատուրբինային տեղակայանք, էքսերգիա:

Ածխափոշային էլեկտրակայանների մրցունակության և արդյունավետության բարձրացման հնարավորություններից մեկը ածխի գազիֆիկացման շնորհիվ վերջինիս ապրանքային պոտենցիալի ամբողջական օգտագործումն է, որի իրականացման ամենանպատակահարմար տարբերակը ածխի ներցիկային գազիֆիկացմամբ շոգեգազատուրբինային տեղակայանքների (ՇԳՏՏ) շահագործումն է: Իրականում այսպիսի էլեկտրակայանում սկզբունքորեն ձևավորվում է «ածխի համալիր մշակման» ինքնատիպ հայեցակարգ, որում, էլեկտրական էներգիայի արտադրմանը զուգահեռ, ածխից ստանում են շուկայում պահանջարկ ունեցող մի քանի նյութեր: Ներցիկային գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ների շահագործման համաշխարհային փորձի վերլուծությունը վկայում է, որ ածուխը կարող է դառնալ ոչ միայն էկոլոգիապես մաքուր վառելիք, այլ նաև արժեքավոր հումք՝ տարբեր անհրաժեշտ ապրանքների ստացման համար [1]:

Գազիֆիկացումը պինդ կամ հեղուկ հանածո վառելիքների օրգանական զանգվածի՝ օդով, թթվածնով, ջրային գոլորշիներով կամ դրանց խառնուրդով ջերմային մշակման բարձրջերմասիճանային պրոցեսն է, որի արդյունքում վառելիքի օրգանական մասը վերածվում է այրվող գազի: Գազիֆիկացումից հետո միակ պինդ մնացորդը պետք է լինի վառելիքի չայրվող մասը՝ մոխիրը, սակայն, իրականում հնարավոր չէ ածխի ամբողջ օրգանական մասը վերածել գազի, ինչի հետևանքով խարամում մնում է այրվող վառելիքի որոշակի զանգված: Գազիֆիկացման պրոցեսի վրա էական ազդեցություն են ունենում ածխի այնպիսի հատ-

կությունները, ինչպիսիք են այրման եռակալելիությունը, ջերմակայունությունը, բռնկման ջերմաստիճանը և խարամապատումը:

Նախքան այրումը՝ ածխի գազիֆիկացումը ներառում է.

✓ պրոցեսներ, երբ օգտագործվում է փոշիացված ածուխ՝ մասնիկների մինչև 1 մմ չափերով,

✓ քվադրիպեդրալացված շերտով պրոցես, երբ մասնիկների չափերը հասնում են 3 մմ-ի,

✓ ստացիոնար շերտով պրոցեսներ, երբ օգտագործվում են 5...30 մմ չափերով ածխի մասնիկներ:

Գոյություն ունեն սինթեզ գազի ստացման արտադրական նշանակությամբ գազգեներատորների 3 հիմնական տարատեսակներ՝

✓ Lurgi ընկերության շերտային գազգեներատորներ (ածխի մինչև 45 մմ/ժ արտադրողականությամբ), որոնք, գազիֆիկացման անբավարար ինտենսիվության պատճառով (2000...2500 կգ/մ²-ժ), նպատակահարմար չեն՝ կիրառելու խոշոր էներգետիկական տեղակայանքներում:

✓ Ֆրից Վինկլերի գազգեներատորներ (BASF կազմակերպության եռացող շերտով՝ ածխի մինչև 35 մմ/ժ արտադրողականությամբ գազգեներատորներ), որոնք թեպետ ջերմա- և զանգվածափոխանակության տեսանկյունից կատարելագործված են, սակայն ունեն նաև թերություններ՝ պրոցեսի սահմանափակ ինտենսիվություն (մոտ 2500...3000 կգ/մ²-ժ)՝ պայմանավորված եռացող շերտի հիդրոդինամիկայով, վառելիքի զգալի տարվածք (մինչև 25...30%), խարամում ածխածնի զգալի քանակություն և ռեժիմի փոփոխության նկատմամբ եռացող շերտի բարձր զգայնություն: Նշված թերությունների պատճառով այս գազգեներատորները կիրառելի չեն էլեկտրակայաններում:

✓ Շոգեթթվածնային միջավայրում ջահային գազիֆիկացիա, որն ուղեկցվում է հեղուկ խարամահեռացմամբ (Հենրիխ Կոպերսի և Ֆրիդրիխ Տոնցեի ածխափոշային գազգեներատորներ՝ ածխի մինչև 28 մմ/ժ արտադրողականությամբ): Ներկայումս արտադրական զարգացում են ստանում թթվածնային միջավայրում 3...4 ՄՊա ճնշմամբ և հեղուկ խարամահեռացմամբ ջրաածխային լուծույթի (լուծույթում ածխի և ջրի հարաբերակցությունը տարբեր պայմաններում կազմում է 70/30-ից մինչև 45/55) գազիֆիկացման տեղակայանքները (Texaco մեթոդ): Գազիֆիկացման ինտենսիվությունն այս դեպքում հասնում է մինչև 5000 կգ/մ²-ժ [2,3]:

Գոյություն ունեցող շահագործման տվյալների և արդյունքների վերլուծությունը վկայում է այն մասին, որ.

1) ածխի ներցիկլային գազիֆիկացմամբ ժամանակակից էլեկտրակայանների համար նպատակահարմար է կիրառել 60...120 մմ/ժ արտադրողականությամբ և պրոցեսի 5000...6000 կգ/մ²-ժ ինտենսիվությամբ գազգեներատորներ,

2) անհրաժեշտ արդյունավետություն, ներդրման և կիրառման հեռանկարներ ունեն հետևյալ ուղղությունները՝

✓ շոգեօդային միջավայրում ճնշման տակ եռացող շերտով և մանրահատիկավոր ածխի գազիֆիկացման գործընթացները, որոնք ուղեկցվում են ռեակցիայի գոտի տարվածքի վերադարձով և մոխրի կուտակմամբ,

✓ շոգեօդային միջավայրում ճնշման տակ հաստատուն շերտով, հատիկավոր վառելիքի բարձրջերմաստիճանային գազիֆիկացումը՝ դեպի վառելիքի շերտ տարվածքի վերադարձով և հեղուկ խարամահեռացմամբ,

3) տեխնոլոգիական տեսանկյունից ամենամեծ հետաքրքրություն առաջացնում է ճնշման տակ և հեղուկ խարամահեռացմամբ ածխափոշու ուղղահոս, ջահային գազիֆիկացումը: Ներկայումս նման պրոցես իրականացվում է թթվածնային միջավայրում ջրաածխային լուծույթի գազիֆիկացման համար, և կատարվում է նույնատիպ պրոցեսի մշակում, երբ տեխնիկական թթվածնի փոխարեն գազիֆիկացման ռեակտոր մատուցվում է մթնոլորտային օդ:

Շրջակա միջավայրի վրա ազդեցության տեսանկյունից ամենաանբարենպաստը անուղղակի գազիֆիկացումն է, քանի որ դրա ընթացքում ստացվում են ածուխների ջերմային քայքայման բոլոր քիմիական տարրերը (խեժ, հոսքաջրեր և այլն): Քվազիհեղուկացված և փոշեկերպ ածխի գազիֆիկացման արդյունքում ձևավորվում են գազային խառնուրդներ, որոնք չեն պարունակում օրգանական միացություններ: Սակայն հովացնող ջրում կարող են հայտնաբերվել ամոնիակ, ծծմբաջրածին և այլ օրգանական միացություններ, որոնք պահանջում են համապատասխան մաքրման գործընթաց: Էլեկտրակայաններում ածխի գազիֆիկացման գործնական կիրառման պայմանների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նվազագույն ջերմային կորուստների ապահովման համար անհրաժեշտ է ներցիկլային գազիֆիկացման իրականացում: Ներցիկլային գազիֆիկացման և էլեկտրաէներգիայի արտադրության տեխնոլոգիական համակցումը հնարավորություն է տալիս արդյունավետ օգտագործել ստացվող սինթեզ գազի ֆիզիկական, բարձր պոտենցիալային ջերմությունը (եղակետային ածխի այրման ջերմության մինչև 25 %-ը), սինթեզ գազի ստացման նպատակով նվազեցնել գազգեներատոր մատուցվող բաղադրիչների մղման համար էլեկտրաէներգիայի ծախսը և գազիֆիկացման համար օգտագործել շոգետուրբինում աշխատած գոլորշին [4]:

Սինթեզ գազով աշխատող էլեկտրակայանների էկոլոգիական առավելություններն են՝

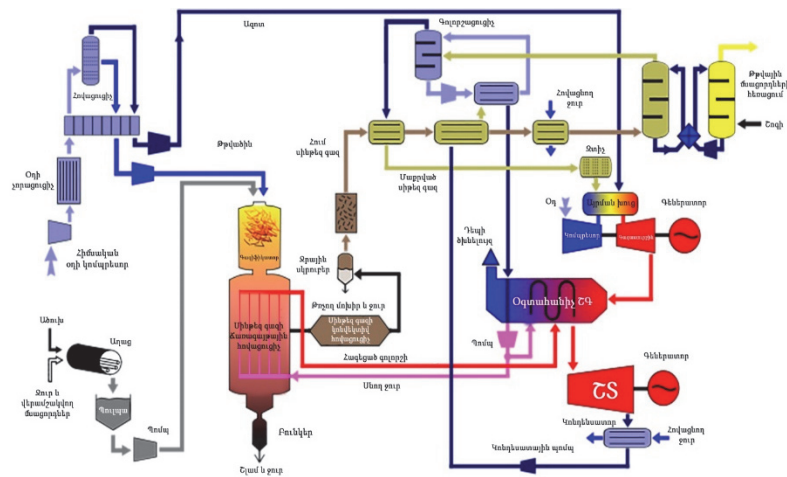
✓ սինթեզ գազը կարելի է մաքրել ծծմբի, ազոտի օքսիդներից, ծանր մետաղների մասիկներից,

✓ թափոնների քանակությունն աննշան է, քանզի ծծումբը կարելի է օգտագործել արտադրական այլ գործընթացներում (մասնավորապես, կարելի է

ստանալ հեղուկ ծծմբական թթու), իսկ գազիֆիկատորում առաջացած խաբամն օգտագործել ճանապարհաշինության մեջ,

✓ ածխի դեկարբոնացումը հնարավորություն է ընձեռում որսված CO₂-ը ճնշման տակ մատուցել նավթահորեր՝ խորքային շերտերում գտնվող նավթի արդյունահանման համար:

Ժամանակակից շուկայական հարաբերությունների և էկոլոգիական չափորոշիչների մշտապես խստացման պայմաններում կարևորագույն նշանակություն են ստանում որպես օրգանական վառելիք ածխի կիրառման և ապրանքային պոտենցիալի օգտագործման տնտեսական հայեցակարգերը: Վերջին տասնամյակում մեծ ուշադրություն է դարձվում ՇԳՏՏ-ներում ածուխների ներցիկային գազիֆիկացման մեթոդների մշակմանը և արդյունաբերական ներդրմանը: Ամերիկյան Polk ՋԷԿ-ում իրականացված նախագիծը (նկ. 1) հնարավորություն է ընձեռում բարձրացնելու ածխափոշային վառելիքի հիմքով աշխատող էլեկտրակայանի օ.գ.գ.-ն 10...12 %-ով՝ ի համեմատություն ավանդական ածխափոշային կայանի:

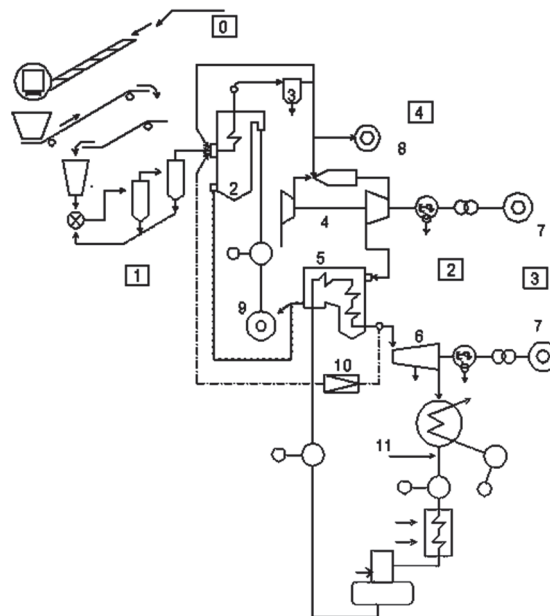


Նկ. 1. Ջրաածխային լուծույթի ներցիկային գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի սխեման

Ջրաածխային լուծույթի ներցիկային ՇԳՏՏ-ի բարձր օ.գ.գ-ի և վնասակար նյութերի նվազագույն արտանետումների հետ միաժամանակ Polk ՋԷԿ-ն ունենում է չորս տեսակի ուղեկցող արտադրանքների ստացման ու առևտրայնացման հնարավորություն: Polk ՋԷԿ-ն աշխատում է 2,3 % ծծմբապարունակությամբ ածխով, որից ստացված սինթեզ գազից ծծմբի միացությունների մաքրման աստիճանը հասնում է 95 %-ի, ուստի ՋԷԿ-ն օրական վաճառում է մոտ 100 տ 98 %-անոց ծծմբական թթու ֆոսֆորական պարարտանյութ արտադրող ձեռնարկությանը: NO_x-երի արտանետումները կազմում են 25 ppm, իսկ օգտահանված ամոնիումի քլորիդն իր հատկություններով բավարարում է շուկայական պահանջները: Բարձր-

ջերմաստիճանային գազամաքրման արդյունքում ապահովվում է գազերից ֆտորի և քլորի միացությունների 90 %-ով որսումը, որոնք էլ այնուհետև չոր տեսքով օգտագործվում են պարարտանյութերի արտադրության համար, իսկ գազիֆիկատորում առաջացած շլակն օգտագործվում է ճանապարհաշինության մեջ [5]:

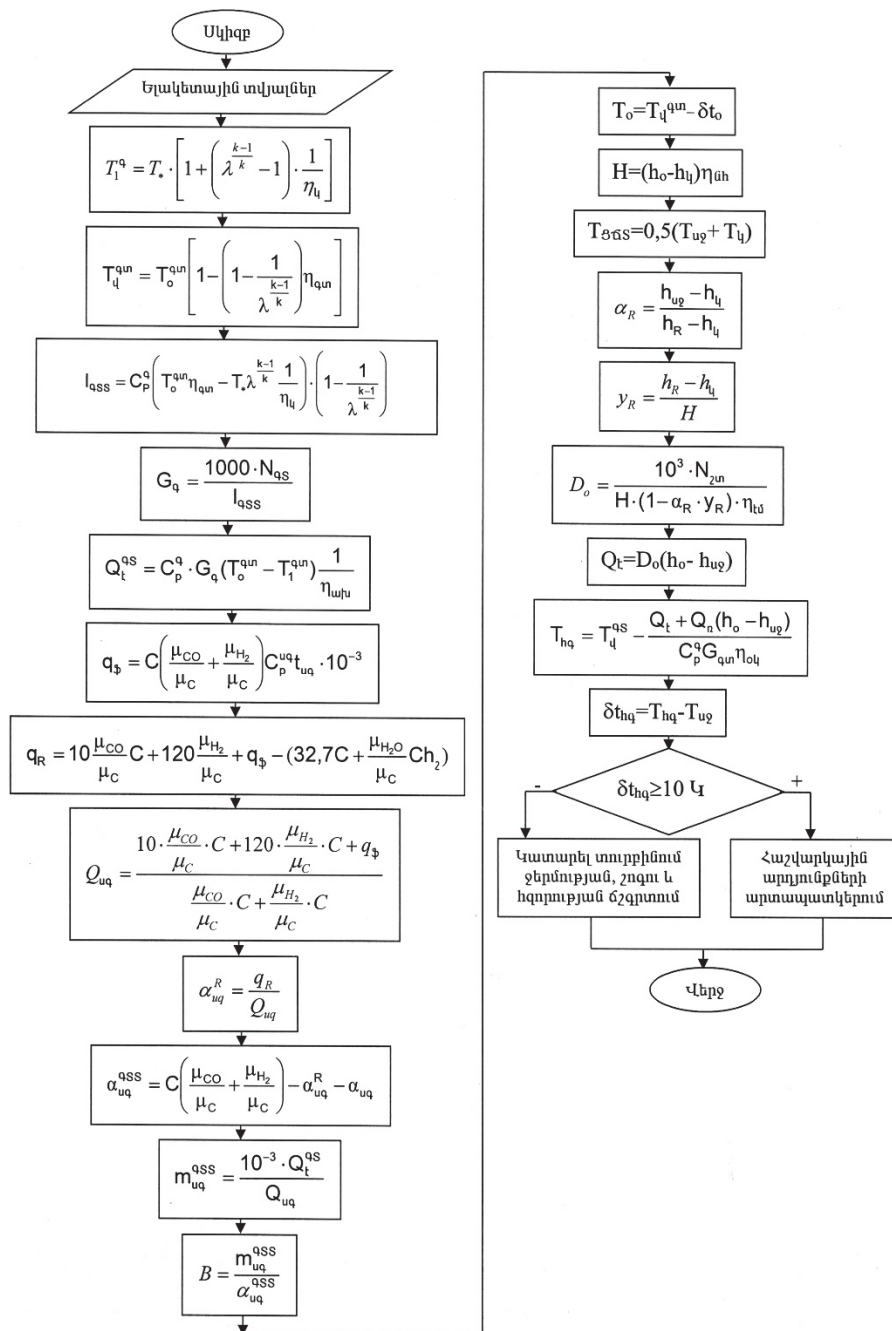
Ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի կառուցվածքային սխեմայի (նկ. 2) առանձին հանգույցների հաշվարկման համար իրականացվել է համապատասխան ալգորիթմի և բլոկ-սխեմայի մշակում (նկ. 3)՝ ներառելով գազատուրբինային (ԳՏՏ) և շոգետուրբինային տեղակայանքների (ՇՏՏ) աստիճանների, գազիֆիկացման ռեակտորի հաշվարկները, ԳՏՏ և ՇՏՏ աստիճանների ցուցանիշների համաձայնեցումը:



Նկ. 2. Ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի սխեման.

1. վառելիքամատուցման և վառելիքի պատրաստման համակարգ, 2. քարածխի գազիֆիկացման ռեակտոր, 3. սինթեզ գազի բարձրջերմաստիճանային մաքրման համակարգ, 4. ԳՏՏ, 5. օգտահանիչ կաթսա, 6. ՇՏՏ, 7. էլեկտրաէներգիայի սպառիչներ, 8. սինթեզ գազի սպառիչներ, 9. ծխնեկույզ, 10. շոգու մատուցումը ռեակտոր, 11. կոնդենսատի կորուստների լրասնում

Ըստ մշակված ալգորիթմի (նկ. 3)՝ կատարվել է 26187,5 կՋ/կգ այրման ստորին ջերմությամբ գորշ ածխի գազիֆիկացումից ստացված սինթեզ գազով աշխատող 200 ՄՎտ գումարային հզորությամբ ՇԳՏՏ-ի կառուցվածքային սխեմայի առանձին հանգույցների հաշվարկ, որի արդյունքները ներկայացված են աղ.1-ում:



Նկ. 3. Ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի կառուցվածքային սխեմայի հաշվարկային ալգորիթը

Ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի կառուցվածքային սխեմայի առանձին հանգույցների հաշվարկը

T^*	λ	K	$\eta_{\text{կ}}$	$T_{\text{օ}}^{\text{գւն}}$	$\eta_{\text{գւն}}$	$C_p^{\text{գ}}$	$N_{\text{գՏ}}$	$\eta_{\text{ախ}}$	$T_1^{\text{գ}}$	$T_{\text{կ}}^{\text{գւն}}$	$I_{\text{գՏՏ}}$	$G_{\text{գ}}$	$Q_{\text{է}}^{\text{գՏ}}$
Կ				Կ		կՋ/ (կգ·սսս)	ՄՎտ		Կ	Կ	կՋ/կգ	կգ/վ	կՎտ
283	15	1,4	0,88	1373	0,87	1	150	0,98	658,565	729,51	267,93	559,85	408138,01

C	$t_{\text{ուգ}}$	$C_p^{\text{ուգ}}$	h_2	$\alpha_{\text{ուգ}}$	$q_{\text{ֆ}}$	$q_{\text{բ}}$	$Q_{\text{ուգ}}$	$\alpha_{\text{ուգ}}^{\text{R}}$	$\alpha_{\text{ուգ}}^{\text{գՏՏ}}$	$m_{\text{ուգ}}^{\text{գՏՏ}}$	B
կգ/ (կգ ածուխ)	$^{\circ}\text{C}$	կՋ/ (կգ·սսս)	ՄՋ/կգ		ՄՋ/ (կգ ածուխ)	ՄՋ/ (կգ ածուխ)	ՄՋ/կգ	կգ/ (կգ ածուխ)	կգ/ (կգ ածուխ)	կգ/վ	կգ/վ
0,65	1200	1	3,35	0,15	1,95	5,595	18,43	0,302	1,173	22,02	18,77

$\delta t_{\text{օ}}$	H _օ	$h_{\text{կ}}$	$\eta_{\text{ահ}}$	$T_{\text{ու2}}$	$T_{\text{կ}}$	$\alpha_{\text{բ}}$	y _բ	$h_{\text{ու2}}$	$N_{2\text{ւն}}$	$\eta_{\text{եմ}}$	D _բ	$\eta_{\text{օկ}}$
Կ	կՋ/կգ	կՋ/կգ		Կ	Կ			կՋ/կգ	ՄՎտ		կգ/վ	
15	3350	1980	0,87	378	303	0,13	0,16	440	50	0,97	18	0,97

$T_{\text{օ}}$	H	$T_{\text{ՅՏՏ}}$	D _օ	$Q_{\text{է}}$	$T_{\text{հգ}}$	$\delta t_{\text{հգ}}$
Կ	կՋ/կգ	Կ	կգ/վ	կՎտ	Կ	Կ
714,51	1191,9	340,5	44,17	128522,76	396,384	18,384

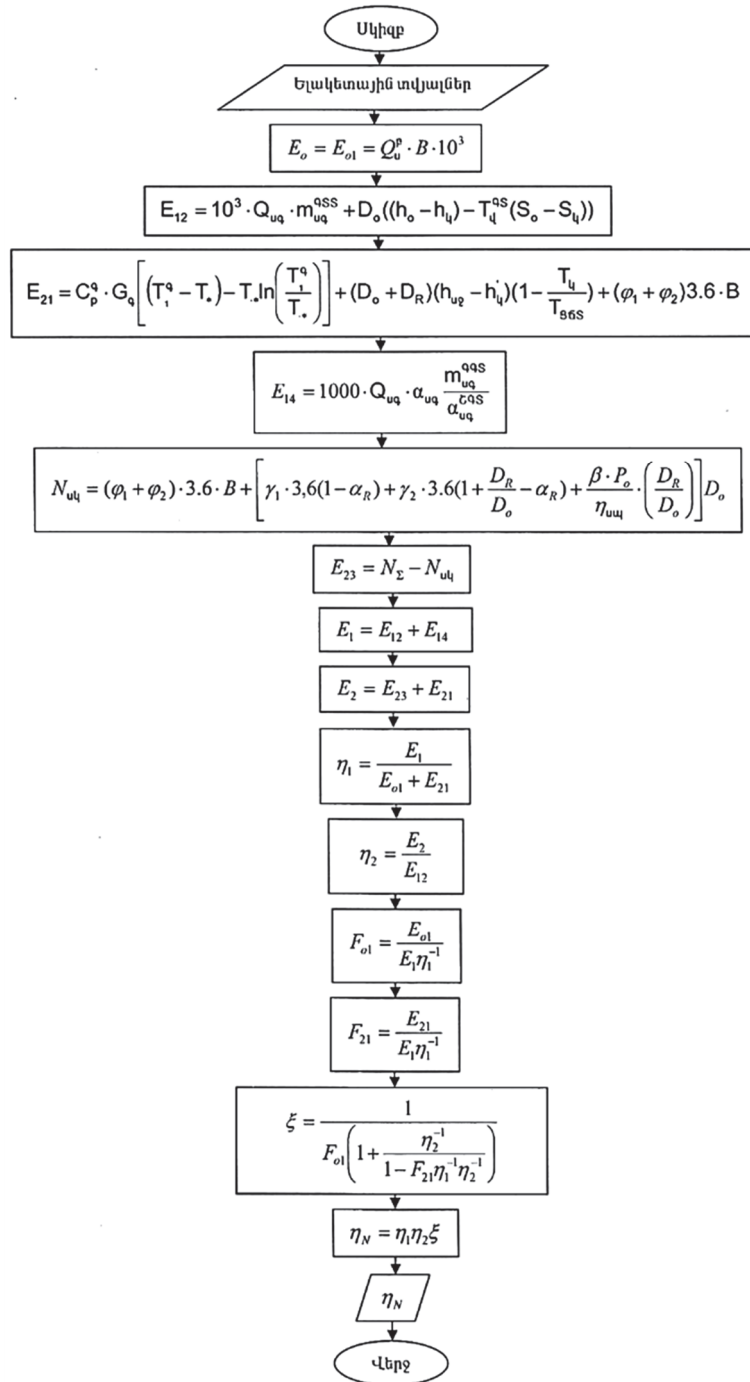
Բարդ համակարգերի արդյունավետության գնահատման գործառնություն լայն կիրառություն է գտել մաթեմատիկական գրաֆների տեսությունը: Էներգատեխնոլոգիական սխեմատիկ բլոկը նույնականացվում է ինչ-որ համարժեք գրաֆի, որում էներգատեխնոլոգիական բլոկի յուրաքանչյուր տարրին համապատասխանում է գրաֆի գագաթ, իսկ տարրերի միջև կապը կամ տարրերի և արտաքին օբյեկտների միջև կապը տրվում են հարակից գրաֆի միջոցով: Առաջնորդվելով այս դատողություններով՝ նկ. 2-ում պատկերված ՇԳՏՏ-ի տեխնոլոգիական սխեման բաժանենք 0, 1, 2, 3, և 4 ֆունկցիոնալ մասերի: Այստեղ 0-ն վառելիքի մատակարարման հանգույցն է, 1-ը՝ շոգեգազագեներատորային հանգույցը, 2-ը տուրբոգեներատորային հանգույցը, 3-ը՝ էլեկտրաէներգիայի սպառումը և 4-ը՝ սինթեզ գազի սպառումը: Արդյունքում գրաֆների միջև կապերը կներկայացվեն (ij)=(01, 12, 23, 14, 21) տեսքով, և համաձայն այս կապերի՝ որոշվում են էքսերգիայի մուտքային արժեքի F_{ij} հարաբերական գործակիցները, այնուհետև՝ Լագրանժի բազմապատկիչները և կառուցվածքային էքսերգետիկական գործակիցը [6]: Ստորև բերված են ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի արդյունավետության գնահատման ալգորիթմը (նկ. 4) և հաշվարկային արդյունքները (աղ. 2):

Աղյուսակ 2

Ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի արդյունավետության գնահատման հաշվարկային արդյունքները

Q_u^p	So-S _z	φ_1	φ_2	γ_1	γ_2	β	P_o	$\eta_{այ}$	h_{ij}	ξ
UQ/lyq	$lyq/$ ($lyq-աստ$)	$lyq/տո$ ($տ ածուխ$)	$lyq/տո$ ($տ ածուխ$)	$lyq/տո$ ($տ շոգի$)	$lyq/տո$ ($տ կոնդենսատ$)		$P_{այ}$		lyq/lyq	
26,1875	1	3,3	27	7	0,4	0,14	90	0,86	125,7	0,86

E ₀₁	E ₁₂	E ₁₄	N _{սկ}	E ₂₃	E ₂₁	E ₁	E ₂	η_1	η_2	η_N
$lyq/տ$	$lyq/տ$	$lyq/տ$	$lyq/տ$	$lyq/տ$	$lyq/տ$	$lyq/տ$	$lyq/տ$			
491605,3	436426	105040,1	3805,8	196194,21	80640,4	541466,1	276834,6	0,946	0,634	0,48



Նկ. 4. Ածխափոշու գազիֆիկացմամբ ՇԳՏՏ-ի արդյունավետության գնահատման ալգորիթմը

Մշակված ալգորիթմների և դրանց հիման վրա կատարված հաշվարկների արդյունքները վկայում են այն մասին, որ ներցիկլային գազիֆիկացմամբ շոգեգազատուրբինային տեղակայանքի շահագործման միջոցով հնարավոր է ապահովել ածխի օգտագործման բարձր արդյունավետություն, էկոլոգիական խիստ չափորոշիչներ և տեղակայանքի մեծ օ.գ.գ.:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Батенин В.М., Масленников В.М., Выскубенко Ю.А., Штеренберг В.Я.** Сравнительный технико-экономический анализ вариантов использования угля в ПГУ с минимальными выбросами диоксида углерода в атмосферу // Теплоэнергетика. – 2007.- № 1. - С. 24-30.
2. **Альтшулер В.С., Большедворский А.Д.** Газификация углей на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. - 1988. - № 8. - С. 26-30.
3. **Безносова Д.С., Григорук Д.К., Лялин Д.А., Туркин А.В.** Перспективы применения гибридных энергоустановок на основе твердооксидных топливных элементов с внутрицикловой газификацией углей // Теплоэнергетика. - 2011. - № 9.- С. 63-67.
4. Разработка отечественной ПГУ с газификацией угля / **Г.Г. Ольховский, С.И. Сучков и др.** // Теплоэнергетика. – 2010. - № 2.- С. 19-26.
5. **Briggs White B., Ames R., Burke P.** Tampa Electric Polk Power Station Integrated Gasification Combined-Cycle Project—Final Technical Report U.S. Department of Energy. - August 2002.- 4p.
6. **Ноздренко Г.В., Щинников П.А., Гепитина Т.А.** Методические указания к расчету структурной схемы ПГУ с газификацией угля. – Новосибирск: НГТУ, 1997. - 19 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 09.07.2019:

В.З. МАРУХЯН, С.Г. ЭЛБАКЯН

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ

Проведен анализ технологических процессов газификации мелкозернистого, пылевидного и кускового видов топлива, производства синтез-газа, а также опыта эксплуатации парогазотурбинных установок с внутрицикловой газификацией угля. Разработаны алгоритмы расчета структурной схемы и оценки энергоэффективности парогазотурбинной установки с внутрицикловой газификацией угля.

Ключевые слова: внутрицикловая газификация угля, газогенератор, синтез-газ, парогазотурбинная установка, эксергия.

V.Z. MARUKHYAN, S.H. ELBAKYAN

**DEVELOPING ALGORITHMS FOR A BLOCK DIAGRAM AND
ESTIMATING THE EFFICIENCY OF A STEAM AND GAS TURBINE
INSTALLATION WITH AN INTRACYCLE GASIFICATION OF COAL**

The technological processes of gasification of fine-grained, pulverized and lump fuel, the production of synthesis of gas, as well as the experiment for operating steam and gas turbines with intra-cycle gasification of coal are analyzed. Algorithms have been developed for calculating the block diagram and evaluating the energy efficiency of a gas-steam turbine unit with intra-cycle gasification of coal.

Keywords: intra-cycle coal gasification, gas generator, synthesis gas, steam and gas turbine plant, exergy.

Մ.Ք. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ս.Վ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

**ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Ներկայացված է մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքային բնութագրերի փոփոխության վիճակագրական վերլուծության կառուցվածքային սխեման, որը ներառում է տեխնոլոգիական և էներգետիկական ցուցանիշներ: Էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքային բնութագրերի փոփոխության վարքի վերլուծությունը ներկայացված է էլեկտրամեխանիկական համակարգի բեռի դինամիկության գործակցի հսկման քարտեզի մշակման օրինակով:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամեխանիկական համակարգ, հսկման քարտեզ, վիճակագրական վերլուծություն:

Հանքաքարի մանրացման գործընթացն իրականացվում է հզոր սինխրոն և ասինխրոն շարժիչներով բարդ էլեկտրամեխանիկական համակարգերի կիրառմամբ, որոնք աշխատում են դինամիկ բեռնվածքի ներքո: Այդ էլեկտրամեխանիկական համակարգերի էլեկտրական և մեխանիկական մասերը մշտապես գտնվում են փոխազդեցության մեջ: Առանձին դեպքերում էլեկտրաբանեցման շարժիչի բնութագիրը կարող է էական ազդեցություն ունենալ համակարգի մեխանիկական մասերի վրա, իսկ մեխանիկական տատանումները կարող են ազդել բանեցման ուժային մասի վարքի վրա [1-3]:

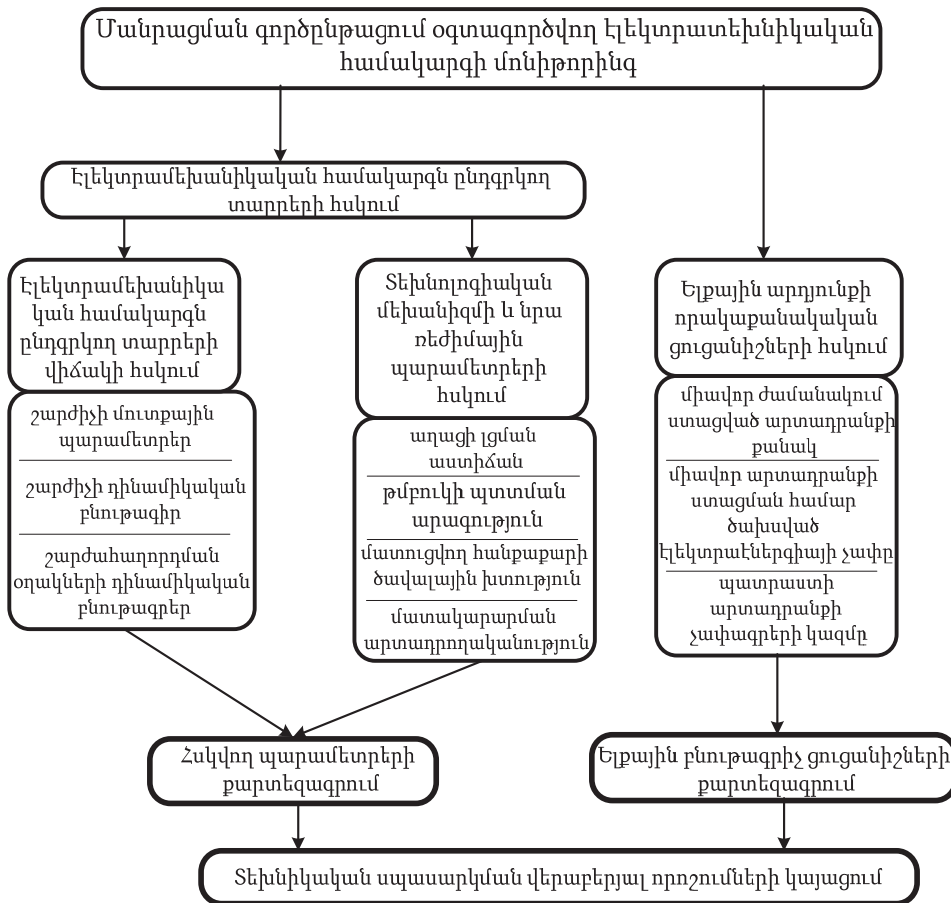
Մանրացվող հանքաքարի որակական ցուցանիշները, ինչպիսիք են կարծրությունը, ծավալային խտությունը, խոնավությունը, չափագրական կազմը, ինչպես նաև աղացի լցման աստիճանը, թմբուկի պտտման արագությունը պարբերաբար կարող են փոփոխվել՝ առաջացնելով համակարգի շարժահաղորդման օղակների վարքի փոփոխություն: Նման բարդ գործընթացի համար առավել արդիական է դառնում համակարգի բնութագրերի փոփոխության վիճակագրական վերլուծությունը, ինչը հնարավորություն կտա համակարգի մոնիթորինգի և արատորոշման նպատակով իրականացնել նրա վիճակի կազմակերպված և համակարգված դիտարկում: Էլեկտրամեխանիկական համակարգերի մոնիթորինգին և արատորոշմանը նվիրված աշխատությունները հիմնականում վերաբերում են տվյալ համակարգում ներառված առանձին էլեկտրասարքավորումների, տեխնոլոգիական մեխանիզմների կամ դրանք կապող փոխանցման օղակների վարքի

բացահայտմանը [4-8], ինչը հնարավորություն չի ընձեռում համալիր պատկերացում կազմելու համակարգում առաջացող արատների իրական պատճառների մասին: Ուստի համակարգում ներառված տարրերի վերաբերյալ ստացվող տեղեկատվության համալիր մշակման անհրաժեշտություն է առաջանում: Ասվածից երևում է, որ հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում կիրառվող էլեկտրամեխանիկական համակարգի տարբեր օղակների աշխատանքային բնութագրերի վարքի փոփոխության վերլուծությունը և դրա հիման վրա հետագա գործողության կատարման երաշխավորության ձևավորումը արդիական խնդիր է, ինչն էլ սույն աշխատանքի նպատակն է:

Մեթոդի հիմնավորումը: Մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքային բնութագրերի փոփոխության հսկման համար առաջարկվում է կիրառել գործընթացի բնութագրերի վարքի փոփոխության վիճակագրական վերլուծություն՝ հսկման քարտեզի ձևավորման միջոցով: Էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքային բնութագրերի քարտեզագրման համար դիտարկվել է Շուխարտի մեթոդը, որը ներկայացնում է բնութագրերի վարքի վերլուծման գրաֆիկական միջավայր: Այն թույլ է տալիս գործընթացը բնութագրող պարամետրերի միջին և տատանման արժեքներով ձևավորված քարտեզների միջոցով դիտարկել համակարգի կառավարելիության վիճակագրությունը [9-11]:

Առանցքային բնութագրերի վարքի փոփոխության քարտեզագրումը և դրանց համալիր վերլուծությունը թույլ է տալիս բացահայտել հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացում կիրառվող էլեկտրամեխանիկական համակարգում ներառված տարրերի ակնկալվող արատները, գնահատել դրանց կրիտիկականության աստիճանն ու հետևել դրանց զարգացմանը:

Ստացված արդյունքը: Հաշվի առնելով էլեկտրամեխանիկական համակարգը ներառող տարրերի և դրանց բնութագրական գործոնների բազմազանությունը և փոխկապվածությունը՝ սույն աշխատանքում դիտարկվել են էլեկտրաբանեցման շարժիչ, տեխնոլոգիական մեխանիզմ և դրանց կապն ապահովող շարժահաղորդման օղակի աշխատանքային ռեժիմների բնութագրիչ պարամետրերը: Նկ. 1-ում ներկայացված է մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքային բնութագրերի փոփոխության վիճակագրական վերլուծության կառուցվածքային սխեման:



Նկ. 1. Մանրացման տեխնոլոգիական գործընթացի էլեկտրամեխանիկական համակարգի աշխատանքային բնութագրերի հսկման կառուցվածքային սխեման

Էլեկտրամեխանիկական համակարգի տարրերի, մասնավորապես շարժիչի, շարժահաղորդման օղակների, տեխնոլոգիական մեխանիզմի, ինչպես նաև միավոր արտադրանքի (մանրացված նյութի) որակաքանակական բնութագրերի վարքի փոփոխման քարտեզագրման համար առաջարկվել է ստորև ներկայացված ալգորիթմը:

1. Ընտրվում է շարժիչի աշխատանքի վարքի հսկման համար անհրաժեշտ բնութագրիչ պարամետրերի խումբը (շարժիչի սնման լարում, հաճախություն, ստատորի հոսանք):

2. Ընտրվում է շարժահաղորդման օղակների աշխատանքի վարքի հսկման համար անհրաժեշտ բնութագրիչ պարամետրերի խումբը (բեռի դինամիկությունը բնութագրող պարամետրերը):

3. Ընտրվում է հանքաքարի աղացի աշխատանքային բնութագրերի վարքի հսկման համար անհրաժեշտ պարամետրերի խումբը (աղացի լցման աստիճան, թմբուկի պտտման արագություն, մանրացվող հանքաքարի ծավալային խտություն, աղացին տրվող հանքանյութի արտադրողականություն):

4. Ընտրվում է մանրացված նյութի որակաքանակական ցուցանիշների հսկման համար անհրաժեշտ պարամետրերի խումբը (միավոր ժամանակում մանրացված նյութի քանակ, մանրացված նյութի չափագրական կազմ, միավոր արտադրանքի ստացման համար ծախսվող էլեկտրաէներգիա):

5. 1-ից 4 կետերում ընտրված պարամետրերից յուրաքանչյուրի հավաքագրման կարգի ընտրություն և դրանց մշակում:

6. Գործընթացի հսկման քարտեզների կառուցում, որը ներառում է.

- հսկման քարտեզի ձևաթերթի մշակում, լրացում,

- վիճակագրական բնութագրերի հաշվում,

- հսկման քարտեզների միջին և հսկման սահմանային գծերի կառուցման համար անհրաժեշտ պարամետրերի հաշվարկ:

7. Կառուցված քարտեզների համադրում, էլեկտրամեխանիկական համակարգի վարքի վերաբերյալ եզրակացության ձևավորում:

8. Համակարգի տեխնիկական սպասարկման վերաբերյալ որոշումների կայացում:

Հանքաքարի մանրացման գործընթացն անընդհատ է, ինչը նշանակում է, որ հսկման համար անհրաժեշտ պարամետրի գրանցումը պետք է կատարվի որոշակի ժամանակահատվածում: Գրանցված տվյալների շարքի յուրաքանչյուր անդամ բնութագրում է դիտարկվող պրոցեսի վիճակը ժամանակի տվյալ պահին: Գրանցվող տվյալների շարքը ընդունված է ներկայացնել հետազոտվող մեծության հերթական արժեքների խմբի միջոցով: Սույն աշխատանքում համակարգի մոնիթորինգի համար անհրաժեշտ (նկ. 1) բազմաթիվ բնութագրական պարամետրերի հսկման քարտեզի կառուցումը ներկայացվում է էլեկտրամեխանիկական համակարգի բեռի դինամիկության գործակցի քարտեզագրման օրինակով:

Աղ. 1-ում ներկայացված են համակարգի բեռի դինամիկության գործակցի մշակվող տվյալները՝ դրանց X միջինների և R տատանման շարքերի տեսքով:

Աղ. 2-ում ներկայացված են հսկման քարտեզի կառուցման համար անհրաժեշտ տվյալները:

Հսկման քարտեզի դինամիկության գործակցի կառուցման տվյալները

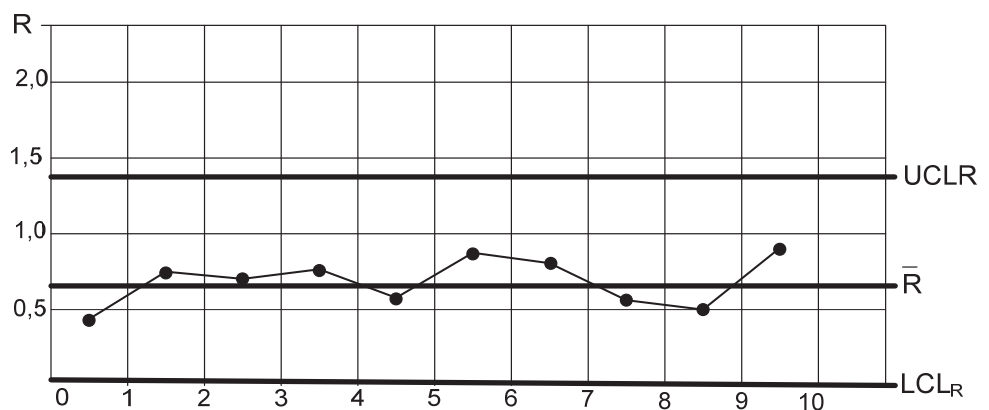
Տվյալների գրանցման համարը		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
Դինամի- կության գոր- ծակցի ընտրովի արժեք- ներ	X_1	2.0	1.75	1.9	2.05	1.5	1.95	1.25	1.35	1.1	0.9	
	X_2	1.73	1.42	1.65	1.73	1.16	1.45	1.8	1.9	1.15	1.3	
	X_3	1.52	1.67	2.15	1.96	1.4	1.14	1.6	1.45	1.32	1.6	
	X_4	1.6	1.5	1.48	1.32	1.57	1.85	1.05	1.33	1.4	1.31	
	X_5	1.85	1.05	1.78	1.56	1.73	1.65	1.20	1.65	1.6	0.75	
ΣX		8.7	7.39	8.96	8.62	7.36	8.04	6.9	7.67	6.57	5.86	
$\bar{X}$		1.74	1.478	1.792	1.724	1.472	1.608	1.38	1.536	1.314	1.172	15.22
R		0.48	0.7	0.67	0.73	0.57	0.81	0.75	0.57	0.5	0.85	6.63
Դիտարկում- ների թիվը՝ $N=50$		Դինամիկության գործակցի առավելագույն թույլատրելի արժեքը $k_B=2.0$						Դինամիկության գործակցի նվազագույն թույլատրելի արժեքը $k_H=0.3$				

Աղ. 1-ում և 2-ում ներկայացված տվյալների հիման վրա կառուցվել են հանքաքարի մանրացման գործընթացում օգտագործվող էլեկտրամեխանիկական համակարգի դինամիկ բեռնվածքի փոփոխության հսկման R և X քարտեզները (նկ. 2, 3):

Դինամիկության գործակցի հսկման քարտեզի կառուցման վիճակագրական բնութագրերի որոշումը

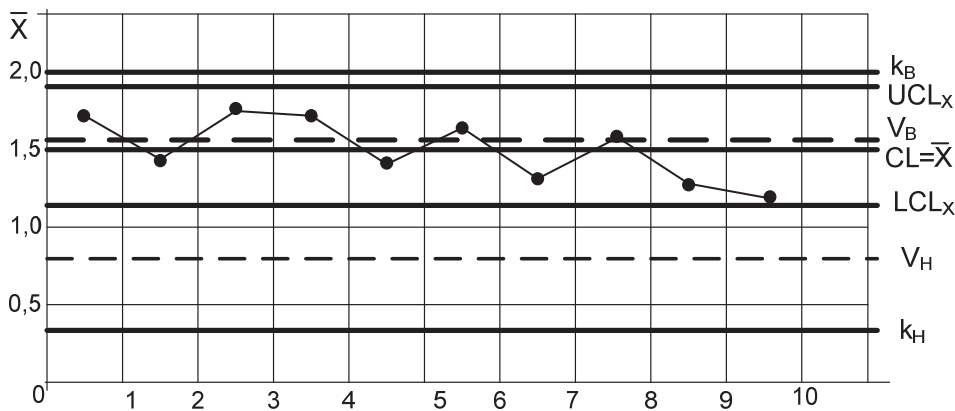
Քարտեզի բնութա- գրերի հաշվարկա- յին գործակիցներ	n	D3	D4	d2	d3	A1	A2
	5	0	2.114	2.326	0.864	1.342	0.577
Ընտրովի տատանման քարտեզի պարամետրերը							
Միջին տատանում				$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum R = 0.663$			
Ստանդարտ շեղում				$\sigma = \bar{R} / d_2 = 0.285$			
Հսկման վերին և ներքին սահմաններ				$UCL_R = D_4 \bar{R} = 1.402$, $LCL_R = D_3 \bar{R} = 0$			
Տատանման քարտեզ վրա C և B գոտիների սահմանները				$C_R = \bar{R}(1 \pm d_3/d_2) = 6.563 \leftrightarrow -5.237$, $B_R = \bar{R}(1 \pm 2d_3/d_2) = 12.463 \leftrightarrow -11.137$			

Ընտրովի միջինների քարտեզի պարամետրերը	
Միջին թվաքանականը	$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum \bar{X} = 1.522$
Ընտրովի միջինների փոփոխելիությունը	$A_2 \bar{R} = 0.385$
Միջինների վերին և ներքին սահմանները	$UCL_X = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 1.907,$ $LCL_X = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 1.137$
Միջինների քարտեզ վրա C և B գոտիների սահմանները	$C_X = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \frac{\bar{R}}{3} = 1.650 \leftrightarrow 1.394,$ $B_X = \bar{\bar{X}} \pm 2A_2 \frac{\bar{R}}{3} = 1.778 \leftrightarrow 1.266$
Պաշարի հնարավորությունների վերին և ներքին սահմանները	$\bar{X}_B = (k_B - 3\bar{R}/d_2) = 1.145$ $\bar{X}_H = (k_H + 3\bar{R}/d_2) = 0.155$
Գործընթացի կառավարման անհրաժեշտության վերին և ներքին սահմանները	$\bar{V}_B = (k_B - 3\bar{R}/d_2) + A_2 \bar{R} = 1.53,$ $\bar{V}_H = (k_H + 3\bar{R}/d_2) - A_2 \bar{R} = 0.77$



Նկ. 2. Դինամիկ բեռնվածքի փոփոխության հսկման R քարտեզը

Դինամիկ բեռնվածքի փոփոխման հսկման քարտեզի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ գործընթացը կառավարելի է (նկ. 2): Ընտրովի միջինների քարտեզի դիտարկումը ցույց է տալիս, որ 4 դեպքում $\bar{X}$ կետը դուրս է գալիս $\bar{V}_B$ սահմանից, ինչը նշանակում է, որ k_B դինամիկ բեռնվածքի վերին թույլատրելի սահմանը խախտվել է, որն էլ ազդարարում է համակարգի կառավարման անհրաժեշտության մասին: Միաժամանակ, $\bar{X}$ կետը չի խախտել $\bar{V}_H$ սահմանը, ինչը նշանակում է, որ k_H դինամիկ բեռնվածքի ներքին թույլատրելի սահմանը չի խախտվել:



Նկ. 3. Դինամիկ բեռնվածքի փոփոխության հսկման $\bar{X}$ քարտեզը

Համակարգի տեխնիկական սպասարկման վերաբերյալ համընդհանուր որոշումները կայացվում են նկ. 1-ում ներկայացված բնութագրական պարամետրերի հսկման քարտեզների կառուցման և համալիր վերլուծության արդյունքում:

Եզրակացություն: Առաջարկվող ալգորիթմը հնարավորություն է տալիս քարտեզագրել էլեկտրամեխանիկական համակարգի տարբեր օղակների աշխատանքային բնութագրերը և դրանց վիճակագրական վերլուծման արդյունքում իրականացնել համակարգի համալիր մոնիթորինգ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Гребенко В.М., Иванченко Ф.К., Иряев В.И.** Расчет металлургических машин и механизмов. – М.: Высшая школа, 1988. – 224 с.
2. **Коровкин Н.В., Умнова М.О.** Методика моделирования переходных процессов в элементах электромеханических и электроэнергетических устройств с эквивалентными параметрами, зависящими от частоты // Проблемы развития электромеханических систем. – СПб., 1992. – С. 42-49.
3. **Дружинский И.А.** Механические цепи. – Л.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
4. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. - М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.
5. **Черный А.П., Родькин Д.И., Калинов А.П., Воробейчик О.С.** Мониторинг параметров электрических двигателей электромеханических систем: Монография. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2008. – 244 с.
6. **Черный А.П.** Структура системы функциональной диагностики электрических машин электроприводов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – Вып. 67. - С. 109-112.
7. **Jumutc V., Suykens J.A.K.** Multi-class supervised novelty detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2014. -36(12). – P. 2510–2523.

8. **Ahmad R., Kamaruddin S.** An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application // Computers & Industrial Engineering.- 2012.- 63(1).- P. 135–149.
9. **Адлер Ю.П., Шпер В.Л.** Контрольные карты Шухарта // Методы менеджмента качества. - 2003. - № 5. - С.30 – 37.
10. **Уилер Д., Чамберс Д.** Статистическое управление процессами: Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. - 409 с.
11. **Солонин С.И.** Метод контрольных карт.- Екатеринбург, 2014. - 214 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 19.09.2019:

М.К. БАГДАСАРЯН, С.В. САРГСЯН

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ

Представлена структурная схема статистического анализа изменения рабочих характеристик электромеханической системы процесса измельчения руды, включающая технологические и электрические признаки. Анализ поведения изменения рабочих характеристик электромеханической системы представлен на примере разработки контрольной карты динамического коэффициента нагрузки систем.

Ключевые слова: электромеханическая система, контрольная карта, статистический анализ.

M.K. BAGHDASARYAN, S.V. SARGSYAN

STATISTICAL ANALYSIS OF THE CHANGE IN THE OPERATING CHARACTERISTICS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF THE ORE-GRINDING PROCESS

A block diagram of the statistical analysis of the change in the operating characteristics of the electromechanical system of the ore grinding process, including the technological and electrical features is presented. The analysis of the behavior of changes in the operating characteristics of the electromechanical system is presented on the example of developing a control card map of the dynamic load factor of the systems.

Keywords: electromechanical system, control card, statistical analysis.

Л.А. ВАРДАНЯН

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ
КОНДЕНСАТОРОВ С ОХЛАЖДАЕМЫМИ ВОДОЙ ОДНИМ И ДВУМЯ
ЗМЕЕВИКАМИ**

Исследуется макетный образец конденсаторного типа с одним и двумя змеевиками, охлаждаемыми водой. Расчетные значения коэффициента теплоотдачи α_T , полученные на основе теории подобия с применением критериев Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля, сравнены с экспериментальными результатами. Результаты экспериментального определения коэффициента теплоотдачи α_T с двумя охлаждающими змеевиками положены в основу методики расчета электротермических конденсаторов с буржуйно-масляным диэлектриком и фольговыми обкладками. Экспериментальные данные коэффициента теплоотдачи α_T , полученные на основе модели с одним охлаждающим змеевиком, хорошо согласуются с расчетными значениями коэффициента теплоотдачи α_T .

Показано, что расчетные значения коэффициента теплоотдачи α_T , полученные на основе теории подобия, хорошо согласуются с экспериментальными данными при масштабном коэффициенте, равном 6.

Ключевые слова: конденсатор, коэффициент теплоотдачи, перегрев, охлаждение водой, змеевик, метод подобия, критерии Нуссельта - Nu , Рейнольдса - Re , Прандтля - Pr .

Введение. Обычно силовые электротермические конденсаторы охлаждаются водой при помощи змеевика, припаянного к выступающей фольге с одного торца секции.

Фольговые обкладки, как видно из рис.1, соединены параллельно по отношению к тепловому потоку.

В указанной конструкции электротермических конденсаторов охлаждение происходит через выступающую фольговую обкладку, соединенную с охлаждающей системой только с одной торцевой стороны секции.

Для более интенсивного охлаждения конденсатора предлагается осуществлять теплоотвод с торцов секций с помощью двух охлаждающих змеевиков, припаяваемых к выступающим обкладкам пакета секции с обоих торцов. Охлаждающие змеевики одновременно служат собирательными выводами конденсатора, а наличие охлаждающей воды позволяет резко увеличить допустимую плотность тока в выводах (рис.2).

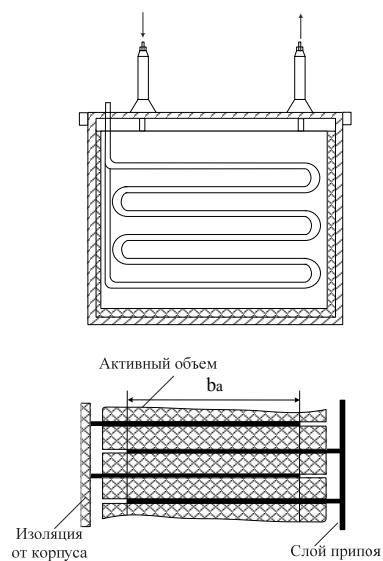


Рис.1. Охлаждение конденсатора с одним змеевиком

Для отвода нагретой воды используют два дополнительных изолятора, установленных на крышке конденсатора.

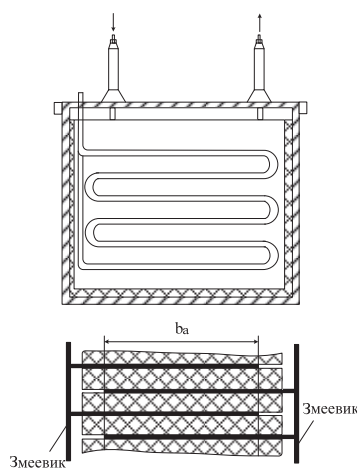


Рис.2. Охлаждение конденсатора с двумя змеевиками

При охлаждении змеевиками водой для определения коэффициента теплоотдачи α_T можно воспользоваться формулой для прямой трубы, выведенной из критериального уравнения (3), с последующим введением поправки для учета наличия закруглений в змеевике:

$$\alpha_T = Nu \frac{\lambda_g}{d} \left(1 + 1,77 \frac{d}{R}\right), \quad (1)$$

где λ_g - коэффициент теплопроводности воды при 20°C, $\lambda_g = 0,515 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м} \cdot \text{град}$, который берется по известной таблице [1]; d - внешний диаметр змеевика, $d = 0,01 \text{ м}$; R - радиус закругленной части змеевика, $R = 0,03 \text{ м}$.

Выражение в правой части формулы (1), взятое в скобки, учитывает поправку на наличие закруглений в змеевике.

По известному коэффициенту Nu определяется α_T :

$$\alpha_T = 93 \cdot \frac{0,515}{0,01} \left(1 + 1,77 \cdot \frac{0,01}{0,03}\right) = 0,883 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}. \quad (2)$$

Критериальное уравнение для теплоотдачи в прямой трубе при турбулентном (вихревом) движении имеет вид [1]

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}. \quad (3)$$

Критерий Прандтля берется по известной таблице [1], а критерий Рейнольдса вычисляется по формуле

$$Re = \frac{V_g d}{\vartheta_g}, \quad (4)$$

где V_g - скорость воды, $V_g = 1,2 \text{ м/с}$, которая определена экспериментальным путем; ϑ_g - кинематическая вязкость воды, $\vartheta_g = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

$$Re = \frac{1,2 \cdot 0,01}{1 \cdot 10^{-6}} = 12000. \quad (5)$$

Экспериментальное исследование по определению коэффициента теплоотдачи α_T . Исследование проводилось на модели конденсатора, представляющего собой обкладки конденсаторного типа, присоединенные к змеевику длиной 0,3 м. В качестве нагревательного элемента, имитирующего потери конденсаторной бумаги, использовались нагреватели с односторонней и двусторонней намотками нагревательного элемента. С целью равномерного распределения мощности нагревательные элементы с обеих сторон прокладывались листовой слюдой толщиной 0,5 мм. Поверх нагревательного элемента и слюды прокладывалась кабельная бумага толщиной 80 мкм (что равносильно толщине 10 слоев конденсаторной бумаги толщиной 8 мкм) [2,3].

Так называемый “сэндвич” прокладывается между обкладками, охлаждаемыми водой. За счет изменения напряжения мощность нагревательного элемента изменялась в пределах 100...400 Вт. Напряжение измерялось с помощью вольтметра класса 0,5, а ток нагревательного элемента контролировался с помощью амперметра класса 0,5.

Температура на входе и выходе змеевиков измерялась ртутными термометрами со шкалой 0...55 °С и ценой деления шкалы 0,1 °С с погрешностью ±0,4. Перегревы контролировались инфракрасным термометром НСЛУЕТ НТ-830 китайского производства со шкалой -50...380 °С, результаты которых отличались на 0,1...0,2 °С [2,3].

Результаты эксперимента с одним охлаждающим змеевиком приведены в табл.1, а с двумя охлаждающими змеевиками - в табл.2 при одинаковой скорости воды, равной 1,2 м/с.

В табл.1 отсутствуют значения α_T и Δt при 300 и 400 Вт в связи с тем, что с одним змеевиком перегревы получились большими из-за слабого охлаждения.

Охлаждающая поверхность змеевика рассчитывается по следующей формуле:

$$S_{охл} = \pi dL, \quad (6)$$

где L - длина змеевика, $L = 227$ см.

Таблица 1

Перегревы модели конденсатора с одним охлаждающим змеевиком
при $S_{охл} = 713$ см²

P , Вт	t_1 (вход), °С	t_2 (выход), °С	Δt , °С	α_T , Вт/см ² ·град
100	31	31,2	0,2	5,3
200	31,7	32,1	0,4	5,3

Таблица 2

Перегревы модели конденсатора с двумя охлаждающими
змеевиками при $S_{охл} = 713$ см²

P , Вт	t_1 (вход), °С	t_2 (выход), °С	Δt , °С	α_T , Вт/см ² ·град
100	29,5	29,5	0	-
200	30,3	30,5	0,2	10,6
300	31,3	31,6	0,3	10,6
400	32,7	33,1	0,4	10,6

Сравнение табл. 1 и 2 показывает, что отношение перегревов и соответствующих коэффициентов теплоотдачи с одним и двумя змеевиками составляет два раза. Охлаждение с двумя змеевиками снижает перегревы конденсаторов в два раза [2,3].

Обсуждение результатов исследования. На основании экспериментальных данных с одним охлаждающим змеевиком и расчетных значений α_T можно определить масштабный коэффициент M_k при различных напряжениях и частотах для бумажно-фольговых электротермических конденсаторов и конденсаторов с комбинированным диэлектриком.

Кроме того, имея расчетные значения α_T , можно определить перегревы температуры реальных конденсаторов с одним змеевиком по формуле

$$\Delta t = \frac{P}{\alpha_T S_{охл}}. \quad (7)$$

Здесь $P = Q \cdot tg\delta = 400 \cdot 10^3 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3} = 1520 \text{ Вт}$ (для конденсатора марки ЭСВ-0,8-10-2-У3), где P - активные потери конденсатора, $Вт$; Q - реактивная мощность конденсатора, $кВАр$; $tg\delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора.

Подставляя численные значения в формулу (7), получим для $\Delta t = 2,41 \text{ }^\circ\text{С}$.

Следовательно, появляется возможность определения масштабного коэффициента M_k путем сравнения расчетного и экспериментального значений α_T . Масштабный коэффициент M_k дает возможность сравнить расчетные и экспериментальные отклонения реальных конденсаторов:

$$\alpha_T = \frac{P_{экс}}{\Delta t_{экс} S_{экс}} = M_k \frac{P_{рас}}{\Delta t_{рас} S_{рас}}, \quad (8)$$

где $P_{экс}$ - экспериментальное значение мощности, $Вт$; $\Delta t_{экс}$ - экспериментальное значение перегрева, $^\circ\text{С}$, $\Delta t_{экс} = 0,4 \text{ }^\circ\text{С}$; $S_{экс}$ - экспериментальное значение поверхности охлаждения змеевиков, $см^2$ (экспериментальное значение L выбираем равным 30 см , что составляет прямолинейный участок змеевика, следовательно, $S_{экс} = 3,14 \cdot 1 \cdot 30 = 94,2 \text{ см}^2$); $P_{рас}$ - расчетное значение мощности, $Вт$; $\Delta t_{рас}$ - расчетное значение перегрева, $^\circ\text{С}$; $S_{рас}$ - расчетное значение поверхности охлаждения змеевиков, $см^2$ (для конденсатора марки ЭСВ-0,8-10-2-У3);

$$M_k = \frac{P_{экс} \cdot \Delta t_{рас} \cdot S_{рас}}{\Delta t_{экс} \cdot S_{экс} \cdot P_{рас}}. \quad (9)$$

Подставляя численные значения в формулу (9), получим $M_k = 6,000426$.

Следовательно, коэффициент теплоотдачи α_T равен

$$\alpha_T = \frac{\alpha_{Tэкс}}{M_k}. \quad (10)$$

Подставляя численные значения в формулу (10), получим $\alpha_T = 0,883 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}$.

С другой стороны, экспериментальный масштабный коэффициент равен

$$M_k = \frac{\alpha_{T_{\text{экc}}}}{\alpha_{T_{\text{рас}}}}, \quad (11)$$

где $\alpha_{T_{\text{экc}}}$ - экспериментальное значение коэффициента теплоотдачи, $\text{Вт/см}^2 \cdot \text{град}$;
 $\alpha_{T_{\text{рас}}}$ - расчетное значение коэффициента теплоотдачи, $\text{Вт/см}^2 \cdot \text{град}$;
 $M_k = 6,0022$.

Следовательно, экспериментальные и расчетные значения отклонения M_k составят $\delta = 0,2\%$.

Таким образом, появляется возможность определения M_k путем сравнения расчетного и экспериментального значений α_T при различных напряжениях и частотах конденсаторов, охлаждаемых одним змеевиком.

Расхождение между расчетным и экспериментальными значениями M_k , рассчитанными для различных напряжений и частоты, составляет 0,144%.

Выводы

1. Увеличение поверхности охлаждения за счет применения второго змеевика позволяет снизить активную мощность конденсатора в два раза.
2. Охлаждение конденсатора двумя змеевиками показывает, что при перепаде температуры Δt в два раза при той же мощности конденсатора коэффициент теплоотдачи α_T увеличивается вдвое.
3. Путем увеличения α_T при охлаждении двумя змеевиками можно увеличить частоту электротермических конденсаторов вдвое с небольшой корректировкой емкости.
4. На основании расчетных и экспериментальных данных с большой точностью определены значения M_k для электротермических конденсаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы.- Л.: Энергия, 1969. - 592 с.
2. Варданян Л.А. Повышение рабочей частоты бумажно-фольговых конденсаторов за счет применения двух охлаждаемых водой змеевиков // Вестник НПУА: Электротехника, энергетика.- Ереван, 2018.- №2.- С. 69-76.
3. Արտոնագիր №3224А Ջրային հովացումով կոնդենսատոր / Լ.Ա. Վարդանյան, Մ.Ք. Բաղդասարյան, Պ.Հ. Խաչատրյան, Է.Վ. Կուրդինյան.- Հրապարակված է 01.10.2018թ.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 14.06.2019.

Լ.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ՋՐՈՎ ՀՈՎԱՑՎՈՂ ՄԵԿ ԵՎ ԵՐԿՈՒ ԳԱԼԱՐԱԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՎ
ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Ուսումնասիրվել է ջրով հովացվող կոնդենսատորային տեսակի մակետային նմուշ՝ մեկ և երկու գալարախողովակներով: α_T ջերմատվության գործակցի հաշվարկային արժեքները ստացվել են նմանության տեսության համաձայն՝ Նուսսելտի, Ռեյնոլդսի և Պրանդտլի չափանիշների կիրառմամբ, և համեմատվել են փորձնական արդյունքների հետ: Երկու գալարախողովակով α_T ջերմատվության գործակցի փորձնական տվյալների որոշման հիմքում ընկած է թղթայուղային դիէլեկտրիկով և նրբաթիթեղային շրջադիրներով էլեկտրաջերմային կոնդենսատորների հաշվարկման մեթոդը:

α_T ջերմատվության գործակցի փորձնական տվյալները, որոնք ստացվել են երկու հովացնող գալարախողովակով մոդելի վրա, լավ համընկնում են α_T ջերմատվության գործակցի հաշվարկային արժեքների հետ, երբ մասշտաբային գործակիցը կազմում է 6:

Առանցքային բառեր. կոնդենսատոր, ջերմատվության գործակից, գերտաքացում, ջրային հովացում, գալարախողովակ, նմանության մեթոդ, Նուսսելտի Nu , Ռեյնոլդսի Re և Պրանդտլի Pr չափանիշներ:

L.A. VARDANYAN

**DETERMINING THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF
CAPACITORS WITH ONE AND TWO WATER COOLED COILS**

A sample of a capacitor type with one and two water-cooled coils is investigated. The calculated values of the heat transfer coefficient α_T obtained on the basis of the similarity theory using the Nusselt, Reynolds and Prandtl criteria are compared with the experimental results. The results of the experimental determination of the heat transfer coefficient α_T with two cooling coils form the basis of the method for calculating electrothermal capacitors with a paper-oil dielectric and foil plates. The experimental data on the heat transfer coefficient α_T , obtained on the basis of the model with one cooling coil, are in good agreement with the calculated value of the heat transfer coefficient α_T .

It is shown that the calculated values of the heat transfer coefficient α_T obtained on the basis of the similarity theory are in good agreement with the experimental data at a scale factor of 6.

Keywords: capacitor, heat transfer coefficient, overheating, water cooling, coil, similarity method, criteria Nusselt, Reynolds, Prandtl.

Ն.Դ. ԵԶԱԿՅԱՆ

**ԿԵՆՍԱԴԻՄԱՐԴՈՒԹՅԱՆ ՍՊԵԿՏՐԱԶՆՆՈՒՄԸ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԵՎ
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ՝ ՄՇԱԿՎԱԾ ԱՌՏՈՐՈՇԻՉ
ՍԱՐՔԻ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Ներկայացված են մի քանի սպեկտրազննումների ամփոփ վիճակագրություններ, որոնք ստացվել են մեր կողմից մշակված ախտորոշիչ սարքի միջոցով: Սարքը հնարավորություն ունի միանալու համակարգչին: Մշակվել են 2 առանձին համակարգչային ծրագրեր, որոնցից մեկը նախատեսված է օպերատորի, մյուսը՝ կենսադիմադրության վրա ստացված ազդանշանի ավելի խոր ուսումնասիրությունների կատարման համար:

Սպեկտրազննման կիրառությունը հնարավորություն է տալիս մաշկին տրված կենսահոսանքների և ջերմային ազդեցությունների միջոցով ուսումնասիրել ձևավորված ազդանշանների հաճախականային սպեկտրները, կատարել համապատասխան եզրակացություններ: Մշակված սպեկտրազննման ծրագիրը կիրառելի է ոչ միայն բժշկական հետազոտություններում, այլ նաև այնպիսի հետազոտությունների դեպքում, երբ անհրաժեշտ է ցանկացած պատահական բնույթի ազդանշանի վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. կենսադիմադրություն, սպեկտրազննում, սպեկտրալ բաղադրիչ, կենսաազդանշան, հաճախականություն, ճոճք, ջերմաստիճան:

Ներածություն: Սպեկտրազննումը լայնորեն տարածված մեթոդ է, որը կիրառվում է տարբեր բնագավառներում հետազոտական նպատակներով, հատկապես, երբ ունենք անորոշ բաշխվածություն, և անհրաժեշտ է գնահատել ձևավորված ազդանշանի հաճախականային տեսքը:

Համակցված գործընթացների հետազոտման պասսիվ մեթոդները հարմարավետ եղանակներ են գիտական և ճարտարագիտական բազմաթիվ ոլորտներում: Գրականությունից հայտնի է, որ նյութերի էլեկտրական հատկությունների կենսաափիմական հետազոտությունները կարևոր գործիք են պասսիվ մեթոդների դեպքում: Օրինակ, էլեկտրաուղեղագրությունը և էլեկտրասրտագրությունը ներկայումս բժշկական ստանդարտ ախտորոշումներ են: Կենսադիմադրության արձագանքների չափման, ինչպես նաև կիրառվող դաշտերի դիէլեկտրական բևեռացման արձագանքների հետազոտությունների դիտարկումներից ելնելով՝ էլեկտրոդները կարելի է դիտել որպես հոսանքների ներարկիչներ:

Սովորաբար կենսադիմադրության սպեկտրազննման (ԿՍԶ) չափման դեպքում օգտագործվում է հաճախային ճոճքը (ՀՃ), երբ դիմադրությունը չափվում է

հաճախության ճոճման ընթացքում մեկ հաճախային կետի շուրջը [1]: ՀՃ-ն մինչ օրս շարունակում է օգտագործվել՝ շնորհիվ իր պարզության, և հնարավորություն է տալիս՝ կատարելու ժամանակից անկախ կենսադիմադրության հատկությունների կայուն ուսումնասիրություն [2]: ՀՃ-ի հիմնական առավելությունը երկարա-ժամկետ զննման դեպքում ազդանշան-աղմուկ հարաբերության բարձր արժեքն է, որը մեկ ամբողջական զննման ընթացքում տևում է մեկից մինչև մի քանի տասնյակ վայրկյաններ: Այս պարագայում ՀՃ-ի հիմնական թերությունը նրա ճոճման ցիկլն է, որը կարող է շատ ավելի երկար լինել, քան կենսադիմադրության ժամանակային տատանումները [3]: Այսպիսով, ՀՃ չափման տեխնոլոգիաների վրա հիմնված ԿՍՁ տվյալները սխալանքով են ներկայացնում ակնթարթային կայունության սպեկտրը, և հնարավոր է, որ կորցնեն հետազոտական տեղեկությունը [4]:

Միաժամանակյա բազմահաճախային չափման (ՄԲՉ) տեխնիկան վերջին տարիներին դառնում է ավելի հայտնի: ՄԲՉ-ի ժամանակ օգտագործվում է լայնաշերտ հաճախություն, և սպեկտրալ վերլուծության միջոցով կատարվում է Ֆուրյեի արագ ձևափոխում (ՖԱՁ) [3, 5]: Շնորհիվ բազմաթիվ հաճախությունների, որոնք միաժամանակ են գրգռվում, ամբողջական ԿՍՁ - ի ձեռքբերման ժամանակը էականորեն նվազում է [6]: Համեմատած ՀՃ-ի, ՄԲՉ-ն կարող է միաժամանակ տալ կենսադիմադրության հաճախության արձագանքը և արդյունավետ է ժամանակից կախված փոփոխվող կենսաբանական համակարգերի ուսումնասիրության դեպքում (օրինակ՝ շնչառական կամ սրտանոթային համակարգեր) [8]: Այսպիսով, համակցված դիմադրության սպեկտրը (լայնաշերտ գրգռման դեպքում) կարող է հաշվարկվել որպես ՖԱՁ-ի արձագանքման լարման գործակիցների հարաբերությունը գրգռող հոսանքի ազդանշանի գործակիցներին:

Այնուամենայնիվ, ՖԱՁ-ի գործողությունները սովորաբար առաջ են բերում սպեկտրի ընդլայնում (տարածում): Ֆուրյեի ձևափոխման տեսությունը միշտ ենթադրում է, որ մուտքային ազդանշանը պարբերական է, այնպես որ, եթե այն ավարտվի ամբողջական թվով պարբերությամբ, ապա սպեկտրի ընդլայնում չի լինի: Ավելին, որպես ուղղանկյուն ալիք՝ ՄԲՉ-ն պարունակում է մեծ թվով անցանկալի բաղադրիչներ [7], որոնք հանգեցնում են սպեկտրի աղավաղման, ինչն էլ նվազեցնում է չափման ճշտությունը ՖԱՁ գործողություններ կատարելու ժամանակ [8]:

Բարեբախտաբար, սպեկտրի ընդլայնման անցանկալի հետևանքները կարող են նվազագույնի հասցվել՝ բաղադրիչները ճնշելով համապատասխան ժամանակի պատուհանային ֆունկցիաների միջոցով [9]:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Ֆուրյեի ձևափոխման յուրահատկությունն ու գրավչությունն այն է, որ ենթադրում է ազդանշանի վերլուծություն՝ ըստ հարմոնիկ կազմի (բազիսի)։

$$\tilde{S}(\omega) = \int S(t)e^{-i\omega t} dt: \quad (1)$$

Ինչպես երևում է (1) բանաձևից, Ֆուրյեի ձևափոխությունը չի տարանջատում ազդանշանի բնութագրերը ժամանակի տարբեր պահերին և տալիս է ընդհանրացված պատկեր։ Այն հարմար չէ ժամանակի ընթացքում փոփոխվող բնութագրեր ունեցող ազդանշանների մշակման համար։ Կենսաազդանշանները փոփոխվում են ժամանակի ընթացքում պատահականորեն՝ շրջապատի ջերմային, էլեկտրական և այլ ազդեցությունների ներքո։

Կենսաազդանշանների հետազոտման համար օգտագործվում է պատուհանային ֆունկցիաների կիրառման եղանակը։ սկզբնական ազդանշանը մասնատվում է, և կատարվում է հատված առ հատված մշակում (1) բանաձևի միջոցով։ Այս դեպքում որոշակի ժամանակահատվածից դուրս ազդանշանը դառնում է զրո, և ինտեգրումը գործնականում կատարվում է վերջավոր ժամանակահատվածում։ Մշակման արդյունքում ստացվում է ժամանակի ընթացքում իրար հաջորդող սպեկտրալ պատկերների հաջորդականություն։

$$\tilde{S}_m(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t - ma)s(t)e^{-i\omega t} dt: \quad (2)$$

Այսինքն, իրական համակարգերում կատարվում է ազդանշանի մշակում բազիսի միջոցով, որը տեղայնացված է։ Ազդանշանի մշակումը կատարվում է ժամանակի և հաճախության մեջ, իսկ վերլուծությունը ներկայացնում է մատրից։

Հետազոտության արդյունքները: Հայտնի են կենսաազդանշանների սպեկտրալ գնման համար նախատեսված մի շարք հետազոտություններ։ [10]-ում ուսումնասիրվել է 4 *ԿՀ* իմպուլսային լայնաշերտ սպեկտրով ազդանշանը, և դիտարկվել է մինչև 2^{10} հարմոնիկների ամպլիտուդային կախվածությունը եռատարր մաշկի մոդելի վրա։ [11]-ում ուսումնասիրվել է նախաբազուկի մաթեմատիկական մոդելի վրա ակտիվ, ռեակտիվ բաղադրիչների կախվածությունը (արյուն, մկան և ճարպ) 1 *ԿՀ*-ից մինչև 2 *ՄՀ* տիրույթում դիսկրետ 18 հաճախությունների դեպքերում։

Հայտնի են նաև մաշկի վրա ջերմային ազդեցությունների մի շարք հետազոտություններ։ [12]-ում ջերմային տվիչների միջոցով գրանցվել է իրական մաշկի արտաքին ջերմաստիճանի ժամանակային փոփոխության կորը, և որոշվել են մի քանի այլ բնութագրերի՝ ջերմությունից կախված բաշխվածության տիրույթները։ [13]-ում կատարվել են 5 *ԿՀ*-ից մինչև 1 *ՄՀ* տիրույթում սպեկտրալ չափումներ՝ օգտագործելով լարման ազդանշանների գեներատորը։ Հետազոտվողը գտնվել է

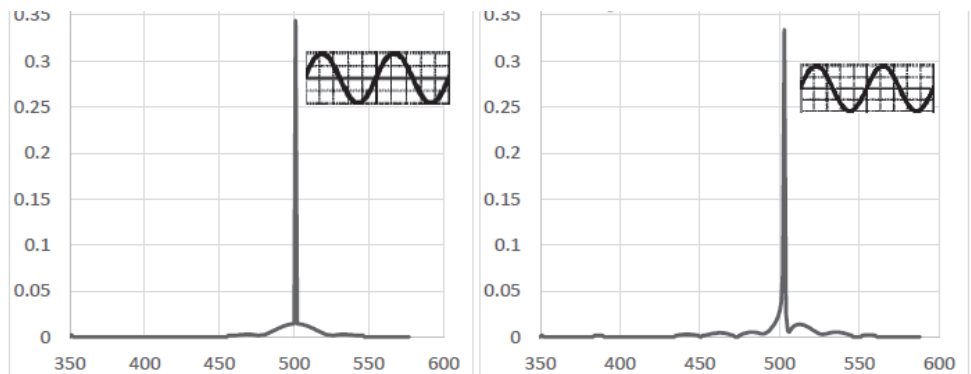
սենյակային 3 պայմաններում (13 °C, 24 °C, 39 °C) մի քանի ժամ և առանց սննդի: Ջերմային պայմանների փոփոխություններին ամենազգայունը ծնկից ծունկ չափումներն են եղել, և համարժեք մոդելի կիրառմամբ չափվել է ներքջային և արտաքջային դիմադրությունների ջերմաստիճանային կախվածությունը:

[10, 11]-ում կատարվել են փորձերը միայն մաթեմատիկական մոդելների վրա, որոնցում որևէ հիվանդության հետ կապը բացակայում է: [12, 13]-ում կատարվել են ջերմաստիճանից կախված հետազոտություններ, ընդ որում, միայն [13]-ում են կատարված մասամբ իրական փորձեր: Ընդհանրապես [10-13] աշխատանքներում չկա անդրադարձ ջերմաստիճան-հաճախություն կապին: Դրանք դիտարկված են առանձին-առանձին, չկա էլեկտրական ու ջերմային ազդեցությունների համակցված ուսումնասիրություն:

Հետազոտության համար օգտագործվել է Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում մշակված համակցված բժշկական ազդեցություններով սարքը, որը հնարավորություն է տալիս հետազոտել ջերմաստիճանից կախված մարդու կենսադիմադրությունը մաշկի տարբեր կետերում, ինչպես նաև կենսադիմադրության վրա կիրառել տարբեր կենսահոսանքներ և դիտարկել դրանց արձագանքն այդ տեղամասերում [14]:

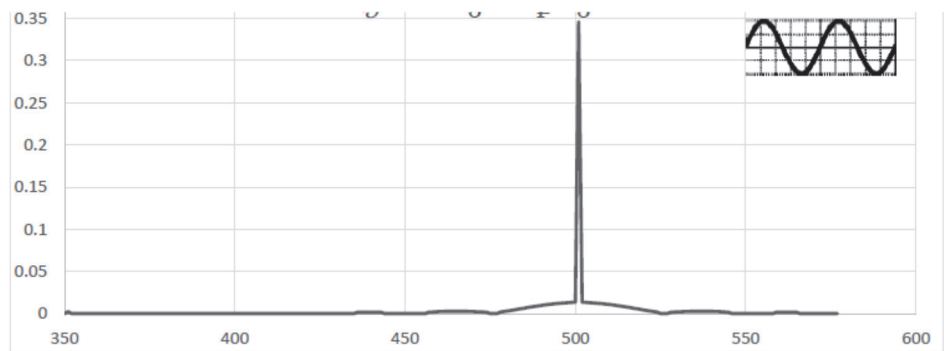
ՖԱԶ-ը թույլ է տալիս հետևել և վերլուծել տվյալները, կատարել համապատասխան եզրակացություն: Հետազոտության ժամանակ իրականացել է մեկ վայրկյան տևողությամբ տվյալների պահպանում: Այնուհետև վերցվել են պահպանված 10 տվյալները, կատարվել է դրանցից յուրաքանչյուրի սպեկտրալ վերլուծություն, և դուրս բերվել դրանց միջինացված արժեքը:

Հետազոտությունների արդյունքների հավաստիությունը բարձրացնելու համար անհրաժեշտ են բազմակի ուսումնասիրություններ, ինչը հնարավոր չի եղել կատարել հիվանդների անհրաժեշտ քանակի բացակայության պատճառով: Հետազոտվել է միջին տարիքի առողջ տղամարդ: Տրվել են տարբեր հաճախություններով 1 Վ ամպլիտուդով սինուսոիդներ: Սպեկտրի այն հաճախությունները, որոնք ընկած են 0,0015 նորմավորված մակարդակից ցածր, ընդունվել են որպես աղմուկ: Ներագրող և չափող գլխիկները (ՆԶԳ) տեղադրվել են արմունկի շրջանում: Ցուցադրված են միայն այն սպեկտրալ տիրույթները, որտեղ նկատվել է բաղադրիչների էական առկայություն: Նկ. 1...3-ից յուրաքանչյուրում բերված է իր մուտքային ազդանշանի տեսքը:



ա)

բ)



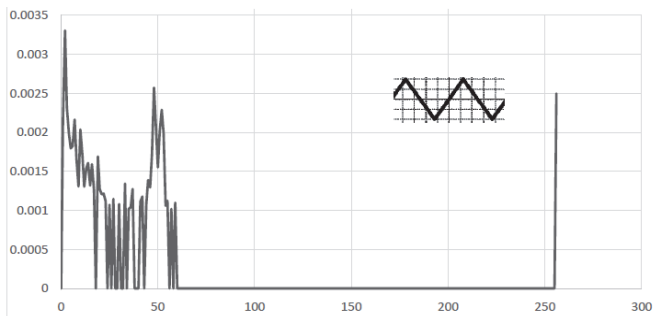
գ)

Նկ. 1. Արմունկի շրջանում հետազոտության արդյունքները: Տրված են հարմոնիկ ազդանշաններ. ա)-500 Հց 1 ՆՉԳ-ի 40°C տաքացմամբ, բ)-500 Հց 2 ՆՉԳ-ների 40°C տաքացմամբ, գ)-500 Հց առանց ՆՉԳ-ների տաքացման

500 Հց հարմոնիկ լարման ու առանց ՆՉԳ-երի տաքացման և 1 ՆՉԳ-ի տաքացման դեպքերում (նկ. 1 ա, գ) սպեկտրում էական տարբերություններ չկան, իսկ 2 ՆՉԳ-ի տաքացման դեպքում (նկ. 1 բ) ունենք սպեկտրի տեսքի փոփոխություն:

Եզրակացություն: Արմունկի վրա ստանում ենք գրեթե նույն սպեկտրը, երբ ՆՉԳ-երը չեն տաքացվում, կամ միայն 1 ՆՉԳ-ն է տաքացվում: 2 ՆՉԳ-ի դեպքում կա սպեկտրի էական փոփոխություն:

Հետազոտվել է 60 տարեկան կին: Ախտորոշված է եղել կնոջ կոնքազդրային հոդի արթրոզ: Հիվանդը բողոքել է հոդացավերից, ցավազրկող միջոցները չեն օգնել: Տրվել է 256 Հց հաճախությամբ և 0,75 Վ ամպլիտուդով եռանկյունաձև լարում: Տաքացվել է 1 ՆՉԳ-ն 43 °C: Սպեկտրի 0,001 մակարդակից ցածր բաղադրիչներն ընդունվել են որպես աղմուկ:

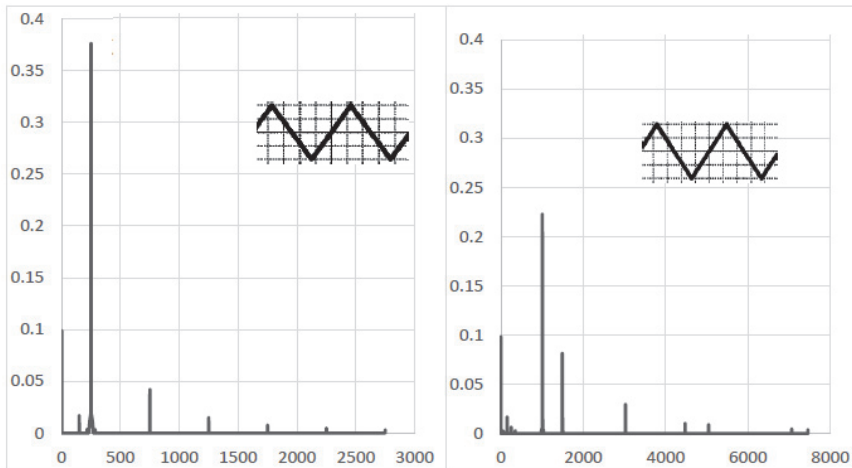


Նկ. 2. Արթրոզի հետազոտության տվյալ

Կոնքազորային հողի դեպքում ունենք աղմուկների մեջ կորած թույլ եռանկյուն ազդանշանի միայն գլխավոր հաճախությունը (նկ. 2), իսկ աղմուկների մակարդակը, հաճախությունից կախված, էքսպոնենցիալ ձևով նվազում է մինչև 40 Հց Որոշակի աճ կա 50±10 Հց-ի դեպքում, ընդ որում՝ 50 Հց-ը ֆիլտրված է:

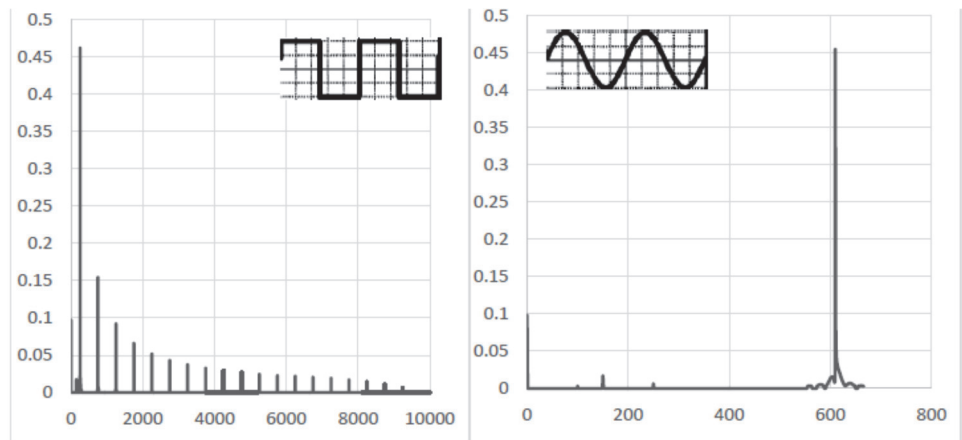
Եզրակացություն: Տրվել է բավականին ինտենսիվ ազդանշան, որը մարվել է հյուսվածքում բարձր հաղորդականության պատճառով: Մնացորդային ազդանշանը համաչափելի է աղմուկների մակարդակին:

Հետազոտվել է 50 տարեկան կին. ախտորոշվել է մեջքի ճողվածք: Տրվել են 0,75 Վ ամպլիտուդով տարբեր ազդանշաններ: ՆՉԳ-ները դրվել են հիվանդ հատվածում: Սպեկտրի 0,003 մակարդակից ցածր հաճախություններն ընդունվել են որպես աղմուկ: ՆՉԳ-ն տաքացվել է 43 °C:



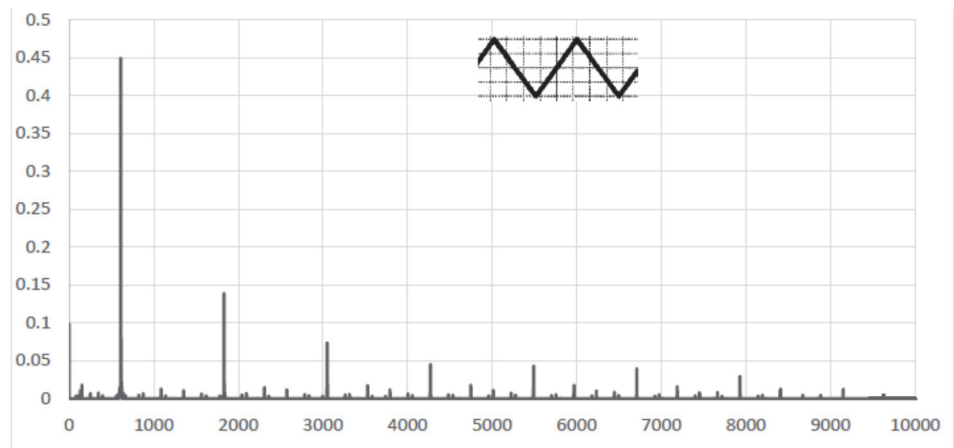
ա)

բ)



զ)

դ)



ե)

Նկ. 3. Մեջքի ճողվածքի հետազոտության տվյալները. ա-256Հց եռանկյունաձև ազդանշան՝ առանց ՆՉԳ-ների տաքացման, բ-1000Հց եռանկյունաձև ազդանշան՝ առանց ՆՉԳ-ների տաքացման, գ- 256Հց ուղղանկյունաձև ազդանշան՝ 1 ՆՉԳ-ի տաքացմամբ, դ-610Հց սինուսիդալ ազդանշան՝ 1 ՆՉԳ-ի տաքացմամբ, ե-610Հց եռանկյունաձև ազդանշան՝ 1 ՆՉԳ-ի տաքացմամբ

Երբ տրվում են եռանկյունաձև ազդանշաններ (նկ. 3 ա և բ), սպեկտրում առաջանում են գլխավոր և նրա կենտ հարմոնիկները: Երկու դեպքում էլ առկա են ցանցային հաճախության հարմոնիկները: Ուղղանկյունաձև ազդանշանի դեպքում (նկ. 3 գ) չափվող ամբողջ տիրույթում ունենք գլխավոր հարմոնիկի կենտ բաղադրիչները (առկա է մինչև 35-րդ հարմոնիկը): Ի տարբերություն նախորդ դեպքերի, սինուսիդալ ազդանշանի (նկ. 3 դ) դեպքում ունենում ենք միայն գլխավոր

հարմոնիկը, և նույնիսկ տաքացումը չի առաջացնում այլ հարմոնիկներ: Եռանկյունաձև ազդանշանի և 1 ՆԶԳ-ի տաքացման (նկ. 3 ե) դեպքում տեղի է ունենում սպեկտրի ընդհանուր ինտենսիվության մեծացում, ինչպես նաև սպեկտրում հայտնվում են ի սկզբանե անսպասելի հաճախություններ:

Եզրակացություն: Տաքացումը ստեղծում է ոչ գծային երևույթներ հյուսվածքում, որն էլ հանգեցնում է սպեկտրի փոփոխության, իսկ հյուսվածքում ցածր հաղորդականության պատճառով նույնիսկ թույլ արտահայտված հարմոնիկներն ազդեցություն են թողնում սպեկտրի վրա:

Ամփոփում: Նկարագրված սպեկտրագնման եղանակը հեռանկարային է, ընդ որում, ջերմային և էլեկտրական ազդանշանների միաժամանակյա ազդեցությունները կենսահյուսվածքում գրեթե ուսումնասիրված չեն, իսկ համակարգչի հնարավորությունների օգտագործումը թույլ է տալիս կատարել ոչ միայն մեկանգամյա, այլև բազմանգամյա հետազոտություն միևնույն հիվանդի վրա և ստեղծել տվյալների պահոց: Արդյունքում հնարավոր է դառնում կարծիք կազմել հիվանդության ընթացքի վերաբերյալ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Pliquett U. and Barthel A.** Interfacing the AD5933 for bioimpedance measurements with front ends providing galvanostatic or potentiostatic excitation// Journal of Physics: Conference Series.- 2012.- Vol. 407, no. 1, article ID 012019.
2. Electrical impedance of mouse brain cortex in vitro from 4.7 kHz to 2.0MHz / **M.T. Wilson, M. Elbohouty, et al** // Physiological Measurement. -2014.- Vol. 35, article 267.
3. **Sanchez B., Bragos R., and Vandersteen G.** Influence of the multisine excitation amplitude design for biomedical applications using Impedance Spectroscopy // Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.-2011.- P. 3975–3978.
4. Mixing frequency bio-impedance measurement technology based on DFT and virtual reference vector / **W. Chao, H. Chunyan, et al** // Proceedings of the International Conference on BioMedical Engineering and Informatics.-May 2008.- P. 455–459.
5. Basics of broadband impedance spectroscopy measurements using periodic excitations / **B. Sanchez, G. Vandersteen, et al** // Measurement Science and Technology.-2012.- Vol. 23, no. 10, article ID 105501.
6. Novel approach of processing electrical bioimpedance data using differential impedance analysis / **B. Sanchez, A.S. Bandarenka, et al** // Medical Engineering and Physics.-2013.-Vol. 35, no. 9.- P. 1349–1357.
7. **Sanchez B., Schoukens J., Bragos R., and Vandersteen G.** Novel estimation of the electrical bioimpedance using the local polynomial method. Application to in vivo real-time myocardium tissue impedance characterization during the cardiac cycle // IEEE Transactions on Biomedical Engineering.-2011.-Vol. 58, no. 12.- P. 3376–3385.

8. **Oppenheim A.V., Willsky A.S. and Nawab S.H.** Signals & Systems.- Prentice-Hall, Upper Saddle River.- 2nd edition.- NJ, USA, 1996.-P. 20-24.
9. **Andria G., Savino M. and Trotta A.** Windows and interpolation algorithms to improve electrical measurement accuracy // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.-1989.- Vol. 38, no. 4.- P. 856–863.
10. Broadband Bioimpedance Spectroscopy Based on a Multifrequency Mixed Excitation and Nuttall Windowed FFT Algorithm / **Y. Yuxiang, Z. Wen, Du Fangling, et al** // Mathematical Problems in Engineering.- 2014.- Article ID 539719.
11. **Gautam Anand, Andrew Lowe and Al-Jumaily Ahmed M.** Simulation of impedance measurements at human forearm within 1 kHz to 2 MHz // J Electr Bioimp.-2016.- Vol. 7.- P. 20–27, [doi:10.5617/jeb.2657](https://doi.org/10.5617/jeb.2657).
12. Thermal Transport Characteristics of Human Skin Measured In Vivo Using Ultrathin Conformal Arrays of Thermal Sensors and Actuators. PLoS ONE / **R.C. Webb, R.M. Pielak, et al.** -2015.- 10(2): e0118131, [doi:10.1371/journal.pone.0118131](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118131).
13. **Manisha Jain.** Two Dimensional Mathematical Model To Study Thermal Changes After An Abnormality During Healing // International Journal of Mathematical Archive. -2015.- 6(1).- P. 216-222.
14. **Մարտիրոսյան Ա.Գ., Ղուկաս Ա.Գ., Եզակյան Ն.Դ., Մկրտչյան Ն.Ս.,** Համակցված ֆիզիկական ազդեցություններով ախտորոշիչ բժշկական սարք // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2019.- 72, №1. - 86-92:

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 24.08.2019:

Н.Д. ЕЗАКЯН

СПЕКТРОСКОПИЯ БИОИМПЕДАНСА ПРИ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Представлен обзор нескольких спектроскопических статистических данных, которые были получены с помощью разработанного нами диагностического устройства. Устройство имеет возможность подключения к компьютеру. Разработаны две отдельные компьютерные программы: одна - для оператора, а другая - для более глубоких и научных исследований сигнала, полученного в биоимпедансе.

Использование спектроскопии позволяет изучать частотные спектры формируемых сигналов через биотоки и тепловые воздействия на кожу и делать соответствующие выводы. Разработанное программное обеспечение для спектроскопии применимо не только к медицинским исследованиям, но и к исследованиям, где требуется анализ любого случайного сигнала.

Ключевые слова: биоимпеданс, спектроскопия, спектральный компонент, биосигнал, частота, качание, температура.

N.D. EZAKYAN

**BIOIMPEDANCE SPECTROSCOPY AT THERMAL AND ELECTRICAL
IMPACTS USING THE DEVELOPED DIAGNOSTIC DEVICE**

A summary of several spectroscopy statistics data obtained by the developed by us diagnostic device is presented. The device can be connected to a computer. Two separate computer programs are developed - one for the operator, and the other for deeper and scientific investigations of the signal obtained at bioimpedance.

The application of spectroscopy allows to study the frequency spectra of the formed signals through biocurrents and thermal effects on the skin and make appropriate conclusions. The developed software for spectroscopy is applicable not only to the medical investigations, but also to the ones in which the analysis of any random signal is required.

Keywords: bioimpedance, spectroscopy, spectral component, biosignal, frequency, swing, temperature.

Ջ.Ս. ՄԵՎՈՅԱՆ, Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Գ.Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

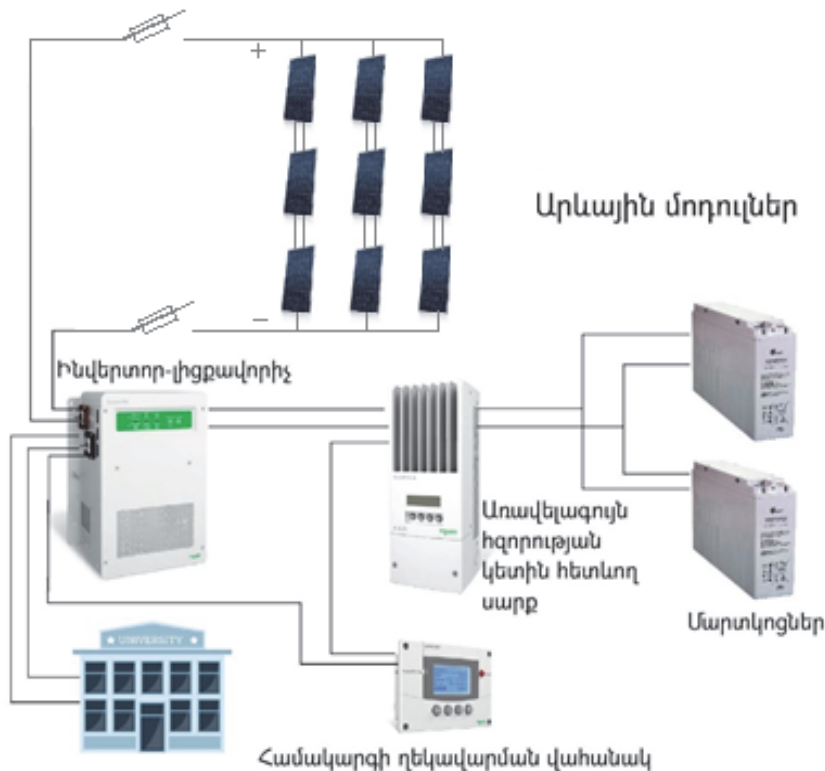
ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԻՆՔՆԱՎԱՐ ԿԱՅԱՆԻ ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆ
ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ուսումնասիրվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի 2-րդ մասնաշենքում (Էներգետիկայի և էլեկտրատեխնիկայի ինստիտուտում) տեղադրված արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանի հզորության կառավարման մեթոդ: Առաջարկված մեթոդի հիման վրա մշակվել է համապիտանի ապարատաձրագրային միջոց, որը հնարավորություն է տալիս մշտադիտարկման արդյունքում ֆոտոէլեկտրական կայանի առավելագույն հզորության արժեքի ճշտությունը մեծացնել մինչև 10%:

Առանցքային բառեր. ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայան, ռեժիմների կառավարում, առավելագույն հզորություն, ապարատաձրագրային սարքավորում:

Ներածություն. Հայաստանի Հանրապետությունում արեգակնային ֆոտոէլեկտրակայաններն աշխատում են հիմնականում ինքնավար և էլեկտրական ցանցին միացված ռեժիմներով, որոնք պարունակում են արևային ճառագայթների տարբեր հզորությամբ կերպափոխիչների մարտկոցներ կամ ֆոտոէլեկտրական զենեռատորներ [1,2]: Արտադրված էլեկտրաէներգիայի մի մասի՝ կայանի էլեկտրաքիմիական կուտակիչներում կուտակումը անվանում են ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայան [3], իսկ արտադրված էլեկտրաէներգիայի՝ էլեկտրական ցանցին ամբողջությամբ փոխանցումը՝ ցանցին միացված ֆոտոէլեկտրական կայան [4]:

Ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայանի (ԻՖԷԿ) կառուցման համար ավելի շատ կապիտալ ծախսեր են պահանջվում, քան ցանցին միացված ֆոտոէլեկտրական կայանների դեպքում: Սակայն ԻՖԷԿ-ն ունի առավելություն ցանցին միացված ֆոտոէլեկտրական կայանի համեմատ, քանի որ անկախ է էլեկտրական ցանցի վիճակից՝ ցանցում էլեկտրաէներգիայի առկայությունից և վթարային անջատումներից. այն նաև անխափան էլեկտրասնուցման սեփական աղբյուր է: Այսպիսով, ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայանները մշակված և կառուցված են տարբեր հզորություններով և կիրառական նպատակներով գործելու համար: Անմիջապես էլեկտրաէներգիա արտադրող և կուտակող արևային ֆոտոէլեկտրական կայանները անհատական բնակարաններին և հասարակական շինություններին անխափան էլեկտրաէներգիայով ապահովելու մեծ հեռանկար ունեն [5]: Կայանի ֆոտոզենեռատորների ֆոտոէլեկտրական մոդուլները միացվում են հաջորդաբար կամ զուգահեռ էլեկտրական շղթաներով, որպեսզի կայանն ապահովեն անհրաժեշտ լարումով և հոսանքով (նկ.1):



Նկ. 1. Արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանի հիմնական սարքերի սխեմատիկական միացումները

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է ՀԱՊՀ-ի ԷԷԻ-ի 2-րդ մասնաշենքում տեղադրված մինչև 2,5 կՎտ հզորությամբ ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայանի կառուցվածքը, որի հիմնական բլոկների սխեմատիկական միացումների տեսքը բերված է նկ.1-ում: Կայանի 9 ֆոտոէլեկտրական մոդուլները միացված են հաջորդաբար և զուգահեռ շղթաներով: Ֆոտոէլեկտրական գեներատորից համապատասխան հաստատուն հոսանքը 30 Վ և 8,06 Ա մալուխի միջոցով՝ (30 Վ լարումը անվտանգ է համարվում օգտագործման տեսանկյունից) տանիքից իջեցվել է շենքի երրորդ հարկ, որտեղ առանձին ստենդի վրա տեղադրված են ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայանը համալրող մյուս հիմնական սարքավորումները:

Ռեժիմների ընտրությունը. Ցանկացած էներգահամակարգում, ինչպես նաև արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանում առկա են այնպիսի ռեժիմային պարամետրերի շարունակական փոփոխություններ, որոնց ճիշտ ընտրության և մշտադիտարկման պարագայում կարելի է հասնել կայանի առավելագույն հզորությանը: Պարամետրերից են հաճախականությունը, լարումը և այլն [6]: Հիմնական են բնականոն, անցումային և հետվթարային ռեժիմները [7]:

Դիտարկենք ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայանների հնարավոր ռեժիմները:

Բնականոն ռեժիմի պարագայում պարամետրերն ունենում են ընդունելի, նվազագույն և կարճաժամկետ շեղումներ, այդ թվում՝ երբ բեռի փոփոխությունը տեղի է ունենում այնպիսի արագությամբ, որի դեպքում էլեկտրակայանը կարող է արագ կարգավորել ռեժիմի պարամետրերը:

Անցումային ռեժիմը համակարգի կայուն վիճակից անցումն է մեկ այլ վիճակի՝ կախված արևային հոսքի անսպասելի փոփոխություններից: Ռեժիմի նման փոփոխություն կարող է տեղի ունենալ նաև սխեմայում վթարային իրավիճակների պատճառով: Անցումային ռեժիմը կարող է լինել սիմետրիկ կամ ասիմետրիկ, կարճատև կամ երկարատև:

Հետվթարային կարճատև ռեժիմի դեպքում համակարգն աշխատում է մեծ բեռնվածությամբ: Այս ռեժիմը կարող է կիրառվել, եթե համակարգը բավարարում է տեխնիկական պայմանները:

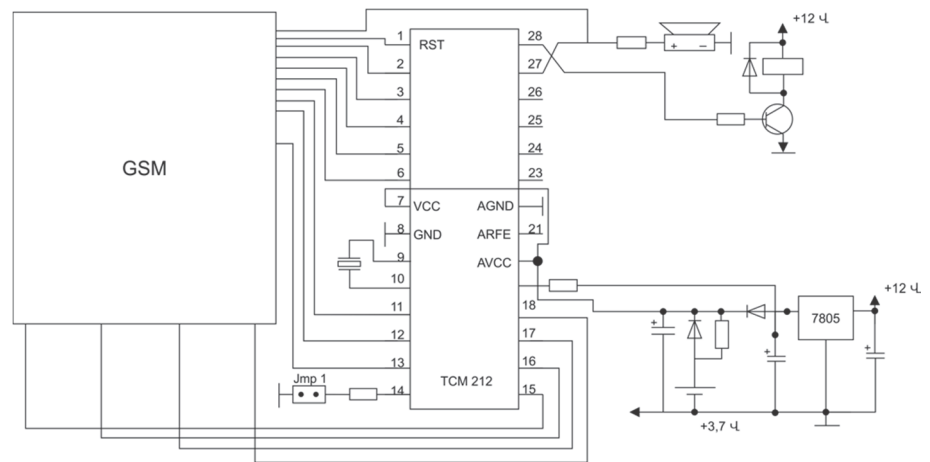
Հաշվի առնելով վերոնշյալ ռեժիմների տարանջատումը, կախված արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանում աշխատանքային ռեժիմների ընտրությունից, կառավարվող-չկառավարվող փոփոխությունից և մշտադիտարկումից, հնարավոր է կանխատեսել կայանի առավելագույն հզորությունը: Ուսումնասիրվել են կայանի աշխատանքային ռեժիմների վրա ազդող բաղկացուցիչ սարքերը և հետևյալ մասերը (նկ.1). *ապահովիչները, մոնտաժման հանգույցները, չափիչ և հսկիչ սարքերը, ինվերտորը, որը նաև պարունակում է էլեկտրաքիմիական կուտակիչների լիցքավորման և լիցքաթափման սխեմաներ, արևային մոդուլների անկյունների ստվերումների, արևային մոդուլների վրա տեղադրված շրջանցող և արգելակող դիոդները: Միացնող և անջատող ապահովիչներն* ապահովում են այս կայանի անվտանգ, առանց խափանումների աշխատանքը՝ անալոգային գործիքակազմի միջոցով: Ապահովիչներն իրենց գործառնություններն իրականացնում են առաջացած խնդիրների դեպքում, անջատելով սխեմաների աշխատանքը, ուստի կայանի *միացնող և անջատող ապահովիչները* զերծ են պահում կայանը հզորության փոփոխության ժամանակ առաջացող հնարավոր խնդիրներից և կարգավորում էլեկտրաքիմիական կուտակիչներում էներգիայի պահուստավորումը և սպառումը [3]: Լիցքաթափման սխեմաների ռեժիմների ընտրությունները բխում են կայանի՝ սպառիչներին միացված ժամանակ առաջացող էլեկտրաքիմիական մարտկոցների լիցքագերծումը չթույլատրող բնույթից: Արևային մոդուլների վրա տեղադրված շրջանցող դիոդները անկյունների ստվերումների դեպքում փոխադարձաբար կարող են փոփոխել միայն մոդուլների հոսանքի ուղղությունը: Արդյունքում ստացվում է, որ առաջարկվող աշխատանքային ռեժիմների ընտրությունը և կառավարումը չեն կարող ազդեցություն ունենալ արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանի առավելագույն հզորության բարձրացման վրա:

Ինքնավար կայանի բաղկացուցիչ մասերի ռեժիմների ընտրություն և ղեկավարումը կարող են փոփոխելի լինել համակարգի մշտադիտարկման արդյունքների միջոցով: Աշխատանքի նպատակն է ինքնավար արևային կայանների համար զարգացնել է **Rooftop Solar Photovoltaic (RSP) համակարգը** (թարգմանաբար՝ տանիքում արևային ֆոտոէլեկտրական մշտադիտարկման համակարգ) [8], որը մեծացնում է մոնիտորինգային համակարգերի և կայանների ինտեգրումը՝ հնարավորություն տալով իրականացնելու մշտադիտարկումներ, երկարացնելով ֆոտոէլեկտրական կայանի գործունեության տևողությունը և ստանալու հնարավոր առավելագույն հզորությամբ որոնման մեթոդ:

Հաշվի առնելով՝ RSP համակարգը և առավելագույն հզորության կետն ընտրելու համար հայտնի ու տարածված խոտորման և դիտարկման (perturb and observe) մեթոդը [9], առաջարկվում է կիրառել մշտադիտարկման նոր ալգորիթմով համակարգ, որը հնարավորություն է ընձեռում, փոփոխելով գործող լարումը կամ հոսանքը, կրճատել հզորության (նախապես ընտրված տիրույթում) առավելագույն կետին հասնելու ժամանակը և որպես արդյունք՝ մեծացնել ճշտությունը:

Այս մեթոդն արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանի դեպքում կիրառելու համար անհրաժեշտ է կայանին միացնել ապարատաձրագրային միջոց, որը կաշխատի համապատասխան ալգորիթմով և ծրագրային միջոցով: Այդպիսի համակարգ է M2M տեխնոլոգիայով աշխատող GSM համապիտանի կառավարող սարքը: Այն բարձրացնում է փոխանակվող տվյալների անվտանգությունը, հուսալիությունը և հնարավորություն է տալիս ինքնավար էլեկտրակայանի ռեժիմի կառավարման գործընթացն ամբողջապես դարձնել ավտոմատ: Այս ղեկավարող սարքի մշակված սխեման բերված է նկ. 2-ում:

Նկ.2-ում ներկայացված է RSP համակարգի ներդրմամբ, perturb and observe մեթոդի օգտագործմամբ նախագծված M2M տեխնոլոգիայով աշխատող GSM համապիտանի ղեկավարող սարքի սխեման: Այն մշակվել է TMC-212 կոնտրոլերի և SIM900 տեխնոլոգիայի հենքի վրա [10]: Սարքն իրագործում է բազմաթիվ գործառնություններ՝ առաջնային մոդուլային կոնստրուկցիա: Հիշողության մեջ, նախապես օբյեկտակոդմնորոշված ծրագրային C (սի) լեզվով գրված ծրագրի ներբեռնումից հետո, այն կցագրվում է ինքնավար ֆոտոէլեկտրական կայանին և իրականացնում է ղեկավարում-մշտադիտարկում:



Նկ.2. M2M տեխնոլոգիայով աշխատող GSM համապիտանի ղեկավարող սարքը

GSM հեռավար կառավարման ծրագրավորվող սարքի և միացման սխեմայի աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է. TCM 212 կոնտրոլերը ստանում է ազդանշաններ GSM սարքից՝ 1...14 մուտքերի միջոցով, կոմբինացիաների դեպքում համապատասխան ելքերից նոր ազդանշան է փոխանցում: RST-ն նախատեսված է GSM սարքը գործարանային վիճակի բերելու համար: Մյուս նշումները համապատասխանում են կոնտրոլերի կառուցվածքին:

M2M տեխնոլոգիայով աշխատող GSM համապիտանի ղեկավարող սարքի և perturb and observe մեթոդի օգտագործմամբ նախագծված RSP համակարգը մոդելավորվել է MatLab և SimuLink ծրագրային միջավայրերում: Աղյուսակում ներկայացված են մինչև RSP համակարգի կիրառումը և դրանից հետո $I_{sc}(A)$, $U_{oc}(V)$ և $P_{hom}(W)$ ստացված արժեքների փոփոխությունները: Ծրագրված մոդելում որևէ պարամետրի փոքր-ինչ ε փոփոխությունը կարող է հանգեցնել սպասված արդյունքի շեղման, ինչից հետևում է, որ 10%-ը բացարձակ մեծություն չէ և կարող է ունենալ շեղում:

Աղյուսակում և նկ. 3-ում բերված արդյունքները ցույց են տալիս, որ RSP մշտադիտարկման համակարգի ներդրումը հանգեցնում է $I_{sc}(A)$, $U_{oc}(V)$ -ի միջակայքերի կրճատման, բայց և՛ դիտարկվող կետերի թվի պահպանման, ինչն էլ, իր հերթին, նույն հոսանքի ուժի և լարման շրջակայքում, ըստ MatLab և SimuLink ծրագրային միջավայրերում կատարված հաշվարկների, թույլ է տալիս մեծացնել հզորության առավելագույն արժեքի ճշտությունը՝ նախկինում եղած արժեքների համեմատ 10%-ով:

Աղյուսակ*

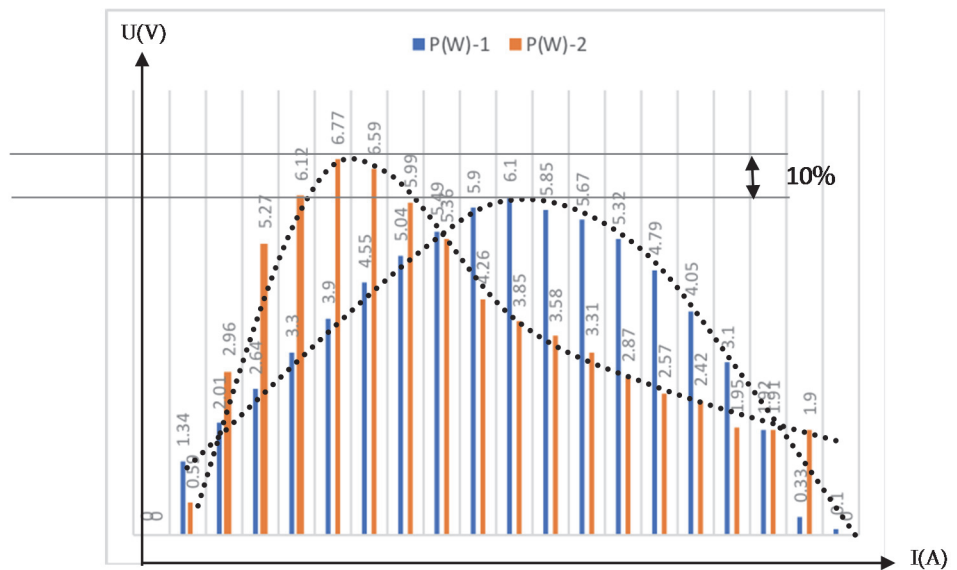
I(A)	U(V)	P(W)-1
0.67	0.00	0.00
0.67	2.00	1.34
0.67	3.00	2.01
0.66	4.00	2.64
0.66	5.00	3.30
0.65	6.00	3.90
0.65	7.00	4.55
0.63	8.00	5.04
0.61	9.00	5.49
0.59	10.00	5.90
0.53	11.50	6.10
0.45	13.00	5.85
0.42	13.50	5.67
0.38	14.00	5.32
0.33	14.50	4.79
0.27	15.00	4.05
0.20	15.50	3.10
0.12	16.00	1.92
0.02	16.50	0.33
0.01	16.52	0.10

ա)

I(A)	U(V)	P(W)-2
0.71	0.00	0.00
0.69	0.85	0.59
0.68	4.36	2.96
0.66	7.99	5.27
0.64	9.56	6.12
0.60	11.28	6.77
0.51	12.92	6.59
0.43	13.94	5.99
0.37	14.49	5.36
0.28	15.20	4.26
0.25	15.40	3.85
0.23	15.58	3.58
0.21	15.74	3.31
0.18	15.93	2.87
0.16	16.05	2.57
0.15	16.15	2.42
0.12	16.24	1.95
0.12	16.47	1.91
0.12	16.50	1.90
0.00	17.94	0.00

բ)

* Հաշվարկը կատարվել է՝ ա) առանց RSP համակարգի ներդրման մեթոդով, բ) RSP համակարգի ներդրման մեթոդով:



Նկ.3. Արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանի P(W)-1 և P(W)-2 առավելագույն հզորությունների տարբերության գրաֆիկը

Եզրակացություն. ուսումնասիրվել են ՀԱՊՀ 2-րդ մասնաշենքի Էներգետիկայի և էլեկտրատեխնիկայի ինստիտուտում տեղադրված ինքնավար արևային ֆոտոէլեկտրական կայանի համակարգի՝ աշխատանքային պայմանների փոփոխություններից կախված հնարավոր ռեժիմները (ռեժիմներից յուրաքանչյուրը ներառում է կայանի բաղկացուցիչ մասերի որոշակի խմբաքանակ, որոնց աշխատանքի փոփոխությունը հանգեցնում է հաջորդող մասերի աշխատանքի փոփոխությանը՝ շղթայական ռեակցիայի սկզբունքով):

Կայանի առավելագույն հզորության կետի որոշման համար ընտրվել է (perturb and observe) պարզագույն մեթոդը, որի հիման վրա էլ ստեղծվել է մշտադիտարկման համակարգը (RSP), ըստ որի՝ հոսանքի ուժի և լարման փոփոխության նույն միջակայքի դեպքում նոր մեթոդի կիրառմամբ P(W)-2 հզորության առավելագույն արժեքի ճշտությունը մեծանում է 10 %-ով:

Հետևաբար՝ մշակված ծրագրային ալգորիթմը մեծացնում է արևային ֆոտովոլտային (PV) համակարգի արդյունավետությունը և նվազեցնում ներկայումս վերահսկողության բացակայության պատճառով վատնվող էներգիան:

Առաջարկվող GSM հեռակառավարող սարքավորումը թույլ է տալիս արդեն իսկ գոյություն ունեցող ֆոտովոլտային (PV) համակարգը վերահսկելու, մշտադիտարկում իրականացնելու և գրանցելու առավելագույն հզորության տատանումները՝ համապատասխան ծրագրային ալգորիթմով:

Ստացված հետազոտությունը և առաջարկված ապարատաձրագրային միջոցը կարելի է կիրառել ցանկացած արևային ֆոտոէլեկտրական ինքնավար կայանի աշխատանքում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Արաքելյան Ա.Օ., Փանոսյան Ջ.Ր.** Разработка и исследование фотоэлектрических солнечных панелей и солнечных электростанций в Армении // Информационно-аналитический сборник: Материалы Международной выставки-ярмарки и конференции “Инновации-98”. - М., ВВЦ, 1998.-С. 110-115.
2. **Վարդանյան Գ.Պ., Փանոսյան Ժ.Ռ.** Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի էներգետիկայի և էլեկտրատեխնիկայի ինստիտուտում տեղակայված արևային կայանի նկարագրությունը. Մեթոդական ցուցումներ. –Եր., 2019. – 36 էջ:
3. **Սևոյան Զ.Ս., Փանոսյան Ժ.Ռ., Պետրոսյան Ռ.Պ., Սիմոնյան Հ.Ս.** էներգիայի պահուստավորման և սպառման ունիվերսալ համակարգ // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր (ՀՃԱԼ). -2016. -Հ.13, N 2. -էջ. 318-324:
4. **Liu X., Zhang T., Gao B., and Han Y.** Review of the Influence of Large-scale Grid-connected Photovoltaic Power Plants on Power Grid // International Journal of Grid and Distributed Computing. - 2016.- № 4.- P. 303-312.
5. Солнечная фотоэнергетика: современное состояние и тенденции развития / **В.А. Миличко и др.** // УФН.- 2016.- Т.186, N 8.-С. 801-852.
6. **Rajiv K., Sanderson G., Walsh K.** Global PV incentive policies and recommendations for utilities // Electrical and Computer Engineering (CCECE) 2011 24th Canadian Conference.-2011. -P. 001158-001163.
7. **Толстихина Л.В.** Параметры электрооборудования и режимы электроэнергетических систем в примерах и иллюстрациях: Учебное пособие для практических занятий. – Саяногорск: Сибирский федеральный университет, Саяно-Шушенский филиал, 2010. – 180 с.
8. Ulrike Jahn Monitoring of Photovoltaic Systems: Good Practices And Systematic Analysis / **A. Woyte, M. Richter, D. Moser, et al** // 28th European PV Solar.-2013.- P. 3686-3694.
9. **Salazar-Duque John E., Ortiz-Rivera Eduardo I., González-Llorente J.** Modified perturb and observe MPPT algorithm based on a narrow set of initial conditions // IEEE ANDESCON.-2016.-P. 1-4.
10. **Sevoyan J.S., Kirakosyan G.H., Kirakosyan L.G.** Modelinng and design of pid controller for dc motor by matlab software // Proceedings of Engineering Academy of Armenia (PEAA).-2016.-V.13, № 1.-P. 122-126.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.09.2019:

Дж.С. СЕВОЯН, Ж.Р. ПАНОСЯН, Г.П. ВАРДАНЯН

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ
АВТОНОМНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

Исследован метод управления мощностью автономной фотоэлектрической станции, расположенной на крыше 2-го корпуса Института энергетики и электротехники Национального политехнического университета Армении. На основе предложенного метода разработано универсальное аппаратно-программное средство, которое позволяет повысить значение максимальной мощности фотоэлектрической станции до 10%.

Ключевые слова: автономная фотоэлектрическая станция, управление режимами, максимальная мощность, аппаратно-программное средство.

J.S. SEVOYAN, Zh.R. PANOSYAN, G.P. VARDANYAN

**A METHOD FOR IMPROVING THE MAXIMUM POWER OF AN
AUTONOMOUS SOLAR PHOTOELECTRIC POWER PLANT**

A method for controlling the power of an autonomous photoelectric power plant located on the roof of the 2nd building of the Institute of Power and Electrical Engineering of National Polytechnic University of Armenia is investigated. Based on the proposed method, a universal hardware-software means has been developed which allows to increase the value of the maximum power of the photoelectric power plant by 10%.

Keywords: autonomous photovoltaic power plant, control of modes, maximum power, hardware and software means.

Ա.Ս. ՏՐԴԱՏՅԱՆ

ԼԱՐՄԱՍԲ ԴԵԿԱՎԱՐՎՈՂ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ԵԼՔԱՅԻՆ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ
ԻՆՔՆԱՀԱՐՄԱՐՄԱՆ ՄԵԹՈՂ

Ներկայացված է լարմամբ դեկավարվող գեներատորի (ԼԴԳ) ջերմաստիճանային փոփոխություններից առաջացած էլքային ազդանշանի հաճախության շեղման փոքրացման ինքնահարմարման մեթոդ: Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՄ) մուտք/ելք (Մ/Ե) հանգույցներում փոխանցվող տվյալի հոսսայի ընթերցման գործում մեծ է ԼԴԳ ենթահանգույցի դերը: Հոսսայի ընթերցումը հիմնականում պայմանավորված է ԼԴԳ-ի էլքային ազդանշանի հաճախության կայունությամբ: Աշխատանքի ընթացքում վերջինիս շեղումը հիմնականում պայմանավորված է լարմամբ դեկավարվող հոսանքի աղբյուրում (ԼՀՀԱ) բազմաբյուրեղ սիլիցիումային դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածությամբ, ուստի առաջարկվում է լրացուցիչ հոսանքի աջակցման շղթայի կիրառմամբ փոքրացնել վերոնշյալ շեղումը:

Առանցքային բառեր. լարմամբ դեկավարվող գեներատոր, ինտեգրալ սխեմա, մուտք/ելք, լարմամբ դեկավարվող հոսանքի աղբյուր:

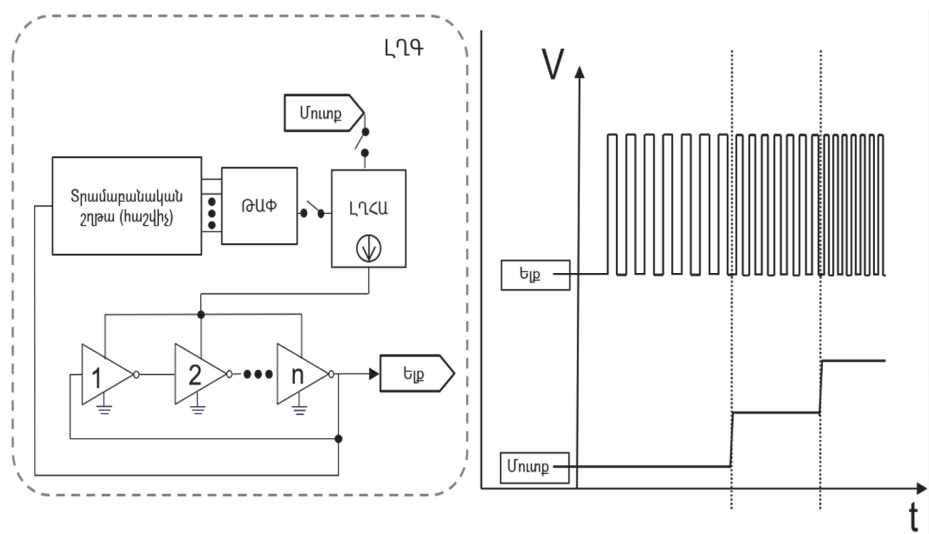
Ներածություն: Ժամանակակից մի շարք Մ/Ե տարատեսակներում լայն տարածում է ստացել տակտավորվող համեմատիչներով (ՏՀ) ընդունիչ հանգույցը: Վերջինս, բացի աշխատանքային բարձր հաճախության ապահովումից, հնարավորություն է տալիս կիրառել հետադարձ կապով համահարթեցման համակարգերը: Մ/Ե հանգույցում ՏՀ-ի կիրառման համար անհրաժեշտ է համակարգում ունենալ կայուն տակտային ազդանշան (ՏԱ): Գոյություն ունի ՏԱ-ի ստացման երկու եղանակ, երբ ՏԱ-ն փոխանցվում է հաղորդիչ հանգույցից, և ընդունիչ հանգույցում գեներացվում է ՏԱ-ն ԼԴԳ-ի միջոցով: Այն Մ/Ե տարատեսակները, որոնցում տվյալի փոխանցումը կատարվում է երկար հոսքուղիների միջով (20 սմ և ավելի), ՏԱ-ի հաղորդիչ փոխանցման տարբերակը կիրառելի չէ, քանի որ հոսքուղին հանդիսանում է ցածր հաճախականային գոտի, ուստի ՏԱ-ն հոսքուղով անցնելիս կաղավաղվի: Միաժամանակ, լրացուցիչ հոսքուղիների կիրառումն ավելացնում է Մ/Ե տարբերում մուտքերի և ելուստների քանակը, ինչը զգալիորեն մեծացնում է ԻՄ-ի ինքնարժեքը:

Մ/Ե հանգույցներում տվյալը փոխանցվում և ընթերցվում է հստակ հաճախությամբ, որը կախված է Մ/Ե տարատեսակից: Այսպիսով, որպեսզի փոխանցված տվյալը անկորուստ ընթերցվի, անհրաժեշտ է համակարգում օգտագործել

տակտային ազդանշանի փուլի վերականգման համակարգը (ՏԱՓՎՀ): Վերջինս նախատեսված է ՏԱ-ի և փոխանցված տվյալի համընկեցման համար:

ԼՂԳ ենթահանգույցը (նկ. 1) բաղկացած է տրամաբանական շղթայից, թվաանալոգային ձևափոխիչից (ԹԱՓ), ԼՂՀԱ-ից և շրջիչներից բաղկացած օղակաձև գեներատորից: Օղակաձև գեներատորի առավելագույն աշխատանքային հաճախությունը կախված է շրջիչների հապաղումից և դրանց քանակից (1):

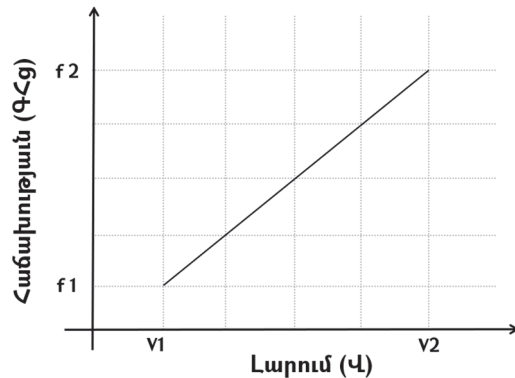
$$F = \frac{1}{2nT} : \quad (1)$$



Նկ. 1. ԼՂԳ ենթահանգույցը և աշխատանքի սկզբունքը

Ինչպես երևում է նկարից, ԼՂԳ ենթահանգույցում առկա է ՏԱ-ի ստացման երկու եղանակ: Առաջին եղանակով ԼՂՀԱ-ին կիրառվում է լարում, որի արդյունքում ելքում ստացված ՏԱ-ի հաճախությունը կախված է միայն այդ լարումից: Երկրորդ եղանակով հետադարձ կապի միջոցով ստուգվում է օղակաձև գեներատորի ելքային ազդանշանի հաճախությունը, այնուհետև դեկավարող կողմը փոքրանում կամ մեծանում է: Եթե ելք-ում ստացված հաճախությունը փոքր է անհրաժեշտ հաճախությունից, մեծանում է ԹԱՓ-ի մուտքային դեկավարող կողմը, ինչից հետո՝ նաև ԹԱՓ-ի ելքային լարումը, արդյունքում՝ մեծանում է օղակաձև գեներատորի ելքային հաճախությունը, իսկ ելքային հաճախության փոքր լինելու դեպքում սխեման կկատարի հակառակ տրամաբանությունը:

ԼՂԳ-ի հիմնական բնութագրող պարամետրն է K_{vco} -ն (նկ. 2)[1], որը հաճախության փոփոխության կախվածությունն է մուտքային հոսանքի կամ լարման փոփոխությունից:

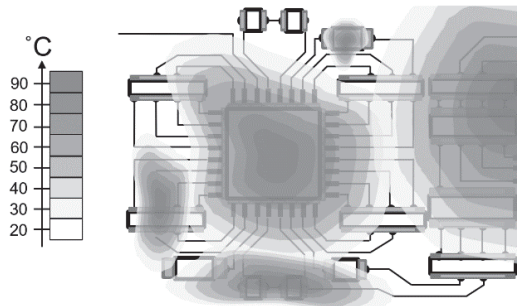


Նկ.2. Kvco կախվածությունը

Kvco գծային կախվածության կտրուկ աճը ցանկալի չէ, քանի որ սնուցման դողերում առաջացած չնչին աղմուկները կազդեն ԼՂԳ-ի ելքային հաճախության վրա, իսկ դանդաղ աճի դեպքում անհրաժեշտ է օգտագործել մեծ կարգայնություն ունեցող ԹԱՓ, որը կապահովի պահանջվող ելքային հաճախությունը, ինչը նույնպես ցանկալի չէ: Նշված երկու անցանկալի երևույթները խուսափելու համար անհրաժեշտ է, որ Kvco գծային կախվածության բացվածքը իդեալական դեպքում լինի 45°:

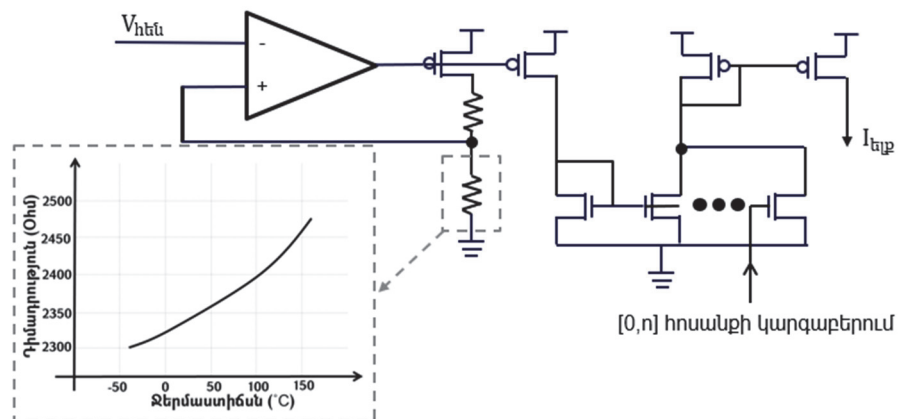
ԼՂԳ ենթահանգույցը զգայուն է ջերմաստիճանային փոփոխությունների նկատմամբ: Վերջինիս ելքային հաճախության փոփոխությունը, կախված ջերմաստիճանից, չպետք է շեղվի իդեալական հաճախության նկատմամբ 5%-ից ավելի: Վերոնշյալ խնդիրը չափազանց կարևոր է ԻՍ-երի Ս/Ե հանգույցներում, քանի որ փոխանցված տվյալի ընթերցման ժամանակ ՏԱ-ի հաճախության շեղումը կհանգեցնի վերջինիս կորստին:

ԼՂԳ-ի ելքային հաճախության շեղման պատճառը. Ժամանակակից ԻՍ-երի կիրառությունները բազմազան են: Դրանք ներառված են բջջային հեռախոսներում, համակարգիչներում, մեքենաներում, նաև խելացի քաղաքների փողոցներում և այլուր: Այդ համակարգերում աշխատանքային ջերմաստիճանը կարող է լինել -40°C մինչև 125°C, ինչը պայմանավորված է կիրառության վայրով: Մյուս կողմից՝ ԻՍ-երի շրջակա ենթահանգույցների աշխատանքի ընթացքում առաջացած սեփական ինքնատաքացումը ջերմահաղորդականության պատճառով կարող է շեղել ընդունիչ ենթահանգույցի ջերմաստիճանը (նկ. 3):



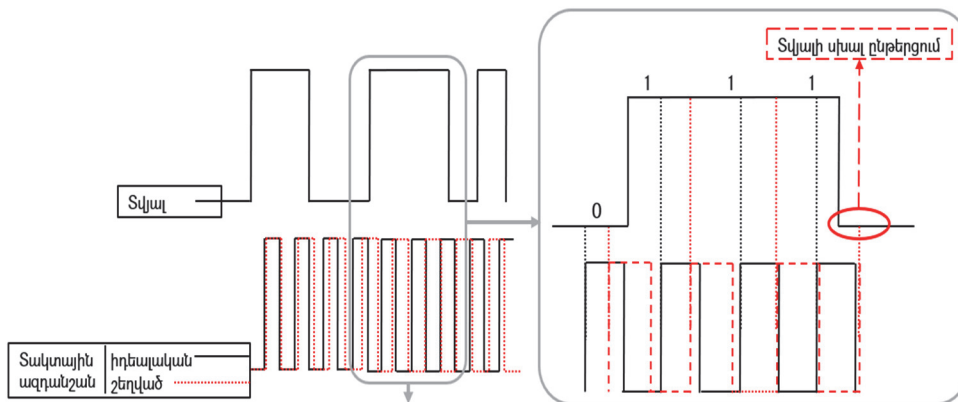
Նկ. 3. ԻՄ-երում ջերմահաղորդականությունը

Նշված ջերմաստիճանային փոփոխությունները մեծ ազդեցություն ունեն ԼՂԳ ենթահանգույցի ելքային ազդանշանի հաճախության վրա: Վերջինիս շեղումը պայմանավորված է ԼՂՀԱ-ում (նկ. 4) [2] բազմաբյուրեղ սիլիցիումի դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածությամբ, իսկ դիմադրության փոփոխությունը հանգեցնում է ելքային հոսանքի փոփոխության:



Նկ. 4. ԼՂՀԱ-ի կառուցվածքը

Այսպիսով, շեղվում է ԼՂԳ ենթահանգույցի ելքային հաճախությունը, և ընդունիչ հանգույցը ընթերցում է սխալ տվյալ: ՏԱ-ի շեղված հաճախության դեպքում ընդունիչ հանգույցը կընթերցի 0110 տվյալը, սակայն ճիշտ տվյալը 0111 է (նկ. 5):



Նկ. 5. Ելքային հաճախության շեղման առաջացրած խնդիրը

Վերոնշյալ խնդիրները զգալի ազդեցություն ունեն տվյալի հուսալի ընթերցման վրա: Ակնհայտ է դառնում, որ առկա ԼՂԳ ճարտարապետությունները ջերմաստիճանային լայն տիրույթում կիրառելի չեն: ԼՂԳ-ի ելքային հաճախությունը չպետք է շեղվի առավել, քան 5%, հակառակ դեպքում՝ ընթերցման ժամանակ կլինեն տվյալի կորուստներ:

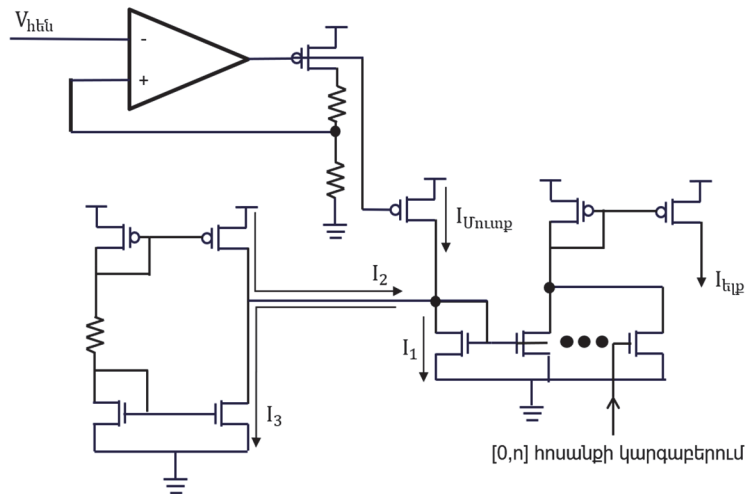
ԼՂԳ-ի ելքային հաճախության շեղման փոքրացման առաջարկվող մեթոդը. Ինչպես արդեն նշվեց, ԻՄ-երի Մ/Ե հանգույցներում սեփական ինքնատաքացման կամ այլ տարրերի ջերմահաղորդականության պատճառով շեղվում է ԼՂՀԱ-ում սիլիցիումային դիմադրության արժեքը, որը հանգեցնում է ելքային հոսանքի փոփոխության, արդյունքում փոխվում է նաև ԼՂԳ-ի ելքային հաճախությունը, ինչը տվյալի ընթերցման ժամանակ հանգեցնում է վերջինիս կորստին: ԼՂՀԱ-ում առաջացած հոսանքի փոփոխությունը առաջարկվում է կոմպենսացնել լրացուցիչ սիլիցիումային դիմադրության և հոսանքի հայելիների միջոցով: Առաջարկվող մեթոդով ԼՂՀԱ-ի հիմնական ճյուղի հոսանքը կորոշվի հետևյալ բանաձևով (2).

$$I_1 = I_2 - I_3 + I_{\text{Մուտք}} \quad (2)$$

Բանաձևից երևում է, որ չդիտարկելով ջերմաստիճանային փոփոխությունը I_2 և I_3 հոսանքների հավասարության դեպքում, I_1 -ով կհոսի մուտքային հոսանքը: Ջերմաստիճանի աճի դեպքում կմեծանա R_2 դիմադրությունը, արդյունքում $I_{\text{Մուտք}}$ -ի հոսանքի փոքրացմանը զուգընթաց կմեծանա I_2 հոսանքը, քանի որ վերջինս կախված է R_1 դիմադրությունից, որի արժեքը ջերմաստիճանի աճից նույնպես մեծանում է: Ջերմաստիճանի փոքրացման դեպքում դիմադրությունների արժեքները կնվազեն, ինչը կհանգեցնի $I_{\text{Մուտք}}$ և I_3 հոսանքների մեծացման: Այսպիսով, I_2 և I_3 հոսանքների ճիշտ կարգաբերման արդյունքում ջերմաստիճանային փոփոխությունների արդյունքում առաջացած ելքային հոսանքի շեղումը

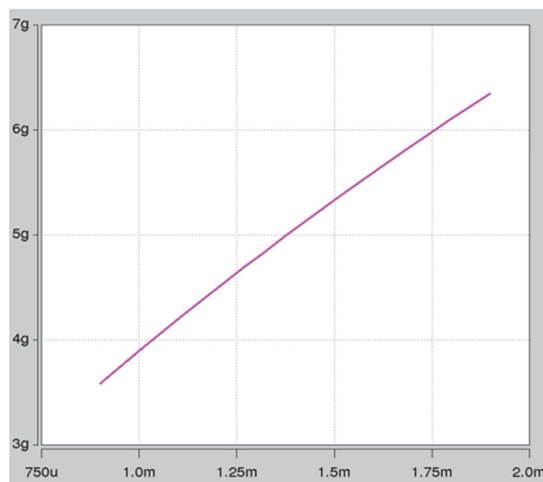
ինքնահարմարման միջոցով կնվազի, որի հետևանքով կփոքրանա նաև I_{LQ} -ի ելքային հաճախության շեղումը:

Նկ. 6-ում պատկերված մեթոդը նախագծվել է Custom Compiler, իսկ նմանակումը՝ HSPICE ծրագրային միջոցով [3]:



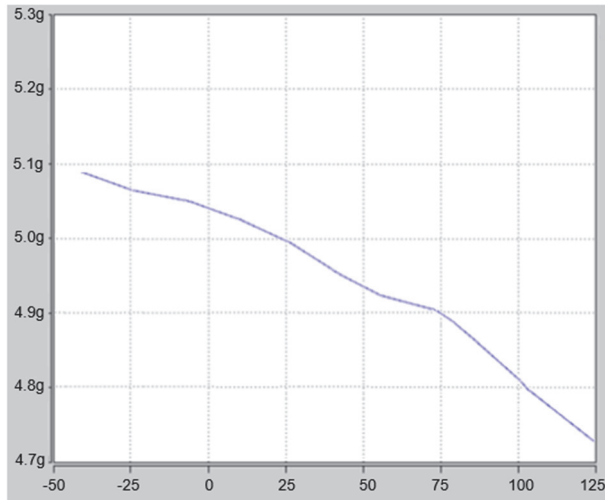
Նկ. 6. Առաջարկվող ճարտարապետությունը

Նկ. 7-ում ներկայացված է նախագծված I_{LQ} ենթահանգույցի K_{vco} կախվածությունը: K_{vco} -ից երևում է, որ I_{LQ} -ն կարող է ապահովել 4-ից 6 QZg հաճախություն ունեցող SU:



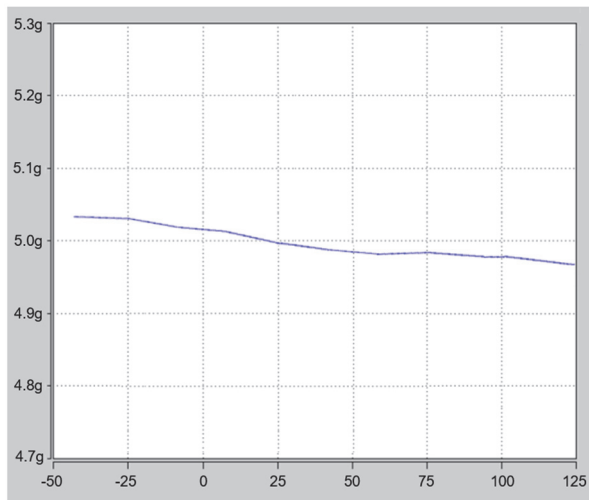
Նկ. 7. Նմանակման արդյունքում ստացված K_{vco} կախվածությունը

Նկ. 8-ում պատկերված է առանց ինքնահարմարման մեթոդի կիրառության
ԼՂԳ-ի էլքային հաճախության կախվածությունը ջերմաստիճանից:



Նկ. 8. ԼՂԳ-ի էլքային հաճախության կախվածությունը ջերմաստիճանից

Նկ. 9-ում պատկերված է առաջարկվող ինքնահարմարման մեթոդի կիրառությամբ ստացված ԼՂԳ-ի էլքային ազդանշանի հաճախության շեղումը 5 հիմնական ԳԼՋ դեպքերից վատագույնի համար՝ ջերմաստիճանից կախված: Ինչպես երևում է նկարից, էլքային ազդանշանի շեղումը փոքր է 2,5%-ից (աղ.):



Նկ. 9. Մեթոդի կիրառությամբ ստացված հաճախության կախվածությունը ջերմաստիճանից

Առաջարկվող մեթոդով ստացված արդյունքները

Պարամետր	Առանց մեթոդի կիրառության		Մեթոդի կիրառությամբ	
	նվազագույն	առավելագույն	նվազագույն	առավելագույն
Ելքային հաճախություն (ԳՀց)	4,720	5,110	4,982	5,023
Սպառվող հոսանք (մԱ)	-	3,12	-	3,32

Եզրակացություն: Լարմամբ դեկավարվող գեներատորի ելքային հաճախության ինքնահարմարման մեթոդի կիրառման դեպքում ելքային հաճախության շեղվածությունը փոքրանում է 5%-ով (աղ. 1):

Առաջարկվող մեթոդի կիրառման դեպքում սպառվող հոսանքը մեծանում է 3%-ով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Zhang H., Xue P., Hong Z.** A 4.6–5.6 GHz constant KVCO low phase noise LC-VCO and an optimized automatic frequency calibrator applied in PLL frequency synthesizer // 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. - 2017. -P. 8337-8342.
2. **Behzad Razavi,** Design Of Analog Cmos Integrated Circuits. – 2015. –268p.
3. Hspice Reference Manual, Synopsys Inc.- 2017. -846p.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: «Մինոփսի Արմենիա» ուսումնական դեպարտամենտ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.09.2019:

А.С. ТРДАТЯН

МЕТОД САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ ВЫХОДНОЙ ЧАСТОТЫ
ГЕНЕРАТОРА, УПРАВЛЯЕМОГО НАПРЯЖЕНИЕМ

Представлен метод самонастраивающейся выходной частоты генератора, управляемого напряжением (ГУН). В частности, выходная частота ГУН меняется в зависимости от температурных изменений. Роль узла ГУН велика в надежном считывании данных, передаваемых в узлах входа/выхода интегральных схем. Надежное считывание данных во многом определяется стабильностью частоты выходного сигнала ГУН. Последнее в основном связано с температурной зависимостью поликремниевого резистора, который находится в управляемом напряжении источнике тока. Рекомендуется уменьшить вышеуказанное отклонение за счет дополнительной цепи поддержки тока.

Ключевые слова: управляемый напряжением генератор, интегральная схема, вход/выход, управляемый напряжением источник тока.

A.S. TRDATYAN

**A METHOD OF A SELF-CONFIGURABLE OUTPUT FREQUENCY
OSCILLATOR CONTROLLED BY A VOLTAGE**

A method for self-configurable output frequency of voltage controlled oscillator (VCO) is presented. The output signal frequency variation of VCO mainly depends on the temperature changes. The role of the VCO sub-circuit is great in the reliable reading of data transmitted in the nodes of integrated circuits. Reliable reading is largely determined by the stability of the VCO output signal frequency. The latter is mainly due to the temperature dependency of the polysilicon resistance which is used in voltage-controlled current source (VCCS), so it is recommended to reduce the above mentioned deviation by adding an additional current support chain.

Keywords: voltage-controlled oscillator; integrated circuit; input/output; voltage-controlled current source.

Մ.Կ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ՍՏԱՆԴԱՐՏ ԲԶԻՋՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՕԳՏԻՄԱԼԱՅՈՒՄԸ
ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ

Առաջարկվում է եռաչափ փականով տրանզիստորներով (ԵՓՏ) նախագծված թվային սխեմաների գենետիկ ալգորիթմների օգտագործմամբ պարամետրական օպտիմալացման մեթոդ, որը կիրառելի է ինչպես համակցական, այնպես էլ հաջորդական սխեմաների դեպքում: Այն թույլ է տվել մոտ 10 անգամ արագացնել պարամետրական օպտիմալացումը: Նախագծվել է թվային ստանդարտ բջիջների գրադարան՝ կազմված 25 տեսակի տարրերից, որոնց պարամետրերի շեղումները մոտ 10%-ով ավելի քիչ են՝ առանց մեթոդի կիրառմամբ ստացված տվյալներից: Մեթոդը կարելի է կիրառել ԵՓՏ համակարգերում նախագծված թվային սխեմաների ժամանակային պարամետրերի օպտիմալացման գործընթացում:

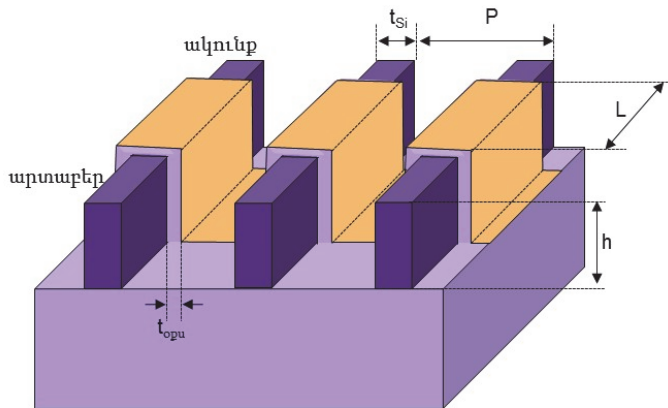
Առանցքային բառեր. գենետիկ ալգորիթմ, պարամետրական օպտիմալացում, նպատակային ֆունկցիա, էվոլյուցիոն ալգորիթմ, թվային սխեմաներ, եռաչափ փականների տեխնոլոգիա:

Ներածություն: Ներկայումս թվային ինտեգրալ սխեմաները (ԻՍ) պարունակում են ընդհուպ մինչև միլիարդավոր տրանզիստորներ և նախագծվում են ավտոմատ եղանակով: Այդ դեպքում օգտագործվում են թվային ստանդարտ բջիջների պատրաստի գրադարաններ [1], որոնց պարունակության մեջ մտնում են թվային տարրերի ժամանակային մոդելները [2]: Մինչ այդ մոդելները ստեղծելը՝ անհրաժեշտ է կատարել առանձին բջիջների սխեմատիկական նախագծում և օպտիմալացում: Օպտիմալացման համար ծախսվում է բավականին մեծ ժամանակ, որը ենթադրում է, որ այդ փուլի ավտոմատացումը կնվազեցնի ընդհանուր նախագծման տևողությունը: Շատ հաճախ նման տեսակի ավտոմատացման խնդիրները ներկայացվում և լուծվում են էվոլյուցիոն ալգորիթմներով (ԷԱ):

Հայտնի է [3], որ գենետիկ ալգորիթմները (ԳԱ) օգտագործվում են որոնողական և օպտիմալացման խնդիրների լուծման ընթացքում: Սխեմաների պարամետրական օպտիմալացման ընթացքում այդ խնդիրը բերվում է պարամետրերի այնպիսի արժեքների որոնմանը, որոնց դեպքում տվյալ սխեման կաշխատի տեխնիկական առաջադրանքում սահմանված չափանիշներին համապատասխան:

Քանի որ եռաչափ փականներով տրանզիստորների (ԵՓՏ) միջոցով նախագծված թվային սխեմաներում օպտիմալացման դեպքում հիմնականում վերցվում են եռաչափ փականների (ԵՓ) քանակները՝ որպես մուտքային պարամետր (նկ. 1),

որն այդ տեխնոլոգիայում ընդունում է դիսկրետ արժեքներ, ուստի դա հնարավորություն է տալիս ՀԱ-երի կիրառմամբ կատարել մեծ քանակի փականներ պարունակող համակցական և հաջորդական սխեմաների պարամետրական օպտիմալացում:



Նկ.1. *ԵՓՏ-ի տեսքը*

Օպտիմալացման որոշ խնդիրներ հանգում են նվազագույն տրամաբանական փականների քանակի որոնմանը [4], որի դեպքում հնարավոր է իրականացնել տրված ֆունկցիոնալությունը: Այդ տեսակի խնդիրը կարելի է լուծել Քվայն-Մակլասկու [5] եղանակով, սակայն հարյուր հազարավոր փականների դեպքում նպատակահարմար է օգտագործել ՀԱ-ները: Վերջիններիս կիրառմամբ կարելի ստացված սխեմայում կատարել տարրերի փոխարինում և իսկության աղյուսակների համեմատման միջոցով գտնել նվազագույն քանակի փականները [6,7]:

[8]-ում ներկայացված մեթոդի օգտագործմամբ, երբ որպես նպատակային ֆունկցիա վերցված է տարածման հապաղման և մակերեսի արտադրյալը, հնարավոր է կատարել համակցական սխեմաների պարամետրական օպտիմալացում: Մակայն այս դեպքում հաշվի առնված չեն աճող և նվազող ճակատների տևողությունները:

Մակերեսի և սպառվող հզորության փոքրացման համար կարելի է փոքրացնել տրանզիստորների քանակները [9]: [10,11]-ում համակցական սխեման ներկայացվում է որպես քրոմոսոմի հաջորդական կարգեր, որի վրա էլ կիրառվում է ԳԱ-ը: Այս մեթոդով երկուական համակարգի փոխարեն օգտագործվում է տասականը, որը հնարավորություն է տալիս կրճատել օպտիմալացման տևողությունը: [12]-ում ներկայացված է [10,11]-ի բարելավման միջոցով տրանզիստորների քանակի և սխեմայի մակերեսի նվազեցման մեթոդը:

Առաջարկվում է նպատակային ֆունկցիան ներկայացնել ֆունկցիայի ընթացիկ և տեխնիկական առաջադրանքով տրված արժեքների տարբերության տեսքով: Այդ նպատակով ֆունկցիայի ընթացիկ արժեքը ներկայացված է հետևյալ տեսքով՝

$$Y = F_{ti}(nfin_0, nfin_1, \dots, nfin_k), \quad (1)$$

որտեղ $ti = (tr, tf, t_{plh}, t_{phl}, t_{setup}, t_{hold})$, tr -ը և tf -ը ելքային ճակատի աճման և նվազման ժամանակներն են, t_{plh} -ը և t_{phl} -ն՝ ցածրից բարձր և բարձրից ցածր տարածման հապաղումները, t_{setup} -ը և t_{hold} -ը՝ տեղակայման և պահպանման ժամանակները, $nfin_k$ -ն՝ k -րդ տրանզիստորի ԵՓ-ների քանակը:

$nfin_0, nfin_1, \dots, nfin_k$ -ն նշանակելով $nfin_{l,k}$ -ով (1)՝ արտահայտությունը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$Y = F_{ti}(nfin_{l,k}): \quad (2)$$

Նպատակային ֆունկցիա: Ունենալով ֆունկցիայի (2) տեսքը, ինչպես նաև տեխնիկական առաջադրանքով տրված արժեքը՝

$$Y = F(ti), \quad (3)$$

որը ցույց է տալիս ժամանակային պարամետրի ցանկալի արժեքները, կարելի է (3)-ի և (2)-ի տարբերությամբ սահմանել նպատակային ֆունկցիան հետևյալ տեսքով՝

$$a_{min} \leq F(ti) - F_{ti}(nfin_{l,k}) \leq a_{max}, \quad (4)$$

որտեղ a_{min} -ը և a_{max} -ը թույլատրելի նվազագույն և առավելագույն շեղումներն են:

Նպատակային ֆունկցիան ներկայացնում է (4) արտահայտությունը: Պահանջվում է գտնել այն $nfin_{l,k}$ -ն, որի դեպքում $F_{ti}(nfin_{l,k})$ -ի շեղումը $F(ti)$ -ից կլինի թույլատրելիի սահմանում:

Սահմանափակումներն են՝

$$nfin_{min} \leq nfin_k \leq nfin_{max}, \quad (5)$$

$$nfin_{k+1} - nfin_k = nfin_s, \quad (6)$$

որտեղ $nfin_{min}$ -ը և $nfin_{max}$ -ը ԵՓ-ների նվազագույն և առավելագույն քանակներն են, իսկ $nfin_s$ -ը՝ թույլատրելի նվազագույն քայլը:

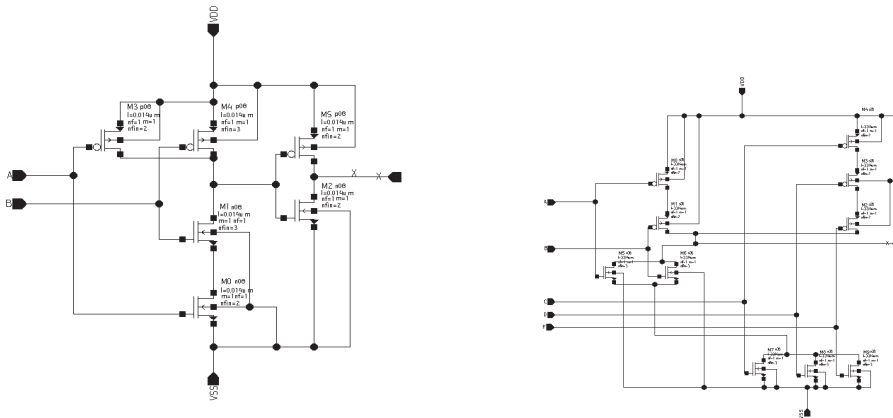
Ալգորիթմի նկարագրությունը: Պոպուլյացիան ներկայացնում է բոլոր տրանզիստորների ԵՓ-ների քանակների հնարավոր արժեքների կարգավորությունները՝ բազմությունը, որը կարելի է տալ $nfin_{l,k}$ տեսքով: Քրոմոսոմը այդ կարգավորություններից որևէ մեկն է, զենը՝ տվյալ տրանզիստորի ԵՓ-ների քանակը:

ԳԱ-ն իրականացվում է հետևյալ քայլերի հաջորդականությամբ.

1. Որոշվում է պոպուլյացիան:
2. Պատահական ընտրության եղանակով (ՊԸԵ) վերցվում են երկու քրոմոսոմներ:
3. Կատարվում է քրոմոսոմների խաչասերում: Առաջին քրոմոսոմի համար ՊԸԵ-ով վերցվում է դրա գենի ինդեքսը, որից աջ գտնվող գեները փոխարինվում են երկրորդ քրոմոսոմում եղածներով:
4. ՊԸԵ-ով վերցվում է որևէ գենի ինդեքս, և տվյալ գենը ենթարկվում է մուտացիայի. տրանզիստորի ԵՓ-ների քանակը փոխարինվում է մեկ այլ թույլատրելի արժեքով:
5. Հաշվարկվում է (2) ֆունկցիան:
6. Ստուգվում է (5) արտահայտությունը: Եթե վերջինս տեղի է ունենում, դադարեցվում է աշխատանքը, եթե ոչ, ապա վերցվում է մեկ այլ քրոմոսոմ, կատարվում է խաչասերում 4-րդ քայլում ստացված քրոմոսոմի հետ:
7. 6-րդ, 4-րդ և 5-րդ քայլերը կրկնվում են այնքան ժամանակ, մինչև (5)-ը տեղի ունենա, կամ պոպուլյացիայում առկա բոլոր քրոմոսոմները սպառվեն:
8. Եթե քրոմոսոմները սպառվում են, նշանակում է, տվյալ խնդիրը նշված սահմանափակումների պայմաններում անհնար է լուծել:

Ալգորիթմը իրականացվել է Python [13] ծրագրավորման լեզվի միջոցով:

Ստացված արդյունքներ: Նկ. 2-ում պատկերված են «ԵՎ» և «ԵՎ-կամ-ոչ» բջիջների սխեմաները, որոնց վրա կիրառվել է առաջարկված ալգորիթմը:



Նկ. 2. «ԵՎ», «ԵՎ-կամ-ոչ» բջիջների սխեմաները

Աղ. 1-ում բերված են «Բացառող կամ բջիջ» աճող և նվազող ճակատների տևողությունները տարբեր քրոմոսոմների դեպքում, որտեղից երևում է, որ ԷԱ-ի կիրառումը ԵՓՏ-ներով նախագծված սխեմաներում ունի մոտ 10 անգամ ավելի

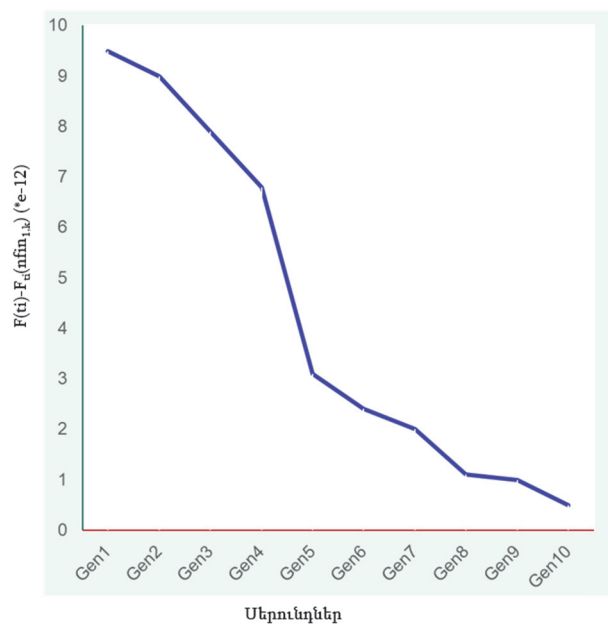
բարձր արդյունավետություն՝ ԿՄՕԿ-ովի համեմատ [14] և մոտ 10 %-ով քիչ տարբերություն ԵՓՏ համակարգերում՝ առանց այդ մեթոդի նախագծման համեմատ:

Աղյուսակ 1

Աճման և նվազման ճակատների տևողությունները

Սերունդ	tr	tf	Առանց մեթոդի tr	Առանց մեթոդի tf
1	3.238e-11	1.931e-11	-	-
2	2.158e-11	1.682e-11	-	-
...	...	...	-	-
10	2.171e-11	1.995e-11	2.215e-11	2.017e-11

Նկ. 3-ում կորի տեսքով պատկերված է (4) արտահայտությունում ներկայացված ֆունկցիայի արժեքը յուրաքանչյուր իտերացիայի ժամանակ: Հորիզոնական և ուղղաձիգ առանցքները ցույց են տալիս սերունդների քանակները և $F(t_i) - F_i(nfin1, k)$ արտահայտության արժեքները:



Նկ. 3. Պոպուլյացիայի էվոլյուցիան

Ալգորիթմի միջոցով կատարվել է 25 տեսակի տրամաբանական բջիջների պարամետրական օպտիմալացումը (աղ. 2):

Օպտիմալացված թվային բջիջները

Բջջի անվանումը	Նկարագրությունը
INV_*	Շրջիչ
AN2_*	Երկմուտքանի «և»
AN3_*	Եռամուտք «և»
ND2_*	Երկմուտքանի «և-ոչ»
MUX2_*	2-1 մուլտիպլեքսոր
...	...
ADDF_*	Ամբողջական գումարիչ
FDP_*	Տրիգեր
FDP4_*	Բազմաբիթանի տրիգեր
DFF_*	Ճակատով տակտավորվող տրիգեր

Եզրակացություն: ԷԱ-ների դասին պատկանող ԳԱ-ի միջոցով մշակվել է մեթոդ, որը թույլ է տալիս կատարել թվային ստանդարտ բջիջների պարամետրական օպտիմալացում: Այն, ի տարբերություն գոյություն ունեցողների, հնարավորություն է ընձեռել՝ դիտարկելու ինչպես համակցական, այնպես էլ հաջորդական սխեմաներ: Ալգորիթմը իրականացվել է Python ծրագրավորման լեզվի միջոցով, որում եղած գրադարանները հնարավորություն են տվել՝ դիտարկելու մեծ ծավալի պոպուլյացիաներ:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ գիտության պետական կոմիտեի տրամադրած ֆինանսավորմամբ՝ 18T-2B029 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Melikyan V., Martirosyan M., Melikyan A., Piliposyan G.** 14nm Educational Design Kit: Capabilities, Deployment and Future // Small Systems Simulation Symposium. - Niš, Serbia, 12th-14th February, 2018. - P. 37-41.
2. **Bhuvana B.P., Manohar B.R., Kanchana Bhaaskaran V.S.** Standard Cell Characterization for Reversible Logic // International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE). - Ghaziabad, India, 2016. - P. 534-538.
3. **Chong K.H., Koh S.P., Tiong S.K. and Yeap K.H.** Design and Development of Automated Digital Circuit Structure on Evolutionary Algorithm Method // IJECCT. – 2011.
4. **Sharma P., Sasamal T.** Minimization of combinational digital circuit using genetic algorithm // IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICICR). - Madurai, India, 10-12 Dec. 2015.

5. **Brown S. and Vranesic Z.** Fundamentals of Digital Logic with Verilog Design. - McGraw-Hill Education, 2013. - 864 p.
6. **Karakatič S., Podgorelec V., Hericko M.** Optimization of Combinational Logic Circuits with Genetic Programming // Elektronika ir Elektrotechnika.- 2013. - P. 86-89.
7. **Koza J.R., Poli R.** Genetic Programming // Search Methodologies. – 2005.- P. 127–164.
8. **Slowik A., Bialko M.** Evolutionary design of combinational digital circuits: State of the art, main problems, and future trends // 1st International Conference on Information Technology.- Gdansk, Poland, 2008.
9. **Pradondet N., Nuchitphong O.** Logic Function Minimization Base on Transistor Count using Genetic Algorithm // Proc. Of the third ICEP. - Songka, Thailand, 2003.
10. **Slowik A., Bialko M.** Design and Multi-Objective Optimization of Combinational Digital Circuits Using Evolutionary Algorithm with Multi-Layer Chromosomes // Proc. of ICAISC, LNAI.- 2008. – P. 479-488.
11. **Ahmed T. Soliman and Hazen M.,** Combinational Circuit Design Using Evolutionary Algorithm // Proc. of Electrical and Computer Engineering. – 2003. – P. 251-254.
12. Evolutionary Multiobjective Design of Combinational Logic Circuits / **A.C. Coello, L. Nacional, I. Avanzada, et al** // Proc. of the Second NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware. – 2000. - P. 161–170.
13. **Beazley D., Brian K.** Python Cookbook. - O'Reilly Media, 2013. - 706 p.
14. **Anjomshoa M., Mahani A., Sadeghifard, Salahedin.** A new automated design and optimization method of CMOS logic circuits based on Modified Imperialistic Competitive Algorithm // Applied Soft Computing. - 2014. – P. 423 - 432.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 08.10.2019:

М.К. МАРТИРОСЯН

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТНЫХ ЯЧЕЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Предлагается метод параметрической оптимизации цифровых схем, разработанных по технологии трехмерных транзисторов, с использованием генетического алгоритма, применяемого в случае комбинационных и последовательных схем. Алгоритм позволяет улучшить параметрическую оптимизацию примерно в 10 раз. Цифровая стандартная библиотека ячеек, которая состоит из 25 типов ячеек, была разработана с отклонением параметров примерно на 10% меньше по сравнению с данными, полученными без использования метода. Метод может быть использован при оптимизации временных параметров в системе трехмерных транзисторов.

Ключевые слова: генетический алгоритм, параметрическая оптимизация, целевая функция, эволюционный алгоритм, цифровые схемы, технология транзисторов с трехмерным затвором.

M.K. MARTIROSYAN

**PARAMETRIC OPTIMIZATION OF DIGITAL STANDARD CELLS BY
APPLYING A GENETIC ALGORITHM**

A method of parametric optimization of digital circuits designed by the FinFET technology by using a genetic algorithm applied in case of combinational and sequential circuits is proposed. The algorithm allows to improve the parametric optimization by approximately 10 times. The digital standard cell library, consisting of 25 types of cells has been designed with deviation of parameters by approximately 10% less as compared with the data received without using the method. The method can be used at optimizing the timing parameters in the FinFET system.

Keywords: genetic algorithm, parametric optimization, objective function, evolutionary algorithm, digital circuits, FinFET technology.

С.О. СИМОНЯН

**К РЕШЕНИЮ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ
ПАЛИНДРОМНЫХ ЗАДАЧ ТИПА $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$**

Предложены два метода решения однопараметрических матричных палиндромных задач: аналитический метод, представляющий определенный теоретический интерес, и численно-аналитический метод, представляющий научно-практический интерес. В последнем случае основным математическим аппаратом служат дифференциальные преобразования.

Ключевые слова: однопараметрические матричные палиндромные задачи, аналитический метод решения, дифференциальные преобразования, численно-аналитический метод решения.

Введение

В работах [1, 2] предложены методы решения однопараметрических матричных уравнений типа Сильвестра:

$$A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) = C(t), \quad (1)$$

в [3] - однопараметрических матричных уравнений типа Ляпунова:

$$A^T(X) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = C(t), \quad (2)$$

в [4] - однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра:

$$A(t) \cdot X(t) + X^T(t) \cdot B(t) = C(t), \quad (3)$$

в [5] - однопараметрических сопряженных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра:

$$A(t) \cdot X(t) + X^*(t) \cdot B(t) = C(t), \quad (4)$$

в [6] - однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра:

$$A(t) \cdot X(t) + B(t) \cdot X^T(t) = C(t). \quad (5)$$

В работах [7, 8] представлены обобщения этих методов для решения наиболее сложных задач:

$$A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t), \quad (6)$$

$$A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^*(t) \cdot B(t) = C(t). \quad (7)$$

Замечание 1. Во всех этих работах в качестве основного математического аппарата были использованы дифференциальные преобразования Г.Е. Пухова [9].

Несмотря на совершенно различные друг от друга по виду задач (1) – (7) и по содержанию методов их решения, они всё-таки имеют одну общую черту - обладают неоднородными правыми частями ($C(t) \neq 0$).

При однородных правых частях ($C(t) = 0$) эти задачи вырождаются и приобретают определенные черты сингулярности, обуславливающие принципиальные затруднения вычислительного характера при реализации численных процедур по определению их нетривиальных решений ($X(t) \neq 0$).

Если для решения аналогичных (1)-(7) числовых неоднородных задач ($C \neq 0$) с постоянными (нефункциональными) матрицами A, B, C, D, F, X в настоящее время существует множество различных методов, то для решения однородных задач ($C=0, X \neq 0$) количество таких методов немного, в частности, можно отметить работы [10, 11].

Необходимость разработки таких методов обычно появляется при решении так называемых палиндромных задач [12], обладающих большой степенью сложности при определении нетривиальных решений $X \neq 0$. Что касается методов решения однопараметрических однородных задач ($C(t) = 0$) с матрицами $A(t), B(t), D(t), F(t), X(t)$, то, по всей вероятности, и в настоящее время они не существуют (во всяком случае, в данный момент они нам не известны).

Исходя из вышеизложенного, настоящая работа посвящена разработке методов для решения матричной палиндромной задачи

$$\underset{m \times m}{A(t)} \cdot \underset{m \times m}{X(t)} + \underset{m \times m}{X(t)} \cdot \underset{m \times m}{A(t)} = \underset{m \times m}{0}, \quad (8)$$

порождаемой задачей (1) при $B(t) \equiv A(t), C(t) \equiv 0$.

Математический аппарат

1. Аналитическое решение. Используя аппарат кронекеровых произведений матриц [12], матричное уравнение (8) представим в виде

$$[A(t) \otimes E^T(t) + E \otimes A^T(t)]_{m^2 \times m^2} \cdot \hat{X}(t)_{m^2 \times 1} = \hat{0}_{m^2 \times 1} \quad (9)$$

или

$$G(t) \cdot \hat{X}(t) = \hat{0}, \quad (10)$$

где $G(t)$ – гиперматрица порядка m^2 , $\hat{X}(t)$ – гипервектор:

$$\hat{X}(t)_{m^2 \times 1} = (X_{11}(t), X_{12}(t), \dots, X_{1m}(t), | X_{21}(t), X_{22}(t), \dots, X_{2m}(t) | \dots | X_{m1}(t), X_{m2}(t), \dots, X_{mm}(t))^\top \quad (11)$$

с размерами $m^2 \times 1$, порожденный от матрицы

$$\hat{X}(t)_{m \times m} = \begin{bmatrix} x_{11}(t) & x_{12}(t) & \dots & x_{1m}(t) \\ x_{21}(t) & x_{22}(t) & \dots & x_{2m}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1}(t) & x_{m2}(t) & \dots & x_{mm}(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

порядка m ; $E \equiv E^T$ – единичная матрица того же порядка, а символ $\otimes$ – знак кронекерова произведения матриц [12].

Из гиперматрично-гипервекторного однородного матричного уравнения (10) имеем

$$\text{а) } \hat{X}(t) = 0, \text{ если } \det G(t) = 0, \quad (13a)$$

$$\text{б) } \hat{X}(t) = 0, \text{ если } \det G(t) \neq 0, \quad (13б)$$

$$\text{в) } \hat{X}(t) \neq 0, \text{ если } \det G(t) = 0. \quad (13 в)$$

Естественно, условия (13а) и (13б) не представляют практического интереса. Следовательно, решение задачи (10) обусловлено выполнением условия (13в) и необходимостью последовательной реализации следующих операций:

- определение кронекеровой гиперматрицы $G(t)$;
- определение детерминанта этой матрицы;
- составление уравнения $\det G(t)=0$;
- решение этого уравнения и определение его корней – сингулярных точек $t_1, t_2, \dots, t_p$, где p – некоторое число;
- определение числовых гиперматриц $G(t_i), i = \overline{1, p}$;
- определение числовых гипервекторов $\hat{X}(t_i), i = \overline{1, p}$ с учетом условий

$$\text{rang } G(t_i) = m^2 - r_i, \forall i = \overline{1, p}, \quad (14)$$

где $0 < r_i \leq m^2$, при которых можно произвольно выбрать r_i компонентов гипервекторов $\hat{X}(t_i)$, $\forall i = \overline{1, p}$, а остальные $m^2 - r_i$ компонентов определить с точностью до этих выбранных значений;

- составление числовых матриц $X(t_i)$, $i = \overline{1, p}$ - решений исходной задачи в изолированных сингулярных точках t_i , $i = \overline{1, p}$;
- осуществление матричного аппроксимационного синтеза решения $X(t)$ задачи (10) с использованием числовых матриц $X(t_i)$, $i = \overline{1, p}$ на основе методов теории аппроксимации, например, методов Лагранжа, Ньютона и т.д. [13].

Замечание 2. Естественно, в сингулярных точках t_i , $i = \overline{1, p}$ аппроксимированное решение $X(t)$ будет удовлетворять матричному уравнению (8) точно, а в остальных текущих точках – с некоторыми погрешностями.

Замечание 3. В случае отсутствия сингулярных точек с учетом (13 б) задача будет обладать тривиальным решением $X(t) \equiv 0$. Иногда таким решением задача может обладать и в случае выполнения условия (13а).

Осуществление представленного алгоритма на практике для решения конкретных прикладных задач и модельных примеров, очевидно, весьма затруднительно с вычислительной точки зрения, ибо связано с определением аналитического представления - однопараметрической кронекеровой гиперматрицы $G(t)$, с решением однопараметрического детерминантного уравнения $\det G(t) = 0$ и нахождением сингулярных точек t_i , $i = \overline{1, p}$, определением рангов числовых гиперматриц $G(t_i)$, $i = \overline{1, p}$ и выбором произвольных значений $m^2 - r_i$, $i = \overline{1, p}$ компонентов гипервекторов $\hat{X}(t_i)$, $i = \overline{1, p}$, определением их остальных компонентов и составлением числовых матриц $X(t_i)$, $i = \overline{1, p}$, а также с аппроксимационным синтезом непрерывной матрицы $X(t)$ с использованием числовых матриц $X(t_i)$, $i = \overline{1, p}$.

Замечание 4. Для определения детерминанта кронекеровой гиперматрицы $G(t)$ можно использовать результаты работы [14].

Замечание 5. Для решения уравнения $\det G(t) = 0$ можно использовать результаты работы [15].

В связи с отмеченными обстоятельствами теперь перейдем к численно-аналитическому решению задачи, основанному на операционном методе - дифференциальных преобразований [1] и значительно облегчающему нахождение решения эквивалентной матричному уравнению (8) задачи (10) с учетом условия (13 в).

2. Численно-аналитическое решение

Предположим, что имеют место следующие дифференциальные преобразования [1]:

$$A(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K A(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad A(t) = \chi_1(t, t_v, H, A(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (15)$$

$$X(K) = \frac{H^K}{K!} \cdot \frac{d^K X(t)}{dt^K} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad X(t) = \chi_2(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (16)$$

где $A(K)$ и $X(K)$ - матричные дискреты матриц $A(t)$ и $X(t)$ соответственно; $K = \overline{0, \infty}$ - целочисленный аргумент; H - масштабный коэффициент; t_v - центр аппроксимации; символ $\overline{\cdot}$ - знак перехода из области оригиналов в область дифференциальных изображений и наоборот; $\chi_1(\cdot)$, $\chi_2(\cdot)$ - некоторые аппроксимирующие функции, восстанавливающие оригиналы $A(t)$ и $X(t)$ соответственно.

Теперь с учетом (15)-(16) в соответствии с алгеброй дифференциальных преобразований матричное уравнение (8) из области оригиналов переведем в область дифференциальных изображений. Получим

$$\sum_{l=0}^K A(l) \cdot X(K-l) + \sum_{l=0}^K X(l) \cdot A(K-l) = 0, \quad K = \overline{0, \infty}, \quad (17)$$

откуда:

при $K=0$:

$$A(0) \cdot X(0) + X(0) \cdot A(0) = 0, \quad (18)$$

или

$$[A(0) \otimes E^T + E \otimes A^T(0)] \cdot \hat{X}(0) = \hat{0}, \quad (19)$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(0) = \hat{0}. \quad (20)$$

Из однородного гиперматрично-гипервекторного уравнения (20) имеем:

$$\text{а) } \hat{X}(0) = \hat{0}, \text{ если } \det G(0) = 0, \quad (21 \text{ а})$$

$$\text{б) } \hat{X}(0) \neq \hat{0}, \text{ если } \det G(0) = 0, \quad (21 \text{ б})$$

$$\text{в) } \hat{X}(0) = \hat{0}, \text{ если } \det G(0) \neq 0. \quad (21 \text{ в})$$

Очевидно, случаи (21 а) и (21 в) не представляют практического интереса из-за тривиальности решения $\hat{X}(0) = \hat{0}$, ввиду чего в дальнейшем будем оперировать условием (21 б) или, точнее, условием

$$\text{rang } G(0) = m^2 - r \quad (22)$$

(где $0 < r \leq m^2$), при котором можно произвольно выбрать r компонентов гипервектора $\hat{X}(0)$, а остальные $m^2 - r$ компонентов определить с точностью до этих выбранных значений. Ясно, что при этом в качестве центров аппроксимации t_ν необходимо выбрать значения из множества сингулярных точек t_i , $i = \overline{1, p}$, при которых выполнится условие $\det G(0) = 0$, обуславливающее получение нетривиальных решений – матричных дискретов $\hat{X}(0) \neq 0$, $\hat{X}(1)$, $\hat{X}(2)$ и т.д.

Итак, с учетом (17) имеем:

при $K=1$:

$$A(0) \cdot X(1) + A(1) \cdot X(0) + X(0) \cdot A(1) + X(1) \cdot A(0) = 0, \quad (23)$$

или

$$A(0) \cdot X(1) + X(1) \cdot A(0) = -A(1) \cdot X(0) - X(0) \cdot A(1),$$

или

$$[A(0) \otimes E^T + E \otimes A^T(0)] \cdot \hat{X}(1) = -[A(1) \otimes E^T + E \otimes A^T(1)] \cdot \hat{X}(0),$$

или

$$G(0) \cdot \hat{X}(1) = -G(1) \cdot \hat{X}(0), \quad (24)$$

откуда

$$\hat{X}(1) = -G^+(0) \cdot G(1) \cdot \hat{X}(0), \quad (25)$$

где “+” - знак псевдообратной матрицы;

при $K=2$:

$$G(0) \cdot \hat{X}(2) + G(1) \cdot \hat{X}(1) + G(2) \cdot \hat{X}(0) = \hat{0}, \quad (26)$$

откуда

$$\begin{aligned} \hat{X}(2) &= -G^+(0) \cdot [G(1) \cdot \hat{X}(1) + G(2) \cdot \hat{X}(0)] = \\ &= [[G^+(0) \cdot G(1)]^2 - G^+(0) \cdot G(2)] \cdot \hat{X}(0); \end{aligned} \quad (27)$$

...

при $K=K$:

$$\begin{aligned} G(0) \cdot \hat{X}(K) + G(1) \cdot \hat{X}(K-1) + G(2) \cdot \hat{X}(K-2) + \dots \\ \dots + G(K-2) \cdot \hat{X}(2) + G(K-1) \cdot \hat{X}(1) + G(K) \cdot \hat{X}(0) = \hat{0}, \end{aligned} \quad (28)$$

откуда

$$\begin{aligned} \hat{X}(K) &= -G^+(0) \cdot [G(1) \cdot \hat{X}(K-1) + G(2) \cdot \hat{X}(K-2) + \dots \\ &\dots + G(K-2) \cdot \hat{X}(2) + G(K-1) \cdot \hat{X}(1) + G(K) \cdot \hat{X}(0)] = \\ &= -G^+(0) \cdot \sum_{l=1}^K G(l) \cdot \hat{X}(K-l). \end{aligned} \quad (29)$$

Таким образом, имея гипервекторные дискретизации (21 б), (25), (27),...(29), можно построить матричные дискретизации

$$X(K) = \begin{bmatrix} X_{11}(K) & X_{12}(K) & \dots & X_{1m}(K) \\ X_{21}(K) & X_{22}(K) & \dots & X_{2m}(K) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1}(K) & X_{m2}(K) & \dots & X_{mm}(K) \end{bmatrix}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad (30)$$

и в соответствии с правой частью (16) восстановить решение $X(t)$ задачи (8). В частности, при дифференциально-тейлоровских преобразованиях [1]:

$$X(t) = \sum_{l=0}^K X(l) \cdot (t - t_v)^\ell. \quad (31)$$

Закключение. Таким образом, для решения однопараметрической матричной палиндромной задачи (8) предложены аналитический и численно-аналитический методы. Первый из них, скорее всего, представляет теоретический, а второй – научно-практический интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симонян С.О.** Методы решения однопараметрических матричных непрерывных уравнений типа Сильвестра $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - 2015. – Т. LXVIII, №3.- С. 370-381.
2. **Симонян С.О.** Декомпозиционные методы решения линейных однопараметрических матричных непрерывных уравнений типа Сильвестра $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН. - 2015. - Т. LXVIII, №4.- С. 497-510.
3. **Симонян С.О., Адамян Г.В., Симонян А.С., Паповян Р.А.** Методы решения линейных однопараметрических матричных непрерывных уравнений типа $A^T(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = C(t)$ // Вестник ИАА. – 2015. - Т.12, № 2. - С. 216-224.
4. **Симонян С.О.** К решению однопараметрических матричных уравнений типа Сильвестра $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН.- 2016. - Т. LXIX, №1. - С. 49-60.
5. **Симонян С.О., Айвазян А.А.** К решению однопараметрических матричных уравнений типа $A(t) \cdot X(t) + X^*(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Ж. “Радиоэлектроника, информатика, управление” / Запорожский национальный технический университет.- Запорожье, 2016.- С. 44-53.
6. **Симонян С.О., Адамян Г.В., Айвазян А.А.** К решению однопараметрических матричных уравнений типа $A(t) \cdot X(t) + B(t) \cdot X^T(t) = C(t)$ // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН.- 2016. - Т. LXIX, №3. - С. 304-314.
7. **Симонян С.О.** Методы решения обобщенных однопараметрических транспонированных аналогов матричных уравнений типа Сильвестра $A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. - 2016. - №1. - С. 12-24.
8. **Симонян С.О., Айвазян А.А.** Методы решения обобщенных однопараметрических матричных уравнений (сопряженных аналогов) типа Сильвестра $A(t) \cdot X(t) \cdot D(t) + F(t) \cdot X^T(t) \cdot B(t) = C(t)$ // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. – 2017. - N 1. – С. 9-20.
9. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений. - Киев: Наукова думка, 1990. – 419 с.
10. **Fernando De Teran and Frolian M.Dopico.** The solution of the equation $X \cdot A + A \cdot X^T = 0$ and its application to the theory of orbits // Proceedings of HUA Linear Algebra Appl. - 2011. - 434. – P. 44-67.

11. **Fernando De Teran and Frolian M.Dopico.** The equation $X \cdot A + A \cdot X^* = 0$ and the dimension of congruence orbits // Electric on Journal of Linear Algebra ISSN 1081-3810. A publication of the International on Linear Algebra Society. - April, 2011. - Vol. 22. - P. 448-465.
12. **Икрамов Х.Д.** Численное решение матричных уравнений. – М.: Наука, 1984. – 192 с.
13. **Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.** Численные методы – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 632 с.
14. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Вычисление определителей неавтономных матриц на основе ДТ-формализма // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 1999. - Т.52, N 1. - С. 88-94.
15. **Симонян С.О.** Прикладные аспекты применения ДТ-преобразований при построении траекторий равновесных состояний динамических систем // Электронное моделирование. – 1993. – Т.15, N2. – С. 58-65.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 01.09.2019.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

$A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$ ՏԻՊԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՊԱԼԻՆԴՐՈՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Առաջարկվել են միապարամետրական մատրիցային պալինդրոմային խնդիրների լուծման երկու եղանակներ՝ անալիտիկ եղանակը, որը ներկայացնում է որոշակի տեսական հետաքրքրություն, և թվա-անալիտիկ եղանակը, որը ներկայացնում է գիտա-գործնական հետաքրքրություն: Վերջինիս դեպքում որպես հիմնական մաթեմատիկական ապարատ են ծառայում դիֆերենցիալ ձևափոխությունները:

Առանցքային բառեր. միապարամետրական մատրիցային պալինդրոմային խնդիրներ, լուծման անալիտիկ եղանակ, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, լուծման թվա-անալիտիկ եղանակ:

S.H. SIMONYAN

SOLUTION OF ONE- PARAMTRIC MATRIX PALINDROM PROBLEMS OF THE TYPE $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$

Two methods are proposed for solving one-parameter matrix palindromic problems - the analytical method, which is of certain theoretical interest, and the numerical-analytical method which is of scientific and practical interest. In the latter case, differential transformations serve as the main mathematical apparatus.

Keywords: single parametric matrix palindromic problems, analytical solution method, differential transformations, numerical-analytical solution method.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍԱՄՎԵԼՅԱՆ Մ.Է.

ՀԱՄԱԳՈՐԾԱԿՑԱՅԻՆ ԽՈՐՔԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱԳՈՐԾԱԿԱԼ ԱՄՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՑՈՒՄ. ԴԺՎԱՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ, ՍԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԲԱՑ ԽՆԴԻՐՆԵՐ 301

ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Ա.Ն., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Կ.Վ., ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ Ն.Գ.,

ՍԱՐՈՑԱՆ Վ.Վ.

ՊՈԼԻՄԵՐ-ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՍԱՀՔԻ ՄԻԿՐՈԱՌԱՆՑՔԱԿԱԼՆԵՐՈՒՄ ԲԱՑԱԿԻ՝
ԹՈՂԱՐԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՎՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ 314

ԲԱՂՂԱՍԱՐՅԱՆ Ա.Թ.

ՕՊԵՐԱՄԱԼՈՒԹՅԱՆ ԶԱՓԱՆԻՇԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ՝
ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ԲԱՑ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՀԱՄԱԼԻՐ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ
ԴԵՊՔՈՒՄ 325

ՂԱՐՍԼՅԱՆ Ս.Ս.

ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ԲԱՑ ԵՎ ՍՏՈՐԳԵՏՆՅԱ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՇՐՋԱԿԱ
ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՎՐԱ ԲԱՑԱՍԱԿԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ
ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ..... 335

ԲԱԼԱՍՄԱՆՅԱՆ Լ.Ս.

ՀԱՆՔԱԹԵՔՏՈՆՎ ԼԵՆԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱԾԻ ԳՐԱՎԻՏԱՅԻՆ ԹՈՂԱՆՑՄԱՆ
ՏԵՄԱԿԱՆ ԵՎ ՍՈՂԵԼԱՅԻՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ..... 344

ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ԷԼԲԱԿՅԱՆ Ս.Հ.

ԱԾԽԻ ՆԵՐՅԻԿԼԱՅԻՆ ԳԱԶԻՖԻԿԱՅՄԱՍԲ ՇՈԳԵԳԱԶՏՈՒՐԲԻՆԱՅԻՆ
ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՄԽԵՄԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵՎ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ..... 356

ԲԱՂՂԱՍԱՐՅԱՆ Մ.Ք., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ս.Վ.

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ 367

ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Լ.Ա.

ԶՐՈՎ ՀՈՎԱՅՎՈՂ ՄԵԿ ԵՎ ԵՐԿՈՒ ԳԱԼԱՐԱԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՎ
ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ԶԵՐՄԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ 375

ԵԶԱԿՅԱՆ Ն.Դ.

ԿԵՆՍԱԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՍՊԵԿՏՐԱԶՆՆՈՒՄԸ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԵՎ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ՝ ՄՇԱԿՎԱԾ ԱԽՏՈՐՈՇԻՉ ՍԱՐՔԻ
ՄԻՋՈՑՈՎ 382

ՄԵՎՈՅԱՆ Զ.Ս., ՓԱՆՈՍՅԱՆ Ժ.Ռ., ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ Գ.Պ.

ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԻՆՔՆԱՎԱՐ ԿԱՅԱՆԻ ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆ
ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՅՄԱՆ ՄԵԹՈԴ 392

ՏՐԴԱՏՅԱՆ Ա.Ս.

ԼԱՐՄԱՍԲ ՂԵԿԱՎԱՐՎՈՂ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ԵԼՔԱՅԻՆ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ
ԻՆՔՆԱՀԱՐՄԱՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴ 401

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Մ.Կ.

ԹՎԱՅԻՆ ՍՏԱՆԴԱՐՏ ԲՋԻՋՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ
ԳԵՆԵՏԻԿ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ..... 410

ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ս.Հ.

$A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$ ՏԻՊԻ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ
ՊԱԼԻՆԴՐՈՄԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ..... 418

СОДЕРЖАНИЕ

САМВЕЛЯН М.Э.

КООПЕРАТИВНОЕ ГЛУБОКОЕ МНОГОАГЕНТНОЕ ОБУЧЕНИЕ С
ПОДКРЕПЛЕНИЕМ: СЛОЖНОСТИ, ПРИНЦИПЫ И ОТКРЫТЫЕ ЗАДАЧИ 301

КАРАПЕТЯН А.Н., ОГАНЕСЯН К.В., МЕЛИКСЕТАН Н.Г., САРОЯН В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА НА СТАРТОВЫЙ ПРОЦЕСС В ПОЛИМЕР-
ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ 314

БАГДАСАРЯН А.Т.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ 325

КАРСЛЯН С.С.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТКРЫТЫМ
И ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБАМИ 335

БАЛАСАНИЯН Л.С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ГРАВИТАЦИОННОГО ПЕРЕПУСКА ГОРНОЙ МАССЫ РУДОСКАТОМ 344

МАРУХЯН В.З., ЭЛБАКЯН С.Г.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ
ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ 356

БАГДАСАРЯН М.К., САРГСЯН С.В.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ 367

ВАРДАНИЯН Л.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ КОНДЕНСАТОРОВ С
ОХЛАЖДАЕМЫМИ ВОДОЙ ОДНИМ И ДВУМЯ ЗМЕЕВИКАМИ 375

ЕЗАКЯН Н.Д.

СПЕКТРОСКОПИЯ БИОИМПЕДАНСА ПРИ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО
УСТРОЙСТВА 382

СЕВОЯН Дж.С., ПАНОСЯН Ж.Р., ВАРДАНИЯН Г.П.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ АВТОНОМНОЙ
СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ 392

ТРДАТЯН А.С.

МЕТОД САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ ВЫХОДНОЙ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА,
УПРАВЛЯЕМОЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 401

МАРТИРОСЯН М.К.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТНЫХ ЯЧЕЕК С
ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА 410

СИМОНЯН С.О.

К РЕШЕНИЮ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ ПАЛИНДРОМНЫХ
ЗАДАЧ ТИПА $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$ 418

CONTENTS

SAMVELYAN M.E. COOPERATIVE DEEP MULTI-AGENT REINFORCEMENT LEARNING: DIFFICULTIES, PRINCIPLES AND OPEN PROBLEMS.....	301
KARAPETYAN A.N., HOVHANNISYAN K.V., MELIKSETYAN N.G., SAROYAN W.V. INVESTIGATING THE GAP INFLUENCE ON THE STARTING PROCESS IN THE POLYMER-POLYMER PLAIN MICROBEARINGS	314
BAGHDASARYAN A.T. SUBSTANTIATING THE SELECTION OF THE OPTIMALITY CRITERION AT THE COMPLEX DEVELOPMENT OF DEPOSITS BY THE OPEN METHOD.....	325
GHARSLYAN S.S. COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT AT MINING THE DEPOSIT BY OPEN AND UNDERGROUND METHODS.....	335
BALASANYAN L.S. THE RESULTG OF THEORETICAL AND MODEL INVESTIGATIONS OF THE GRAVITATIONAL BYPASS OF THE MOUNTAIN MASS BY ORE CHUTE.....	344
MARUKHYAN V.Z., ELBAKYAN S.H. DEVELOPING ALGORITHMS FOR A BLOCK DIAGRAM AND ESTIMATING THE EFFICIENCY OF A STEAM AND GAS TURBINE INSTALLATION WITH AN INTRACYCLE GASIFICATION OF COAL	356
BAGHDASARYAN M.K., SARGSYAN S.V. STATISTICAL ANALYSIS OF THE CHANGE IN THE OPERATING CHARACTERISTICS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF THE ORE-GRINDING PROCESS	367
VARDANYAN L.A. DETERMINING THE HEAT TRANSFER COEFFICIENT OF CAPACITORS WITH ONE AND TWO WATER COOLED COILS.....	375
EZAKYAN N.D. BIOIMPEDANCE SPECTROSCOPY AT THERMAL AND ELECTRICAL IMPACTS USING THE DEVELOPED DIAGNOSTIC DEVICE	382
SEVOYAN J.S., PANOSYAN Zh.R., VARDANYAN G.P. A METHOD FOR IMPROVING THE MAXIMUM POWER OF AN AUTONOMOUS SOLAR PHOTOELECTRIC POWER PLANT	392
TRDATYAN A.S. A METHOD OF A SELF-CONFIGURABLE OUTPUT FREQUENCY OSCILLATOR CONTROLLED BY A VOLTAGE	401
MARTIROSYAN M.K. PARAMETRIC OPTIMIZATION OF DIGITAL STANDARD CELLS BY APPLYING A GENETIC ALGORITHM.....	410
SIMONYAN S.H. SOLUTION OF ONE- PARMATRIC MATRIX PALINDROM PROBLEMS OF THE TYPE $A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot A(t) = 0$	418

«Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլի-տեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. տեխնիկական գիտությունների սերիա» հանդեսում տպագրվում են տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները տեխնիկական գիտությունների հետևյալ բաժիններից՝ մեխանիկա, մեքենաշինություն, մետալուրգիա, նյութագիտություն, ընդերքօգտագործման տեխնոլոգիաներ, շինարարական կառուցվածքներ, հիդրավլիկա և հիդրոտեխնիկական կառույցներ, էներգետիկա, էլեկտրատեխնիկա, գիտական սարքաշինություն և չափողական տեխնիկա, հաշվողական տեխնիկա և ինֆորմատիկա, ռադիոէլեկտրոնիկա, միկրոէլեկտրոնիկա, լազերային տեխնիկա, ավտոմատացում և կառավարման համակարգեր:

Հանդեսում լուսաբանվում են ակադեմիական և ճյուղային գիտահետազոտական ինստիտուտների, բուհերի, գիտաարտադրական միավորումների և այլ կազմակերպությունների գիտական գործունեության առավել կարևոր արդյունքները:

Հանդեսի հիմնական նպատակն է խթանել գիտատեխնիկական առաջընթացը և նպաստել արտադրության մեջ այդ արդյունքների ներդրմանը:

Հանդեսը նախատեսված է ճարտարագետների, հետազոտողների և գիտնականների լայն շրջանների համար: Լույս է տեսնում երեք ամիսը մեկ անգամ:

В журнале "Известия Национальной академии наук РА и Национального политехнического университета Армении. Серия технических наук" публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований, охватывающих основные разделы технических наук: механика, машиностроение, металлургия, материаловедение, технологии недропользования, строительные конструкции, гидравлика и гидротехнические сооружения, энергетика, электротехника, научное приборостроение и измерительная техника, вычислительная техника и информатика, радиоэлектроника, микроэлектроника, лазерная техника, автоматизация и системы управления.

Журнал является периодическим изданием, освещающим наиболее важные результаты научной деятельности академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и др.

Основная цель журнала - пропагандировать фундаментальные и прикладные исследования в области технических наук, способствовать внедрению их результатов и ускорению научно-технического прогресса в производстве.

Журнал рассчитан на широкий круг ученых, исследователей и инженеров. Выходит один раз в три месяца.

The journal "Proceedings of the Republic of Armenia National Academy of Sciences and National Polytechnic University of Armenia. Series of Technical Sciences" publishes the results of theoretical and experimental investigations concerning the main branches of technical sciences: mechanics, mechanical engineering, metallurgy, material science, mining engineering, natura utilization, building constructions, hydraulics and hydrotechnical constructions, power and electrical engineering, scientific instrument making and measuring devices, computer science and informatics, radioelectronics, microelectronics, laser eequipment, automation and control systems.

The journal is a periodical edition that presents the most important results of scientific activities at academic and branch scientific-research institutions, universities, research - industrial companies, etc.

The main task of the journal is the propaganda of fundamental and applied investigations in the field of technical sciences, and the promotion of their introduction and the acceleration of scientific and technological progress in industry.

The journal is intended for a wide range of scientists, researchers and engineers. It is published once in three months.

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով, համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Footer-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է Sylfaen տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերեն կամ անգլերեն լինելու դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիշը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԺԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում՝ գլխատառերով հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում: Հոդվածի վերնագիրը տրվում է հեղինակի ազգանվանը հաջորդող տողի կենտրոնում՝ bold, ամբողջությամբ գլխատառերով՝ 10 տառաչափով՝ հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անոտացիա) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի 500 նիշից ոչ ավելի՝ ներառյալ միջակայքերը, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան վերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծի մեջ:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ. » և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականության ցանկ» արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, գլխատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և բջջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл статьи в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт Sylfaen (размер шрифта - 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏԴ, УДК, UDC); строкой ниже - инициалы (И.О.) и фамилия - заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен состоять не более чем из 500 знаков, включая пробелы. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание **“Ключевые слова”** - Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова *“Рис.”*, *“Таблица”*, а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Словосочетание **“СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ”** располагается в центре строки заглавными буквами, Bold. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

RULES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the Sylfaen, font size 10, and the texts in by Times New Roman, in font size 10 .

2. On the top left corner, the Universal Decimal Classifier is placed in the language of the manuscript (ՀՏԴ, УДК, UDC). The initials and the surname(s) in font size 10, bold for texts in Armenian, English and Russian should be in the centre of the next line. The title should be placed in the centre of the line following the author's surname in font size 10, bold, all in capital letters for texts in Armenian, English and Russian.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 500 characters including the spaces, the number of keywords or word combinations - 4-8.

4. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

5. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They should be printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

6. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

7. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author's initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the centre of the line in capital letters. In the list of references, each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals, the references should be introduced in the following style: the author's surname, initials, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the authors names, full title, publication place, publisher, year, total number of pages.

8. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

9. The manuscript should be signed by the author(s) with indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of employment place, educational institution; the position occupied scientific degree, telephone numbers (office, home, mobile).