

Հ.Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՎԱՐԺԱՍԱՐՔԱՅԻՆ ՈՒՍՈՒՑԱՆՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋ

Դիտարկվում են հրետանային ստորաբաժանումների մարտական պատրաստության արդյունավետության վրա համակարգչային վարժասարքային ուսուցման ազդեցության հարցերը և կոնստրուկցիայի ապարատային մասի նախագծման որոշ հարցեր:

Առանցքային բաներ. մարտական պատրաստություն, փողային հրետանի, համակարգչային վարժասարք, մաթեմատիկական մոդել, ավտոմատացված նախագծման համակարգեր:

H.G. KHACHATRYAN

THE ISSUE OF COMPUTER SIMULATOR TRAINING

The influence of computer simulator training on the effectiveness of combat training of artillery units, and some issues on designing the hardware are considered.

Keywords: combat training, barrel artillery, computer simulator, mathematical model, CAD/CAM/CAE.

ՀՏԴ 622.73, 681.51

Ս.Շ. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Հ.Մ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ (Կապան)

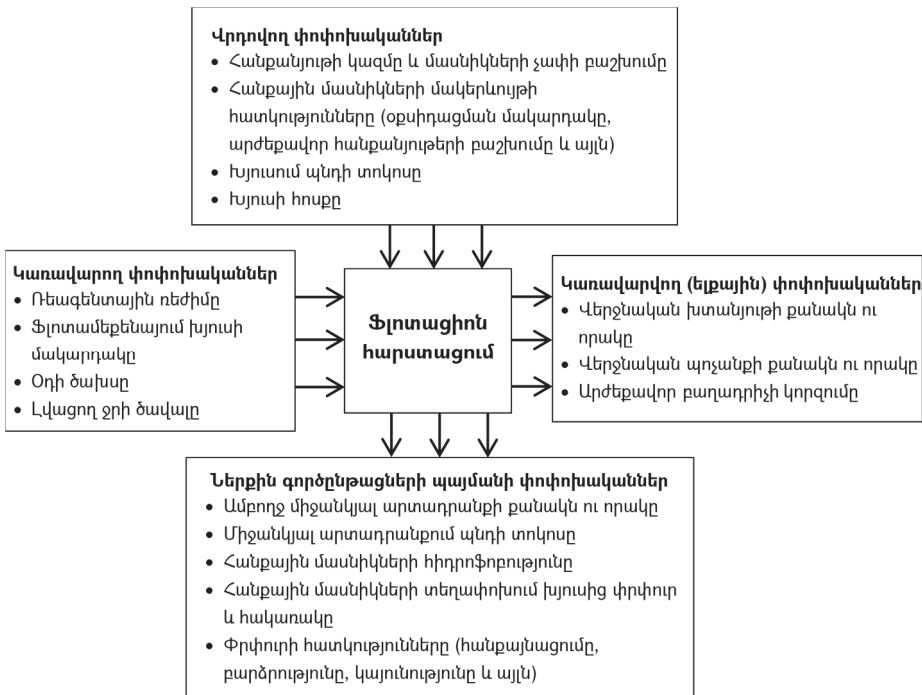
Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մոդելավորման վերաբերյալ գրականության վերլուծության արդյունքում ցույց է տրված, որ այդ մոդելների կառուցման ժամանակ, պատահական գործոնների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտության հետ կապված, դժվարությունների հաղթահարման արդյունավետ ուղիներից է ֆլոտացման գործընթացի էմպիրիկ մոդելի համակցումը արտաքին միջավայրի նմանակային մոդելի հետ:

Առանցքային բաներ. հանքանյութ, ֆլոտացում, ֆենոմենոլոգիական մոդել, կինետիկ մոդել, գենետիկական ալգորիթմ, նեյրոնային ցանց:

Ներածություն: Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգը բարդ է: Այն բնութագրվում է միմյանց հետ փոխկապված տարրերի մեծ թվով, որոնց գործունեությունը ինքնակարգավորվում է հետադարձ կապերով, միմյանց հետ փոխգործող բազմաթիվ բարդ միկրոգործընթացներով և տարաբնույթ պատահական գործոններով [1]:

Ֆլոտացման հիմքում ընկած սկզբունքները հայտնի են դեռևս անցյալ դարի երեսունական թվականներից, իսկ ֆլոտացման գործընթացը նկարագրող մոդելների մշակման ուղղությամբ փորձերը սկսվել են նախորդ դարի կեսերին: Ըստ բազմաթիվ հետազոտողների [1, 2], շատ դժվար է ստեղծել քանակական կանխատեսող մոդել, որը կարող է լիարժեքորեն օգտագործվել հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման նպատակով: Վերջին ութսուն տարում միկրո և մակրո մոտեցումների կիրառմամբ մշակվել են ֆլոտացման գործընթացը նկարագրող բազմաթիվ մաթեմատիկական մոդելներ [3]: 1990-ական թվականներից սկսած, դասական մոդելներին զուգահեռ, սկսվել են ֆլոտացման քունիությունային մոդելների մշակումը, կիրառումը և զարգացումը [4]:

Ֆլոտացման վրա տարբեր չափով ազդում են մոտ 100 փոփոխականներ, որոնցից առավել կարևորները ներկայացված են նկ. 1-ում [5]:



Նկ. 1. Ֆլոտացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի փոփոխականները

Ֆլոտացման դասական մոդելները բաժանվում են 2 խմբի՝ *ֆենոմենոլոգիական կամ տեսական (անալիտիկ)* և *էմպիրիկ (փորձնական տվյալներով կառուցված) կամ վիճակագրական*:

Ֆլոտացման ֆենոմենոլոգիական մոդելներ: Ֆլոտացման ֆենոմենոլոգիական մոդելը պարզագույն, իդեալականացված մոդել է, որը նկարագրում է

Ֆլոտացումը մեկ ֆլոտախցի շրջանակում՝ հիմնվելով ֆիզիկաքիմիական օրինաչափությունների վրա, և հիմնականում օգտագործվում է տեսական ուսումնասիրությունների նպատակով: Ֆենոմենոլոգիական մոդելները կարելի է դասակարգել ըստ հետևյալ տեսակների՝ կինետիկ մոդելներ, մասնիկների հաշվեկշռի մոդելներ և հավանականային մոդելներ:

Ֆլոտացման գործընթացների **կինետիկ մոդելավորումը** հիմնված է այն ենթադրության վրա, որ, եթե մասնիկների թիվը և օդի պղպջակների խտությունը մնում են հաստատուն, ապա մասնիկների հետ պղպջակների բախման արագությունը առաջին կարգի է:

Կինետիկ մոդելների ընդհանուր սկզբունքը հանգում է ֆլոտացման արագության k հաստատունի որոշմանը, որը կախված է օդի ծախսից, հանքային մասնիկների և օդի պղպջակների չափերից, խյուսի խտությունից և մակարդակից, ռեագենտի խտությունից, ֆլոտախցի դիզայնից և այլն [6]: Ուստի, գործնականում շատ դժվար է ճշգրիտ որոշել k հաստատունի արժեքը:

Կինետիկ մոդելները կարող են լինել *ընդհատ* և *անընդհատ*:

Ընդհատ մոդելները ներկայացվում են հետևյալ ընդհանուր հավասարմամբ.

$$\frac{R}{R_{\max}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot (1 - e^{-k_i t}),$$

որտեղ R -ը արժեքավոր բաղադրիչի կուտակային կորզումն է t ժամանակում, R_{\max} -ը՝ բաղադրիչի հնարավոր առավելագույն կորզումը, n -ը՝ ֆլոտացվող դասերի թիվը, φ_i -ն՝ ֆլոտացվող i -րդ ֆրակցիայի զանգվածային հարաբերակցությունը, k_i -ն՝ ֆլոտացվող i -րդ դասում մասնիկների առաջին կարգի հաստատունը, t -ն՝ ֆլոտացման ժամանակը:

Ֆլոտացման *անընդհատ* մոդելները ներկայացվում են հետևյալ ընդհանուր հավասարմամբ.

$$\frac{R}{R_{\infty}} = \int_0^{\infty} (1 - e^{-kt}) F(k) dk,$$

որտեղ R -ը արժեքավոր բաղադրիչի կորզումն է t ժամանակում, R_{∞} -ը՝ բաղադրիչի առավելագույն կորզումը անսահման ժամանակում, k -ն՝ կինետիկ արագության հաստատունը, որը ներառում է բոլոր միկրոսկոպիկ ենթագործընթացները, $F(k)$ -ն՝ արագության հաստատունի բաշխման ֆունկցիան տարբեր ֆլոտացման արագությամբ հանքատեսակների համար: $1 - e^{-kt}$ առնչությունը

ներկայացնում է միներալի կորզման առաջին կարգի գործընթացը, որը, որպես ժամանակի ֆունկցիա, ինվարիանտ է k արագության հաստատունի նկատմամբ:

Ընդհանուր առմամբ, անընդհատ ֆլոտացման գործընթացների համար միներալի կորզումը կարող է ներկայացվել է հետևյալ հավասարմամբ [7] .

$$\frac{R}{R_\infty} = \int_0^\infty \int_0^\infty (1 - e^{-kt}) F(k) E(t) dk dt ,$$

որտեղ $E(t)$ -ն ժամանակի բաշխման ֆունկցիան է՝ կախված հիդրոդինամիկ ռեժիմից, ֆլոտախցի դիզայնից, ֆլոտացման սխեմայի կարգաբերումից:

Մասնիկների հաշվեկշռի մոդելները հատուկ տեսակի ընդհատ կինետիկ մոդելներ են: Մասնիկների հաշվեկշռի մոտեցման էությունն այն է, որ հանքային մասնիկները ֆլոտախցում հայեցակարգային առումով բաժանվում են խմբերի՝ ըստ *մասնիկների չափի* և *հանքային կազմի* [1]: Յուրաքանչյուր խմբի համար հանքային մասնիկների խտությունը որոշվում է խցում մասնիկի վիճակով՝ խյուտում ազատ, օդի պղպջակներին կցված, փրփուրի մեջ ազատ կամ օդի պղպջակներին հարակցված:

Մասնիկների հաշվեկշռի մոդելները ընդհանուր առմամբ մաթեմատիկորեն կարող են ներկայացվել հետևյալ դիֆերենցիալ հավասարումով [8].

$$\frac{dV\psi_j}{dt} = \psi_{jIN} Q_{IN} - \psi_{jOUT} Q_{OUT} + \sum_{i=1}^n k_{ji} \psi_i V ,$$

որտեղ ψ_j -ն հանքային մասնիկների խտությունն է չորս հնարավոր վիճակներից յուրաքանչյուրում, V -ն՝ ֆլոտախցի ծավալը, Q_{IN} -ը՝ սկզբնական նյութի (ջրի կամ օդի) ծավալային ծախսը խյուսի կամ փրփուրի փուլում, Q_{OUT} -ն՝ արտադրանքի (ջրի կամ օդի) ծավալային ծախսը խյուսի կամ փրփուրի փուլում, ψ_{jIN} -ը՝ հանքային մասնիկների խտությունը չորս վիճակներից մեկում, որոնք, շնորհիվ որոշ մեխանիզմների, անցնում են օբյեկտի վիճակի կամ արդեն օբյեկտի վիճակում են, ψ_{jOUT} -ն՝ հանքային մասնիկների խտությունն է չորս վիճակներից մեկում, որոնք օբյեկտի վիճակում չեն, կամ շնորհիվ որոշ մեխանիզմների՝ թողել են օբյեկտի վիճակը, k_{ji} -ն՝ փոխանցման գործակիցը վիճակների միջև՝ ըստ որևէ մեխանիզմի (այսինքն մասնիկների և օդի պղպջակների հարակցումը կամ անջատումը, մասնիկների կորզումը կամ դրենաժը փրփուրից և այլն), i -ն և j -ն՝ համապատասխանաբար հանքային մասնիկների կազմը և չափը:

Հավանականային մոդելները հիմնված են տարաբնույթ ենթագործընթացների առաջացման հնարավորության վրա, ինչպիսիք են օդի պղպջակների և մասնիկների բախումը, հարակցումը և տարանջատումը:

Ֆլոտացման գործընթացի առաջին հավանականային մոդելներից մեկն ունի հետևյալ տեսքը.

$$P_x = P_c \cdot P_\alpha \cdot F \cdot [x] \cdot V, \quad (1)$$

որտեղ P_x -ը հանքային մասնիկների խտանյութ հաջող տեղափոխվելու, P_c -ն մասնիկների և օդի պղպջակների բախման հավանականությունն են, P_α -ն՝ օդի պղպջակներին մասնիկների հարակցման հավանականությունը, F -ը՝ փրփուրի կայունության ցուցանիշը, $[x]$ -ը՝ մասնիկների միջին չափը, V -ն՝ ֆլոտացման խցի ծավալը:

Այս մոդելը գործնականում կիրառելի չէ՝ (1) առնչությունում առկա տարաբնույթ հավանականությունների և անկախ գործոնների ազդեցության չափման արդյունավետ մեթոդների բացակայության պատճառով:

Ֆլոտացման գործընթացի մեկ այլ հավանականային մոդել ունի հետևյալ տեսքը.

$$W = W_0(1 - P)^n, \quad (2)$$

որտեղ W -ն արժեքավոր բաղադրիչի քաշն է պոչանքներում, W_0 -ն՝ բաղադրիչի քաշը հումքում, P -ն՝ բաղադրիչի՝ խտանյութ փոխանցման հավանականությունը, n -ը՝ գործընթացի արդյունավետությունը նկարագրող գործոնը:

Դիֆերենցելով (2) հավասարումն ըստ P -ի և պարզեցնելով՝ ստացվում է առաջին կարգի ընդհանուր կինետիկ մոդելը.

$$\frac{dW}{dt} = -k(t) \cdot W,$$

որտեղ k -ն ֆլոտացման արագության հաստատունն է:

Դիտարկված հավանականային մոդելները շատ պարզ են և օգտագործվում են միայն մեկ ֆլոտախցում ընթացող գործընթացների ուսումնասիրության համար: Ուստի դրանք չեն կարող օգտագործվել ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացների հետազոտման համար:

Էմպիրիկ մոդելներ: Գործնականում հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի օպտիմալ կառավարման նպատակով լայնորեն կիրառվում են *էմպիրիկ (վիճակագրական) մոդելները*, որոնց կառուցման դեպքում օգտագործում են հետևյալ մոտեցումները [8].

1. Ֆլոտացման տեսական դրույթների վրա հիմնված մոտեցում (Theory-Driven),

2. տեսության բացակայության կամ ոչ լիարժեքության պայմաններում փորձնական տվյալներից հետազոտվող գործընթացի վերաբերյալ ինֆորմացիայի կորզման վրա հիմնված մոտեցում (Data-Driven):

Նշված մոտեցումներին համապատասխան՝ տարբերում են հետևյալ մոդելները.

- «սպիտակ արկղ»՝ հիմնված առաջին մոտեցման վրա, որի կառուցումն իրականացվում է ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդներով,

- «սև արկղ»՝ հիմնված երկրորդ մոտեցման վրա, որի կառուցումն իրականացվում է ռեգրեսիոն վերլուծության, նեյրոցանցային, գենետիկ ալգորիթմներով և արգումենտների խմբային հաշվառման մեթոդներով (ԱԽՀՄ) [9],

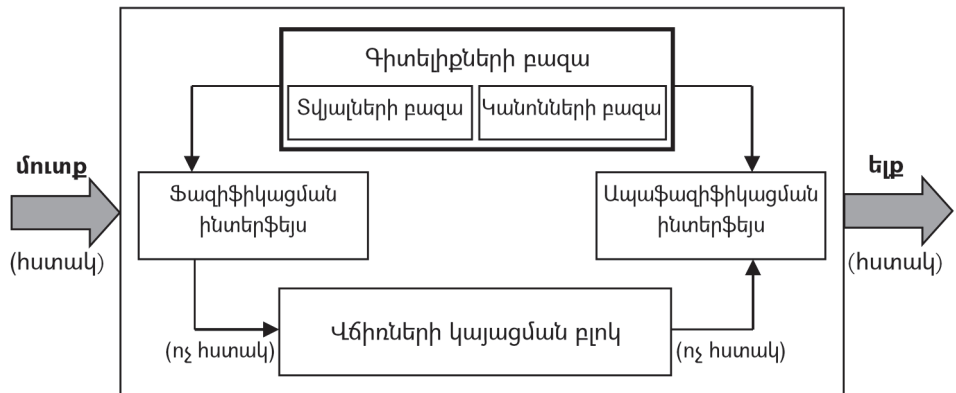
- «գորշ արկղ», որի ներքին կառուցվածքը մասնակիորեն է հայտնի, իսկ հետագա ընդլայնումը և համալրումը կարող է իրականացվել նեյրոցանցային և գենետիկ ալգորիթմների միջոցով:

Ֆլոտացման գործընթացի մոդելն առավելագույնս արդյունավետ դարձնելու նպատակով էմպիրիկ մոդելները հաճախ օգտագործվում են ֆենոմենոլոգիական մոդելների հետ համատեղ: Էմպիրիկ մոդելները կիրառվում են ինչպես առանձին ֆլոտացների, այնպես էլ ամբողջ արտադրամասի նկարագրության համար: Սակայն ֆլոտացման էմպիրիկ մոդելները կարող են կիրառվել միայն կոնկրետ հանքաքարի և ֆլոտացման որոշակի տեխնոլոգիայի դեպքում:

Ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորումը «փափուկ» հաշվողական մեթոդներով: «Փափուկ հաշվումներ» եզրույթը ներմուծվել է ոչ հստակ բազմությունների և տրամաբանության տեսության հիմնադիր Լոթֆի Ջադեի կողմից (ԱՄՆ, 1994թ): «Փափուկ» հաշվողական մեթոդների դասը արհեստական բանականության (ԱԲ) ոլորտի մեթոդների հավաքածու է, որը ներառում է ոչ հստակ տրամաբանությունը, նեյրոնային ցանցերը, հավանականային դատողությունները և էվոլյուցիոն ալգորիթմները:

Առաջին անգամ «*ոչ հստակ տրամաբանություն*» եզրույթը 1965թ. Օգտագործել է Լոթֆի Ջադեն: Այն հիմնվում է ոչ հստակ բազմությունների հասկացության վրա և ներմուծվել է մոտավոր դատողությունների ձևայնացման նպատակով, որոնք չեն կարող նկարագրվել հստակ տրամաբանությամբ:

Գործընթացների ոչ հստակ մոդելավորումն իրականացվում է ոչ հստակ տրամաբանական եզրահանգումների սկզբունքներին համապատասխան: Ոչ հստակ տրամաբանական եզրահանգման համակարգն ունի նկ. 2-ում ներկայացված կառուցվածքը:



Նկ. 2. Ոչ հստակ տրամաբանական եզրահանգումների համակարգի կառուցվածքը

Շնորհիվ մոտավոր դատողություններ կատարելու ունակության, ոչ հստակ տրամաբանությունը համարվում է բարդ կամ վատ ուսումնասիրված համակարգերի մոդելավորման հարմար գործիք: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ հաջողված փորձեր են արվել կիրառելու այն պղնձի ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման [10] և ֆլոտացման տեսական մոդելների մշակման նպատակով:

Գոյություն ունեն ոչ հստակ եզրահանգումների մի շարք համակարգեր, որոնցից առավել տարարածվածներն են Մամդանիի և Տակագի-Սուջենոյի համակարգերը [11]:

Ներկայումս Ճապոնիայում այս գիտական ուղղությունը բուռն զարգացում է ապրում: Այստեղ գործում է հատուկ ստեղծված լաբորատորիա՝ Laboratory for International Fuzzy Engineering Research (LIFE), որը միավորում է 48 ընկերություններ, այդ թվում՝ Hitachi, Mitsubishi, NEC, Sharp, Sony, Honda, Mazda, Toyota:

Արհեստական նեյրոնային ցանցեր: Արհեստական նեյրոնային ցանցը (ԱՆՑ) մաթեմատիկական մոդել է, որը կառուցված է կենսաբանական նեյրոնային ցանցերի գործունեության սկզբունքով: Այն միմյանց հետ կոշտ միացված և փոխգործող պարզագույն պրոցեսորներից՝ արհեստական նեյրոններից կազմված ինֆորմացիայի բաշխված, զուգահեռ մշակման համակարգ է:

ԱՆՑ-երի կիրառության ոլորտներն են կանխատեսումը, պատկերների ճանաչումը և կառավարումը: ԱՆՑ-երը սկսել են կիրառվել 1995թ. սկսած՝ պղնձի և այլ հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորման, կանխատեսման և օպտիմալացման նպատակներով:

Պարկերների մշակման վրա հիմնված մոդելներ: Այս մոդելները կապ են հաստատում ֆլոտախցում քումփյութերային տեսողական համակարգերով ստացված փրփուրի պատկերային պարամետրերի (պղպջակների չափ, գույն, կայունություն, փրփուրի արագություն) և ֆլոտացման տեխնոլոգիական պարա-

մետրերի միջև: Փրփրային պատկերները դասակարգվում են ըստ պատկերային պարամետրերի, որի արդյունքում որոշվում են ֆլոտացման գործընթացի առավելագույն արդյունավետություն ապահովող փրփուրի կառուցվածքը և դրան համապատասխան տեխնոլոգիական ռեժիմը:

Գենետիկական ալգորիթմներ: Գենետիկական ալգորիթմը (ԳԱ) էվրիստիկական ալգորիթմ է, որն օգտագործվում է մոդելավորման և լավարկման խնդիրների լուծման համար, որոնվող պարամետրերի պատահական ընտրության, համակցման և փոփոխության միջոցով՝ օգտագործելով բնական էվոլյուցիայի մեխանիզմները՝ ժառանգումը, մուտացիան, ընտրությունը և խաչասերումը: ԳԱ-երի գաղափարը առաջարկվել է Ջոն Հոլանդի կողմից 1960թ, ով նպատակադրել էր ուսումնասիրել բնության մեջ դիտվող հարմարվողականության մեխանիզմը և փորձել էր ներմուծել այն քոմպյուտերային համակարգերի ոլորտ:

Գենետիկական ալգորիթմի կիրառմամբ է մշակվել արգումենտների խմբային հաշվառման մեթոդը, որը հաջողությամբ օգտագործվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութի ֆլոտացման էմպիրիկ մոդելները մշակելիս [9]:

Վճիռների կայացման ծառեր: Վճիռների կայացման ծառերն օգտագործվում են տվյալների բանական վերլուծության և մեքենայական ուսուցման բնագավառում:

Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մոդելավորման վերաբերյալ վերջին տարիներին հրատարակված գրականության վերը շարադրված վերլուծությունը հանգեցնում է հետևյալ եզրահանգումներին.

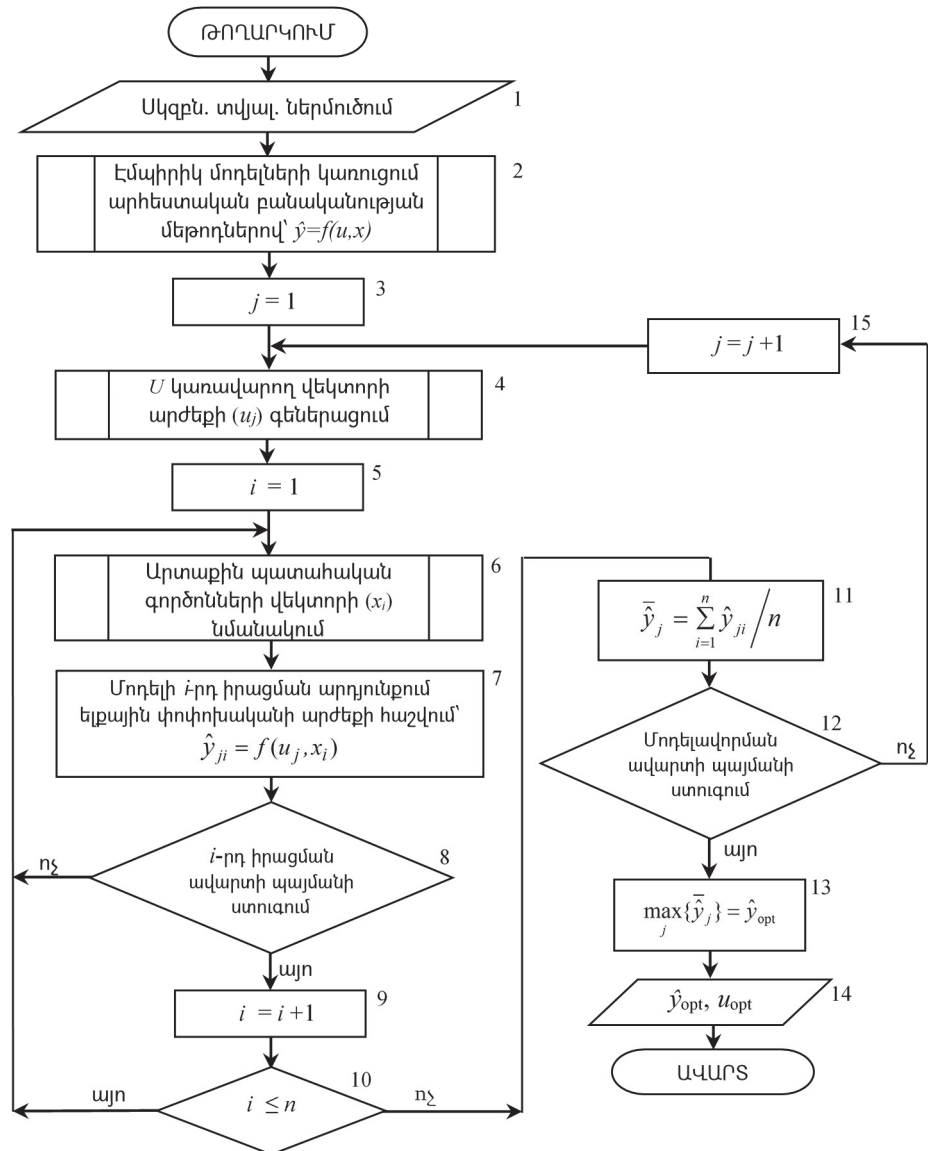
- դիտարկված ֆենոմենոլոգիական (կինետիկ, մասնիկների հաշվեկշռի, հավանականային) մոդելները շատ պարզ են և օգտագործվում են միայն մեկ ֆլոտախցում ընթացող գործընթացների ուսումնասիրության համար:

- էմպիրիկ մոդելները, որոնք կարող են համալրվել նեյրոցանցային և գենետիկական ալգորիթմներով, կիրառելի են ինչպես առանձին ֆլոտախցերի, այնպես էլ ամբողջ արտադրամասի նկարագրության համար, սակայն դրանք հաշվի չեն առնում պատահական գործոնների ազդեցությունը,

- ԱԲ մեթոդներով (ոչ հստակ տրամաբանություն, նեյրոնային ցանցեր, հավանականային դատողություններ և գենետիկական ալգորիթմներ) կառուցված մոդելները հաջողությամբ օգտագործվում են հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացների օպտիմալացման նպատակով, սակայն լուրջ դժվարություններ են ծագում՝ կապված պատահական գործոնների ազդեցության հաշվառման հետ,

- հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մոդելի համարժեքության բարձրացման արդյունավետ ուղիներից է արհեստական բանա-

կանության մեթոդներով կառուցված գործընթացի էմպիրիկ մոդելի համակցումը պատահական գործոնների նմանակային մոդելի հետ: Մեր կողմից առաջարկվող այս մոտեցումը հաջողությամբ կիրառվել է սարքավորումների հուսալիության հաշվառմամբ Ջանգեզուրի պղնձամոլիբդենային կոմբինատի (ԶՊՄԿ) հանքանյութի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացը մոդելավորելիս [12, 13] (նկ.3):



Նկ. 3. Հանքանյութի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային մոդելի խոշորացված բլոկ-սխեման

Եզրակացություն: Այսպիսով, մասնագիտական գրականության վերլուծությունը ցույց է տվել, որ ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մոդելների կառուցման ժամանակ ծագում են լուրջ դժվարություններ՝ կապված պատահական գործոնների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտության հետ: Հիմնավորվել է, որ այդ դժվարությունների հաղթահարման արդյունավետ ուղիներից է ֆլոտացման գործընթացի էմպիրիկ մաթեմատիկական մոդելի համակցումը արտաքին միջավայրի նմանակային մոդելի հետ, որն առանց դժվարության կարող է մոդելավորել ֆլոտացման գործընթացի վրա տարաբնույթ պատահական գործոնների ազդեցությունը: Համակցված մոդելավորման այս մեթոդը, հուսալիության հաշվառմամբ, հաջողությամբ կիրառվել է ՋՊՄԿ պղնձամոլիբդենային հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացը մոդելավորելիս [12, 13]:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **King R.** Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems. 2nd Edition. – Boston: Butterworth–Heinemann, 2015. – 416 p.
2. **Jovanović I., Miljanović I., Jovanović T.** Soft computing–based modeling of flotation processes – a Review // Minerals Engineering. – 2015. – Vol. 84. – P. 34–63.
3. **Jovanović I., Miljanović I.** Modelling of Flotation Processes by Classical Mathematical Methods – a Review // Arch. Min. Sci. – 2015. – Vol. 60, № 4. – P. 905–919.
4. **Nakhaei F., Mosavi M.R., Sam A.** Recovery and grade prediction of pilot plant flotation column concentrate by a hybrid neural genetic algorithm // International Journal of Mining Science and Technology. – 2013. – Vol. 23. – P. 69–77.
5. **Miljanović I.** Fazi logičko upravljanje procesima u pripremi mineralnih sirovina / Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, 2008. –161 p.
6. **Умеров А.Н., Шуршев В.Ф.** Методы и программные средства аппроксимации экспериментальных данных // Вестник АГТУ. – 2005. – № 1 (24). – С. 97–104.
7. Modelling and simulation of rougher flotation circuits/**J.Yianatos, C.Carrasco, L.Bergh, et al** // International Journal of Mineral Processing. – 2012. – Vol. 112–113. – P. 63–70.
8. **Herbst J.A., Harris M.C.** Modeling and simulation of industrial flotation processes. Froth Flotation // In: A Century of Innovation (Edited by M.C. Fuerstenau, G.J. Jameson, R.H. Yoon).- Publisher: SME, 2007. – P. 757–777.
9. **Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М.** Сравнительный анализ методов регрессии и группового учета аргументов при моделировании процессов переработки полезных ископаемых //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.- Томск, 2016.-Т. 327, № 4.- С.23-34
10. **Saravani A.J., Mehrshad N., Massinaei M.** Fuzzy-based modeling and control of an industrial flotation column // Chem. Eng. Commun. – 2014. – № 201 (7). – P. 896–908.

11. **Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N.** Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.- Springer, 2007. – 430 p.
12. **Баласанян С.Ш.** Стратифицированное моделирование сложных технологических систем: Монография.-Саарбрукен, Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2016.-380с.
13. **Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М.** Имитационная модель для оптимизации реагентного режима флотации медно-молибденовой руды с учетом случайных факторов //Вестник НПУА: Сборник научных статей.- Ереван, 2018.- Часть 1. - С. 135-146.

С.Ш. БАЛАСАНЯН, Э.М. ГЕВОРГЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ РУДЫ

В результате анализа литературы, посвященной моделированию технологического процесса флотации руды, показано, что одним из эффективных путей преодоления трудностей, связанных с необходимостью учета влияния случайных факторов, является сочетание эмпирической модели процесса флотации с имитационной моделью внешней среды.

Ключевые слова: руда, флотация, феноменологическая модель, кинетическая модель, генетический алгоритм, нейронная сеть.

S. Sh. BALASANYAN, H.M. GEVORGYAN

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MODELS OF THE ORE FLOTATION TECHNOLOGICAL PROCESS

As a result of analyzing the literature on modeling the technological process of ore flotation, it is shown that one of the effective ways to overcome the difficulties associated with the need to take into account the influence of random factors is to combine the empirical model of the flotation process with the simulation model of the external environment.

Keywords: ore, flotation, phenomenological model, kinetic model, genetic algorithm, neural network.