

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ
(ՀԻՄՆԱԴՐԱՄ)**

ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ ՀԵՐՄԻՆԵ ՄԻՇԱՅԻ

**ՊՂՆՁԱՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ
ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ**

Ե.13.02 - «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման

Ա Տ Ե Ն Ա Խ Ո Ս ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Գիտական ղեկավար՝
տ.գ.դ., պրոֆեսոր **Ս.Շ. Բալասանյան**

Երևան 2017

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ.....2

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ 5

ԳԼՈՒԽ 1

ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐԸ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐԸ.....16

1.1. Հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի դասական մոդելները.....16

1.1.1. Ֆլոտացման գործընթացի փոփոխականները 17

1.1.2. Ֆլոտացման գործընթացի երևութաբանական մոդելները19

1.1.3. Էմպիրիկ մոդելներ25

1.2. Ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորումը փափուկ հաշվողական մեթոդներով27

1.2.1. Փափուկ հաշվողական կանոնների վրա հիմնված մոդելները.....27

1.2.2. Արհեստական նեյրոնային ցանցեր.....28

1.2.3. ԱՆՑ -երի կիրառումը քրոմիոլիթերային արտապատկերման համակարգերում 30

1.2.4. Ոչ հստակ տրամաբանություն 31

1.2.5. Գենետիկ ալգորիթմներ34

1.2.6. Հենարանային վեկտորների մեթոդ..... 36

1.2.7. Վճիռների կայացման ծառեր..... 38

1.2.8. Համակցված մեթոդներ..... 39

Եզրակացություններ 1-ին գլխի վերաբերյալ43

ԳԼՈՒԽ 2

ՊՂՆԾԱՄՈԼԻԲՐԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԽՆԴԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 46

2.1. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման խնդրի ձևայնացումը.....46

2.2. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելը.....48

2.3. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի կառուցման մեթոդների համեմատական վերլուծությունը 51

Եզրակացություններ 2-րդ գլխի վերաբերյալ..... 59

ԳԼՈՒԽ 3

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ԿԱՌՈՒՑՈՒՄԸ..... 61

3.1. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ձևայնացումը..... 61

3.2. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատանքի ժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների նույնականացումը..	63
3.2.1. Հանքաքարի մանրացման սարքավորումների հուսալիության վերաբերյալ վիճակագրական տվյալների հավաքումը և նախնական մշակումը.....	65
3.2.2. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական սարքավորումների աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների նույնականացումը	66
3.3. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացը մոդելավորող ալգորիթմի կառուցումը.....	73
3.4. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի գործունեության գործընթացի նմանակային մոդելի կառուցումը	80
3.4.1. ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի նկարագրությունը սարքավորումների խափանումների դեպքում.....	80
3.4.2. ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի քոմփյուտերային մոդելի կառուցումը.....	82
Եզրակացություններ գլուխ 3-ի վերաբերյալ	99

ԳԼՈՒԽ 4

ՊՂՆՁԱՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱՋՈՏՈՒՄԸ..... 101

4.1. Հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի ընդհանուր բնութագիրը.....	101
4.1.1. Մոդելի փոփոխականների նախնական կազմի որոշումը.....	103
4.1.2. Փորձագիտական գնահատման մեթոդով հանքաքարի ֆլոտացման մաթեմատիկական մոդելի էական փոփոխականների որոշումը.....	105
4.2. Հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելի մշակումը.....	112
4.2.1. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քոմփյուտերային մոդել.....	112
4.2.2. Սկզբնական պղնձամոլիբդենային հանքաքարի բնութագրերի հավանականությունների բաշխման օրենքների նույնականացումը	116
4.2.3. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելը.....	119
4.3. Մշակված քոմփյուտերային մոդելի հետազոտում.....	123
4.3.1. Քոմփյուտերային մոդելի համարժեքության գնահատում.....	124
4.3.2. Քոմփյուտերային մոդելի վալիդացում, վերիֆիկացում և աշխատունակության ստուգում....	126
Եզրակացություններ 4-րդ գլխի վերաբերյալ.....	128

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄՆԵՐԸ.....131

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ.....134

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ.....146

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2

ՊՂՆՁԱՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ..... 152

- Հ 2.1. Ընդհանուր տեղեկություններ ԶՊՄԿ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի վերաբերյալ..... 152
- Հ 2.2. Պնևմամեխանիկական ֆլոտամեքենաներ 153
- Հ 2.3. Կոլեկտիվ ֆլոտացման ցիկլը 155
- Հ 2.4. Մոլիբդենային ֆլոտացման ցիկլը..... 157
- Հ 2.5. Պղնձի ֆլոտացման ցիկլը 159

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 3

ՓՈՐՁԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՐՑՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՄ ԵՎ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ԿԱՐԵՎՈՐԱԳՈՒՅՆ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆՆԵՐԻ ԿԱԶՄԻ ՈՐՈՇՈՒՄ..... 161

- Հ 3.1. Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման ալգորիթմը 162
- Հ 3.2. Փորձագետների կարծիքների համաձայնեցվածության աստիճանի և փորձաքննության արդյունքների հավաստիության գնահատումը 166
- Հ 3.3. Փորձագիտական հարցման արդյունքների ներմուծումը և մշակումը «EXPERT» ծրագրային փաթեթի միջոցով..... 167

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 4

- ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ԵՎ ՆՇԱՆԱԿՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ 176**
- ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ..... 177**

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Գունավոր մետաղների հանքանյութերի ֆլոտացման ներկայումս կիրառվող տեխնոլոգիաները կարիք ունեն զգալի կատարելագործման, ինչը պայմանավորված է հանքանյութերում արժեքավոր բաղադրիչների պարունակության նվազմամբ, սկզբնական հանքաքարի ֆիզիկաքիմիական հատկությունների և մանրացված հանքանյութերի բնութագրերի փոփոխականությամբ: Հանքահարստացման արդյունավետության բարձրացման հնարավոր ուղիներից է ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատացված կառավարման համակարգերում բարձր համարժեքությամբ մոդելների կիրառումը: Հատկապես պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության բարձրացումը անհրաժեշտաբար պահանջում է գիտականորեն հիմնավորված կառավարման նոր, առավել համարժեք մաթեմատիկական մոդելների մշակում, որոնք ունակ են հաշվի առնելու տարաբնույթ պատահական գործոնների ազդեցությունը:

Ներկայացվող հետազոտությունը նվիրված է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման քոմփյութերային մոդելի մշակման և գործնական կիրառման հարցերին, որը հաշվի է առնում ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետության վրա հանքաքարի ֆիզիկաքիմիական հատկությունների և մանրացման սարքավորումների խափանումների հետևանքով ֆլոտացման ենթակա խյուսի բնութագրերի փոփոխությունների ազդեցությունը:

Աշխատանքի փորձնական հետազոտության առարկան «Զանգեզուրի պղնձամոլիբդենային կոմբինատ» («ԶՊՄԿ») ՓԲԸ-ի հանքաքարի մանրացման և ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացներն են:

Ատենախոսական աշխատանքում առաջարկված ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդրի ընդհանրական մոդելի կիրառությամբ մշակվել է ԶՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյութերային մոդել, որի կիրառումը հնարավորություն կընձեռի հեռանկարային կառավարման որակի բարելավման շնորհիվ բարձրացնել ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետությունը:

Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը

Հանքահարստացման տեխնոլոգիական գործընթացների անկատարության և դրանց ավտոմատացված կառավարման համակարգերում օգտագործվող մաթեմատիկական մոդելների ցածր համարժեքության պատճառով մոլիբդենի և այլ հազվագյուտ մետաղների զգալի մասը (18-22%) մնում է պոչանքների մեջ: Հիշյալ մոդելները, որոնք, որպես կանոն, ունեն դետերմինացված բնույթ, հաշվի չեն առնում հանքահարստացման գործընթացի արդյունավետության վրա պատահական գործոնների, մասնավորապես, սկզբնական և մանրացված հանքանյութերի բնութագրերի փոփոխությունների ազդեցությունը, որի պատճառով նկատելիորեն նվազում է կառավարման մոդելի համարժեքությունը, ինչն էլ իր հերթին հանգեցնում է կառավարման ճշգրտության և հանքահարստացման գործընթացի արդյունավետության զգալի նվազմանը: Ասվածից հետևում է, որ հանքահարստացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության բարձրացման հնարավոր ուղիներից է այդ գործընթացի հավանականային կառավարման բարձր համաժեքությամբ օժտված մոդելի մշակումը և գործնական կիրառումը: Այսօր «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ արտադրության ծավալները հասել են այնպիսի չափերի, որ հանքանյութերից մոլիբդենի և պղնձի կորզման նույնիսկ չնչին ավելացումը ձեռնարկությանը կբերի շոշափելի լրացուցիչ շահույթ: Ուստի առավել քան ակնհայտ է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման որակի բարձրացման հիմնախնդրի լուծման հրատապությունը, ինչով և պայմանավորված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը:

Հետազոտման նպատակը և խնդիրները

Ատենախոսության նպատակն է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատացված կառավարման քոմփյուտերային մոդելի մշակումը, հետազոտումը և գործնական կիրառումը՝ հաշվի առնելով ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ու հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի (ՀՄՏՀ) սարքավորումների խափանումների հետևանքով նրա ելքային բնութագրերի փոփոխության ազդեցությունը:

Նշված նպատակից ելնելով՝ աշխատանքում դրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

- պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման խնդրի ձևայնացումը և ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելի մշակումը,
- պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի վիճակագրական մոդելի կառուցման մեթոդների համեմատական վերլուծությունը վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելի կիրառմամբ,
- ԶՊՄԿ-ի ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի հավանականությունների բաշխման օրենքների նույնականացումը վիճակագրական տվյալների հիման վրա,
- ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության նմանակային մոդելի մշակումը,
- ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի քոմպիյութերային մոդելի մշակումը,
- պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի կարևորագույն փոփոխականների որոշումը փորձագիտական գնահատականների մեթոդով,
- ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քոմպիյութերային մոդելի մշակումը,
- ԶՊՄԿ-ի սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելի կառուցումը վիճակագրական տվյալների հիման վրա,
- ԶՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման քոմպիյութերային մոդելի մշակումը և հետազոտումը:

Հետազոտման մեթոդները

Դրված խնդիրների լուծման նպատակով օգտագործվել են համակարգային վերլուծություն և գործողությունների հետազոտման մեթոդները, հուսալիության տեսության, դիսկրետ մաթեմատիկայի և կիրառական վիճակագրության մեթոդները, փորձագիտական գնահատականների մեթոդը, նմանակային մոդելավորման մեթոդը:

Աշխատանքի գիտական նորույթը կայանում է հետևյալում.

- Հիմնավորվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման օպտիմալ կառավարման խնդիրը որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր դիտարկելու նպատակահարմարությունը, ցույց է տրված այդ խնդրի լուծման դեպքում հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի փոփոխությունների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտությունը:
- Մշակվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդել, որը, շնորհիվ ֆլոտացման արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի պատահական փոփոխությունների ազդեցության հաշվառման, դետերմինացված խնդրի մոդելի համեմատ օժտված է ավելի բարձր համարժեքությամբ:
- Առաջարկվել է վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդել, որը հնարավորություն է ընձեռում իրականացնել մոդելավորման մրցակցող մեթոդների համեմատական վերլուծությունը՝ մոդելավորվող օբյեկտի ֆիզիկական և համակարգային օրինաչափությունների արտացոլման ունակության տեսանկյունից:
- ԶՊՄԿ-ի ՀՄՏՀ-ի շահագործման ընթացքում մանրացման սարքավորման հուսալիության վերաբերյալ ստացված վիճակագրական տվյալների հիման վրա նույնականացվել են սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատանքի և վերականգնման ժամանակի հավանականությունների բաշխման ֆունկցիաները, որոնց կիրառմամբ մշակվել է ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային մոդելը:
- Վիճակագրական տվյալների հիման վրա կառուցվել է պղնձամոլիբդենային հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը:
- Մշակվել է ԶՊՄԿ-ի ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի եռամակարդակ հիերարխիկ քումփյութերային մոդել, որը հաշվի է առնում նրա ելքային

բնութագրերի վրա հանքաքարի մանրացման սարքավորումների խափանումների ազդեցությունը:

- Կառավարման խնդրի առաջարկված ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելի կիրառությամբ մշակվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քումփյութերային մոդել, որն, ի տարբերություն գոյություն ունեցող համանման դետերմինացված մոդելների, հաշվի է առնում ֆլոտացման արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի և ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների խափանումների հետևանքով նրա ելքային բնութագրերի պատահական փոփոխությունների ազդեցությունը:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը պայմանավորված է ստացված գիտական արդյունքների գործնական կիրառման շնորհիվ պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների բարելավման հնարավորությամբ:

Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քումփյութերային մոդելը և փորձագիտական գնահատականների մեթոդով մաթեմատիկական մոդելի կարևորագույն փոփոխականների որոշման ծրագրային փաթեթը «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի կողմից ֆինանսավորված «Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման նմանակային մոդելի մշակումը» 01-Գ/2010 տնտայայնագրային գիտահետազոտական թեմայի շրջանակում (2012-2014 թթ.) ներդրվել են «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ում զգալի սպասվող տնտեսական արդյունքով (տարեկան շահույթի 1,5%-ի չափով)՝ ի հաշիվ պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման ճշգրտության բարձրացման:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելը,

2. Վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելը,
3. ԶՊՄԿ-ի ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի նույնականացված հավանականությունների բաշխման ֆունկցիաները:
4. ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային մոդելը:
5. ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի քոմփյուտերային մոդելը:
6. Փորձագիտական գնահատականների մեթոդով մաթեմատիկական մոդելի կարևորագույն փոփոխականների որոշման ծրագրային փաթեթը:
7. ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քոմփյուտերային մոդելը:
8. ԶՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելը:

Աշխատանքի արդյունքների հրապարակումները

Աշխատանքի տեսական և գործնական արդյունքները զեկուցվել են.

- 11-th International Conference «Remote Engineering and Virtual Instrumentation» REV2014 (Պորտո, Պորտուգալիա, 2014թ.)
- ՀԱՊՀ-ի տարեկան գիտաժողովներում (Երևան, 2012-2016 թթ.);
- ՀԱՊՀ-ի Կապանի մասնաճյուղային և «ՏՏ, Ի և ԱՀ» ամբիոնի գիտական սեմինարներում, (2012-2016 թթ.)

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակվել են 12 գիտական աշխատանքում, որոնք բերված են սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 4 գլխից, 156 անուն ներառող գրականության ցանկից և հավելվածներից: Ատենախոսության հիմնական տեքստը շարադրված է 145 էջում, ներառյալ 25 նկար և 7 աղյուսակ: Ատենախոսությունը գրված է հայերեն լեզվով:

Աշխատանքի համառոտ բովանդակությունը

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակը և խնդիրները, բերված են պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, ձևակերպված են աշխատանքի գիտական նորույթը և կիրառական նշանակությունը, շարադրված է աշխատանքի համառոտ բովանդակությունը:

Առաջին գլխում բերված է ակնարկ հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելների, դրանց կառուցման մեթոդների, մոդելավորման հիմնախնդիրների վերաբերյալ, նախանշված են լուծման հնարավոր ուղիները:

Դիտարկված են հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի դասական՝ երևութաբանական (կինետիկ, հավանականային, նյութական (մասնիկների) հաշվեկշռի մոդելներ) ու էմպիրիկ (վիճակագրական մեթոդներով կառուցված) մոդելները և փափուկ հաշվողական մեթոդներով (արհեստական նեյրոնային ցանցեր, ոչ հստակ տրամաբանություն, գենետիկ ալգորիթմներ, հենարանային վեկտորների մեթոդ, վճիռների կայացման ծառեր, համակցված մեթոդներ) կառուցված մոդելները:

Մասնագիտական գրականության վերլուծությունը ցույց է տվել, որ ֆլոտացման 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 մաթեմատիկական մոդելի համակցումը նրա արտաքին միջավայրի նմանակային մոդելի հետ, որն առանց դժվարության կարող է մոդելավորել սկզբնական հանքաքարի պարամետրերի և մանրացման սարքավորումների խափանումների հետևանքով ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի պատահական փոփոխությունները: Համակցված մոդելավորման հենց այս մեթոդն էլ ընտրվել և հաջողությամբ կիրառվել է սույն ատենախոսական աշխատանքում:

Երկրորդ գլուխը նվիրված է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդրի ձևայնացմանը և

ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելի մշակմանն ու դրա վրա հիմնված կառավարման քոմփյուտերային մոդելի կազմի որոշմանը:

Հարստացուցիչ ֆաբրիկաների շահագործման փորձը ցույց է տալիս, որ պատահական գործոնների ազդեցության արհամարհման հետևանքով զգալիորեն (շուրջ 10-15%-ով) նվազում է հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի կառավարման ճշգրտությունը և արդյունավետությունը: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդիրն անհրաժեշտ է դիտարկել որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր, որը հանգում է նպատակային ֆունկցիայի մաթեմատիկական սպասման էքստրեմումի որոնմանը՝ փոփոխականների վրա դրված սահմանափակումների դեպքում: Հիմնավորվել է որպես պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետության ցուցանիշ խտանյութերի արտադրությունից ստացվող շահույթի ընտրման նպատակահարմարությունը: Մշակվել է նշված արդյունավետության ցուցանիշի կիրառությամբ պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի օպտիմալ հավանականային կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելը: Դրված խնդրի բարդությունից ելնելով՝ աշխատանքում նպատակահարմար է համարվել այն լուծել քոմփյուտերային մոդելավորման մեթոդով: Ընդ որում, ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելի բարձր համարժեքություն ապահովելու նպատակով, նրա կազմում ներառվել է սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը և ՀՄՏՀ-ի գործունեության քոմփյուտերային մոդելը, որը հաշվի է առնում սարքավորումների խափանումների ազդեցությունը համակարգի գործունեության որակի վրա:

Առաջարկվել է վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդել, որը թույլ է տալիս քոմփյուտերային գիտափորձերի միջոցով գնահատել վիճակագրական մոդելների կառուցման մրցակցող մեթոդների արդյունավետությունը մոդելավորվող օբյեկտի ֆիզիկական և համակարգային օրինաչափությունների արտացոլման հնարավորության տեսանկյունից:

Երրորդ գլուխը նվիրված է հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի գործունեության գործընթացի քոմփյուտերային մոդելի կառուցմանը՝

հաշվի առնելով մանրացման սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ազդեցությունը:

ՀՄՏՀ-ի քոմփյութերային մոդելը երկու մոդելների բաղադրույթ է, որոնցից առաջինը վերարտադրում է սարքավորումների խափանումների առաջացման և խափանված սարքավորումների վերականգնման գործընթացը, երկրորդը նմանակում է հիշյալ գործընթացի ազդեցության ներքո ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացը: Ակնհայտ է, որ նշված մոդելներից առաջինի կառուցման համար անհրաժեշտ է ունենալ ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման ֆունկցիաները: ԶՊՄԿ-ի աշխատակիցների հետ համատեղ եռամյա ժամանակահատվածում ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների խափանումների և վերականգնումների վերաբերյալ հավաքված վիճակագրական տվյալների հիման վրա նույնականացվել (բացահայտվել) և մաթեմատիկորեն նկարագրվել են ՀՄՏՀ-ի սարքավորման խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի հավանականությունների բաշխման խտությունների ֆունկցիաները: Դրանց հիման վրա մշակվել է ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային մոդելը: Մոդելավորող ալգորիթմի կառուցումն իրականացվել է Ճ հատուկ վիճակների և մոդուլային սկզբունքների ու ռեգիստրային մեթոդի կիրառությամբ:

ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի նմանակային մոդելը կառուցվել է պրոֆեսոր Ա.Շ. Բալասանյանի կողմից մշակված ստրատիֆիկացված ձևայնացման մեթոդի և ընդհանրական մոդելի կիրառությամբ, ինչի շնորհիվ հաջողվել է հաղթահարել համակարգի հնարավոր վիճակների տարածության մեծ չափողականությունը: Այդ մոդելը վերարտադրում է սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ազդեցության ներքո ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացը՝ մանրացման ագրեգատների, մանրացման համալիրների և համակարգային մակարդակների վրա:

Չորրորդ գլխում մշակվել և հետազոտվել է պլնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյութերային մոդելը:

Ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի կարևորագույն մուտքային, ելքային և կառավարող փոփոխականների նախնական կազմը որոշվել է փորձագիտական գնահատականների մեթոդով: Փորձագիտական խմբի մեջ ներգրավվել էին «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի, «Ագարակի ՊՄԿ» ՓԲԸ-ի, «Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի և ՀԱՊՀ-ի Կապանի մասնաճյուղի բարձրորակ ու բազմափորձ մասնագետներ: Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակումն իրականացվել է LabVIEW միջավայրում ստեղծված ծրագրային փաթեթի միջոցով:

Վիճակագրական տվյալների հիման վրա նույնականացվել են պղնձամոլիբդենային հանքաքարի բնութագրերի հավանականությունների բաշխման օրենքները, որոշվել են դրանց պարամետրերի և կորելյացիայի գործակիցների վիճակագրական գնահատականները, որոնց օգտագործմամբ կառուցվել է հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը:

Կառուցվել է ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քումփյութերային մոդելը, որը թույլ է տալիս ութժամյա ժամանակահատվածում ՀՄՏՀ-ի գործունեության հավանականային գործընթացի իրացումների հիման վրա ձևավորել համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի արժեքները:

Կառավարման խնդրի առաջարկված ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելի հիմքի վրա մշակվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քումփյութերային մոդել, որն, ի տարբերություն գոյություն ունեցող համանման դետերմինացված մոդելների, հաշվի է առնում ֆլոտացման արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի և ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների խափանումների հետևանքով նրա ելքային բնութագրերի պատահական փոփոխությունների ազդեցությունը: ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի հնարավոր արժեքների ձևավորումն իրականացվում է ՀՄՏՀ-ի գործունեության նմանակային մոդելի միջոցով, որը ներառում է սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի հավանականային մոդելը, ՀՄՏՀ-ի գործունեությանդետերմինացված մոդելը: ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային

բնութագրերի ձևավորումը իրականացվում է հերթափոխի ընթացքում համակարգի գործունեության գործընթացի իրացումների հիման վրա:

Հանքանյութերի ֆլուտացման գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելն իրականացված է LabVIEW միջավայրում: Կառուցված մոդելի համարժեքությունը և պիտանիությունը ստուգվել է ինչպես վիճակագրական չափանիշների միջոցով, այնպես էլ վալիդացման և վերիֆիկացման արդիական միջոցներով: Մոդելի աշխատունակության և պիտանիության վերջնական ստուգումը իրականացվել է ստուգիչ օրինակի օգնությամբ:

Ատենախոսության գործնական արդյունքները ներդրվել են «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ում սպասվող զգալի տնտեսական արդյունքով՝ ի հաշիվ հանքանյութերի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման ճշգրտության բարձրացման:

Հավելվածներում բերված են հանքաքարի մանրացման և հանքանյութերի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացների բովանդակային նկարագրությունները, փորձագիտական հարցման արդյունքները և դրանց մշակման ծրագրային փաթեթի նկարագրությունը, ատենախոսությունում օգտագործված հապավումների ցանկը և ատենախոսության արդյունքների ներդրման ակտը:

ԳԼՈՒԽ 1

ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐԸ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՀԻՄՆԱԽՆԴԻՐՆԵՐԸ

1.1. Հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի դասական մոդելները

Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգը բարդ տեխնիկական համակարգ է: Այն բնութագրվում է միմյանց հետ փոխկապված տարրերի մեծ թվով, որոնց գործունեությունը ինքնակարգավորվում է հետադարձ կապերով, միմյանց հետ փոխգործող բազմաթիվ բարդ միկրոգործընթացներով, զանազան փոխկապված, տարաբնույթ, այդ թվում պատահական գործոններով, որոնց ազդեցության ներքո համակարգի գործունեության գործընթացը կրում է հավանականային բնույթ [1-10]:

Ֆլոտացման գործընթացի հիմքում ընկած սկզբունքները հայտնի են դեռևս անցյալ դարի երեսունական թվականներից ի վեր, իսկ ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացը լիովին նկարագրող քանակական կանխատեսող մոդելների մշակման ուղղությամբ փորձերը սկսվել են նախորդ դարի կեսերին և հետազոտությունները շարունակվում են առ այսօր: Սակայն, ըստ բազմաթիվ հետազոտողների, շատ դժվար է ստեղծել քանակական կանխատեսող մոդելներ, որոնք լիարժեքորեն կարող են օգտագործվել ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման նպատակով [8, 9]:

Վերջին ութսուն տարում մշակվել են ֆլոտացման գործընթացը նկարագրող բազմաթիվ մաթեմատիկական մոդելներ, որոնք օժտված են տարբեր մակարդակի համարժեքությամբ [11]: Հիմնականում դասական մոդելները մշակվել են [8, 12-20] աշխատությունների հեղինակների կողմից:

1990-ական թվականներից սկսած դասական մոդելների հետ զուգահեռ սկսվել է ֆլոտացման գործընթացի քոմփյուտերային մոդելների մշակումը, կիրառումը և զարգացումը [21, 22]: Ֆլոտացման գործընթացի նկարագրության համար հաճախ օգտագործվում են միկրո և մակրո մոդելները [17]: Միկրոմոդելներում ֆլոտացման համակարգի ենթագործընթացները նույնականացվում են և օգտագործվում

համակարգի փոփոխականների միջև պատճառահետևանքային կապերի բացահայտման համար: Մակրոմոդելներում ֆլոտացման համակարգի ընդհանուր ելքը (արձագանքը) մաթեմատիկական հավասարումների և առնչությունների միջոցով կապված է տարբեր տեխնոլոգիական պարամետրերի հետ [23, 24, 25]:

Ֆլոտացման գործընթացի դասական մոդելները ընդհանուր առմամբ բաժանվում են երկու խմբի՝ երևութաբանական կամ տեսական (անալիտիկ) [17, 25, 26, 27] և էմպիրիկ կամ վիճակագրական (փորձնական տվյալներով կառուցված) մաթեմատիկական մոդելների: Ֆլոտացման երևութաբանական մոդելները պարզագույն, խիստ իդեալականացված մոդելներ են, որոնք նկարագրում են ֆլոտացման գործընթացը մեկ ֆլոտախցի շրջանակում՝ հիմնվելով ֆիզիկաքիմիական օրինաչափությունների վրա և առավելապես օգտագործվում են ֆլոտացման գործընթացի տեսական ուսումնասիրությունների նպատակով [25]: Երևութաբանական մոդելները պայմանականորեն կարելի է լրացուցիչ դասակարգել հավանականային, կինետիկ և նյութական (մասնիկների) հաշվեկշռի տեսակների [17, 25]:

Ֆլոտացման համակարգում առկա բազմաթիվ տարաբնույթ վրդովող ազդեցությունների պատճառով հնարավոր չէ ստեղծել լիովին տեսական անալիտիկ մոդել և, եթե նույնիսկ դա հնարավոր լիներ, ապա մոդելն իր բարդության պատճառով կիրառելի չէր լինի: Հետևաբար, ֆլոտացման գործընթացի զուտ տեսական մոդել մինչ այժմ դեռևս չի մշակվել [15]:

1.1.1. Ֆլոտացման գործընթացի փոփոխականները

Ֆլոտացման գործընթացի ընթացքի և արդյունքների վրա տարբեր փոփոխականների ազդեցությունը ուսումնասիրվել է շատ հեղինակների կողմից [8, 14, 15, 16, 28, 29, 32]: Ըստ այդ հեղինակների, ֆլոտացման գործընթացի վրա տարբեր չափով ազդում են մոտ 100 տարաբնույթ փոփոխական: Այն իրական ժամանակի շատ բարդ գործընթաց է, որի փոփոխականների միջև առկա փոխազդեցությունները էլ ավելի են բարդացնում կառավարման խնդիրը: Նույնիսկ մեկ փոփոխականի կարճաժամկետ փոփոխությունը փոխադարձ ազդեցությունների հետևանքով կարող է

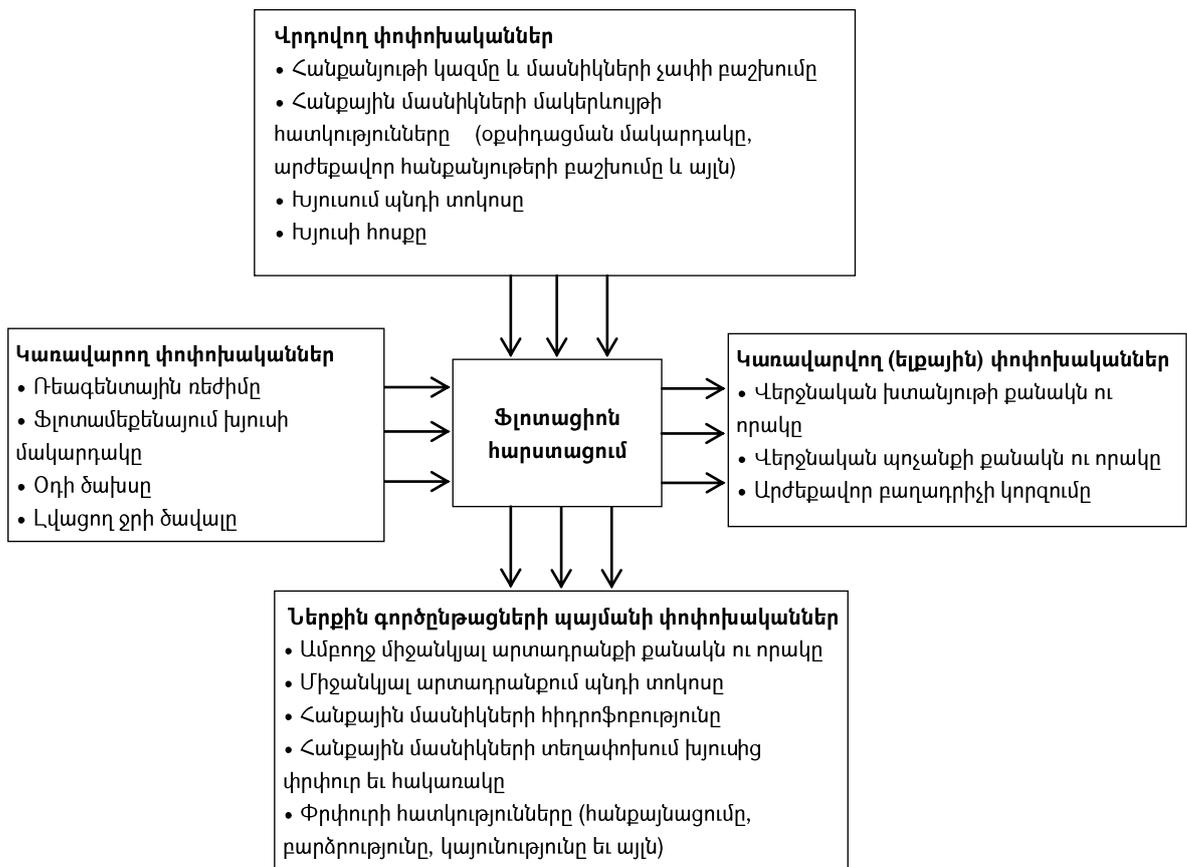
խաթարումների պատճառ դառնալ և տևական ազդեցություն ունենալ ֆլոտացման ողջ տեխնոլոգիական գործընթացի վրա:

Ընդհանուր առմամբ ֆլոտացման գործընթացի մոդելի հիմնական փոփոխականները կարելի է դասակարգել հետևյալ կերպ [30].

Մուտքային փոփոխականներ. կառավարող փոփոխականներ, այսինքն՝ փոփոխականներ, որոնք կարող են ազդել ֆլոտացման գործընթացի վրա, և վրդովող փոփոխականներ;

Ելքային փոփոխականներ. կառավարվող փոփոխականներ, այսինքն՝ փոփոխականներ, որոնք նկարագրում են գործունեության գործընթացը, ներքին վիճակի փոփոխականներ, որոնք կախված են կառավարող և վրդովող փոփոխականներից:

[31] աշխատությունում առաջարկվում է հիմնական ֆլոտացման փոփոխականները դասակարգել է նկ. 1-ում պատկերված բլոկ-սխեմայի միջոցով:



Նկ. 1.1. Ֆլոտացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի փոփոխականները

Բազմաթիվ փոփոխականների պարագայում ֆլոտացման օպտիմալ կառավարման ռեժիմ ապահովելը դժվարին խնդիր է, նույնիսկ այն դեպքում, երբ հարստացվող հանքաքարի ֆլոտացման հատկությունները ենթարկվում են աննշան փոփոխության: Հանքանյութի հարստացման հատկությունների հաճախակի փոփոխությունների դեպքում, ինչը գրեթե միշտ տեղի ունի արդյունաբերության ձեռնարկությունում, օպտիմալ կառավարման խնդիրն ավելի է բարդանում, որի լուծման համար մոդելավորման մեթոդի ընտրությունն ունի կարևոր նշանակություն [14]:

1.1.2. Ֆլոտացման գործընթացի երկուֆազանական մոդելները

Ֆլոտացման գործընթացի դասական մոդելավորման հայեցակարգը հիմնված է ֆլոտացման համակարգի վարքը նկարագրող ստանդարտ մաթեմատիկական կանոնների և առնչությունների վրա:

Կինետիկ մոդելներ: Ֆլոտացման գործընթացների կինետիկ մոդելավորումը հիմնված է այն ենթադրության վրա [17], որ, եթե մասնիկների թիվը և օդի պղպջակների խտությունը մնում են հաստատուն, ապա մասնիկների հետ պղպջակների բախման գործընթացի արագությունը առաջին կարգի է: Անկախ Ֆլոտացման գործընթացի կինետիկայի փաստացի կարգի մասին բազմաթիվ գիտական քննարկումներից, հետազոտություններում առավել լայնորեն ընդունված մոտեցումը, ինչպես նախկինում, առաջին կարգի կինետիկն է [17, 33]: Դա նշանակում է, որ ֆլոտախցերը կարող են մոդելավորվել կատարյալ խառնման քիմիական ռեակտորների համանմանությամբ [34, 19], այն դեպքում, երբ խյուսի վիճակում հանքային մասնիկների փոխանցումը որոշվում է առաջին կարգի ռեակցիայի արագության հավասարումներով [17]:

Առաջին կարգի կինետիկ հավասարման լուծումը հանգեցնում է դասական առաջին կարգի ֆլոտացման մոդելին, որը պետք է ձևափոխվի ֆլոտացման մասին տվյալները լայն միջակայքում ներկայացնելու համար, իսկ կինետիկ մոդելների ընդհանուր սկզբունքը հանգում է ֆլոտացման արագության k հաստատունի որոշմանը [17, 8]: k հաստատունը կախված է բազմաթիվ գործոններից, ինչպիսիք են օդի ծախսը,

հանքային մասնիկներ և օդի պղպջակների չափերը, խյուսի խտությունը և մակարդակը, ռեագենտի խտությունը, ֆլոտախցի դիզայնը և այլն [8, 18, 35]: Ուստի, շատ դժվար, կամ էլ գործնականում գրեթե անհնար է ճշգրիտ որոշել k հաստատունի արժեքը:

Ելնելով առաջին կարգի արագության հաստատունների բաշխումից՝ ընդհատվող ֆլոտացման գործընթացների կինետիկ մոդելները կարելի է բաժանել երկու հիմնական խմբերի՝ ընդհատ և անընդհատ մոդելների [36]: Ընդհատ մոդելները կարող են ներկայացվել հետևյալ ընդհանուր հավասարմամբ

$$\frac{R}{R_{\max}} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot (1 - e^{-k_i t}), \quad (1.1)$$

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

Առաջին ընդհատ կինետիկ մոդելներից մեկը [37] հիմնված է խյուսում երկու ֆրակցիաների (դանդաղ լողացող և արագ լողացող) ֆլոտացման վրա, որոնցից յուրաքանչյուրի վարքը բնութագրվում է առանձին արագության հաստատունով: Այս մոդելի հիման վրա [38] աշխատությունում մշակվել է նիկելի ֆլոտացման գործընթացի կատարելագործված օպտիմալացման մոդել:

Ֆլոտացման արագության հաստատունի անընդհատ բաշխմամբ մոդելները, որոնք նկարագրում են ընդհատ ֆլոտացման գործընթացը, ներկայացվում են հետևյալ ընդհանուր հավասարմամբ [33].

$$\frac{R}{R_{\infty}} = \int_0^{\infty} (1 - e^{-kt}) F(k) dk, \quad (1.2)$$

որտեղ R -ը արժեքավոր բաղադրիչի կորզումն է t ժամանակում, R_{∞} -ը բաղադրիչի առավելագույն կորզումն է անսահման ժամանակում, k -ն կինետիկ արագության հաստատունն է, որը ներառում է բոլոր միկրոսկոպիկ ենթագործընթացները, $F(k)$ -ն արագության հաստատունի բաշխման ֆունկցիան է 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:

Հետազոտողներն առաջարկում են k -ի տարբեր բաշխման ֆունկցիաներ, որոնցից են գամմա բաշխումը [20, 33], ուղղանկյուն բաշխումը [34], Վեյբուլի բաշխումը [33], կրկնակի նորմալ բաշխումը [36], եռանկյունաձև և սինուսոիդալ բաշխումները՝ առաջին կարգի կինետիկ մոդելներում [17]: Առավել հաճախ ընդունված ֆլոտացման կինետիկ մաթեմատիկական նկարագրություններից են բազմաֆրակցիոն և միաֆրակցիոն մոդելները, ֆլոտունակության գամմա բաշխման մոդելը, եռանկյունաձև բաշխումը [39]:

Այնուամենայնիվ, չնայած k հաստատունը հնարավորինս ճշգրիտ որոշելու և, հետևաբար, ֆլոտացման գործընթացին հնարավորինս համարժեք մոդել առաջարկելու բազմաթիվ փորձերին, ընդհանուր կարծիքն այն է, որ ֆլոտացման կինետիկական բավական լավ նկարագրող միասնական մոդել դեռևս գոյություն չունի [11]:

Անընդհատ ֆլոտացման գործընթացների համար միներալի կորզումը կարող է, ընդհանուր առմամբ, ներկայացվել է հետևյալ հավասարման միջոցով [19, 40].

$$\frac{R}{R_\infty} = \int_0^\infty \int_0^\infty (1 - e^{-kt}) F(k) E(t) dk dt, \quad (1.3)$$

որտեղ $E(t)$ -ն ժամանակի բաշխման ֆունկցիան է տարբեր հատկանիշներով անընդհատ գործընթացների համար: Մնացած պարամետրերն ունեն նույն իմաստը, ինչ (1.2) հավասարման մեջ: Ժամանակի բաշխման ֆունկցիան՝ $E(t)$ -ն կախված է հիդրոդինամիկ ռեժիմից, ֆլոտախցի դիզայնից և ֆլոտացման սխեմայի կարգաբերումից: Առաջարկվել է $E(t)$ ֆունկցիայի որոշման համեմատաբար պարզ մոդել մեծածավալ (130մ^3) մեկ ֆլոտախցի համար [19]: Փորձարկման ժամանակ արձանագրվել է մոդելի շատ լավ համապատասխանություն հեղուկ և երեք պինդ ֆրակցիաների փորձնական տվյալների հետ: Նույն հեղինակը նաև մոդելներ է առաջարկել N խցանի ֆլոտամեքենայի և ֆլոտասյան $E(t)$ -ն որոշելու համար:

Մասնիկների հաշվեկշռի մոդել: Մասնիկների հաշվեկշռի մոդելները հատուկ տեսակի ընդհատ կինետիկ մոդելներ են: Մասնիկների հաշվեկշռի մոտեցումը սերում է այն գաղափարից, որ հանքային մասնիկները խցում հայեցակարգային առումով

բաժանվում են խմբերի՝ ըստ n մասնիկների չափերի և հանքային կազմի [8]: Ֆլոտացման գործընթացի մասնիկների հաշվեկշռի մոդելավորման ընդհանուր սկզբունքները նկարագրված են [41] աշխատությունում: Ըստ այդ մոդելի, ֆլոտացում յուրաքանչյուր խմբի համար հանքային մասնիկների խտությունը որոշվում է խցում մասնիկի վիճակով (խյուսում ազատ, օդի պղպջակներին կցված, փրփուրի մեջ ազատ կամ օդի պղպջակներին հարակցված): Ընդհանուր առմամբ, մաթեմատիկորեն այն կարող է ներկայացվել հետևյալ դիֆերենցիալ հավասարումով [41, 42].

$$\frac{\partial V \psi_j}{\partial t} = \psi_{jIN} Q_{IN} - \psi_{jOUT} Q_{OUT} + \sum_{i=1}^n k_{ji} \psi_i V, \quad (1.4)$$

որտեղ՝ ψ_j -ն հանքային մասնիկների խտությունն է չորս հնարավոր վիճակներից յուրաքանչյուրում, V -ն ֆլոտացի ծավալն է, Q_{IN} -ը սկզբնական նյութի (ջրի կամ օդի) ծավալային ծախսն է խյուսի կամ էլ փրփուրի փուլերում, Q_{OUT} -ն արտադրանքի (ջրի կամ օդի) ծավալային ծախսն է խյուսի կամ փրփուրի փուլից, ψ_{jIN} -ը հանքային մասնիկների խտությունն է 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 գործակիցն է 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 համապատասխանում են հանքային մասնիկների կազմին և չափին:

[43] աշխատությունում ներկայացված է մի մոդել, որը նկարագրում է ֆլոտացման գործարանի դինամիկան՝ հիմնված մասնիկների հաշվեկշռի և առաջին կարգի ֆլոտացման կինետիկայի վրա: Ֆլոտացման գործընթացի մակրոմոդելավորման նպատակով մասնիկների հաշվեկշռի մոտեցումը կիրառվել է նաև [26, 44] աշխատություններում: Այդ մոտեցման կիրառությամբ ֆլոտացման համակարգում ենթագործընթացների մոդելավորումը հիմնականում հանգում է համակարգում օդի պղպջակների բաշխման օրենքի կանխատեսմանը:

Նշենք, որ դասական ֆլոտացման մոդելների այս դասակարգումը խիստ չէ: Այն, մասնավորապես, պայմանավորված է ֆլոտացման գործընթացի բարդությամբ, ինչի պատճառով հաճախ անհրաժեշտություն է առաջանում համատեղել մոդելավորման տարբեր մոտեցումներ: Հետևաբար, ոչ հազվադեպ, կինետիկ և հավանականային մոդելները՝ համարժեքության բարձրացման նպատակով փոխադարձաբար միահյուսված և համալրված են էմպիրիկ առնչություններով:

Հավանականային մոդելներ: Հավանականային մոդելները հիմնված են տարաբնույթ ենթագործընթացների առաջացման հնարավորության վրա, ինչպիսիք են օդային պղպջակների և մասնիկների բախումը, հարակցումը և տարանջատումը: Դրանք կարող են որպես գործիք ծառայել մակրո կամ միկրո մակարդակի վրա ֆլոտացման գործընթացի նկարագրության դեպքում, կամ էլ ներկայացնում են այս երկու տիպի մոդելների լծորդումը [17]:

Ֆլոտացման գործընթացի առաջին հավանականային մոդելներից մեկն ունի հետևյալ տեսքը [13].

$$P_x = P_c \cdot P_\alpha \cdot F \cdot [x] \cdot V, \quad (1.5)$$

որտեղ P_x -ը հանքային մասնիկների խտանյութ հաջող տեղափոխվելու հավանականությունն է, P_c -ն մասնիկների և օդի պղպջակների բախման հավանականությունն է, P_α -ն օդի պղպջակներին մասնիկների հարակցման հավանականությունն է, F -ը փրփուրի կայունության ցուցանիշն է, $[x]$ -ը մասնիկների միջին չափն է, V -ն ֆլոտացման խցի ծավալն է: Այս մոդելը գործնականորեն կիրառելի չէ ընդհանուր գործընթացում տարաբնույթ հավանականությունների և անկախ գործոնների ազդեցության չափման արդյունավետ մեթոդների բացակայության պատճառով: Այս մոդելի նկատմամբ այլընտրանքային մոտեցում է մշակվել [37] աշխատությունում, որը հնարավորություն է տալիս ավելի հեշտ չափումներ կատարել: Այն ենթադրում է, որ ֆլոտացման ժամանակ գործընթացի կայուն վիճակի դեպքում մեկուսացված ֆլոտախցում ստացված որոշակի բաղադրիչների քաշը պոչանքներում համեմատական է սնուցման ժամանակ միևնույն բաղադրիչի զանգվածին: Մոդելը ներկայացված է հետևյալ հավասարման տեսքով

$$W = W_0(1 - P)^n, \quad (1.6)$$

որտեղ W -ն արժեքավոր բաղադրիչի քաշն է պոչանքներում, W_0 - ն բաղադրիչի քաշն է հումքում, P -ն բաղադրիչի խտանյութ փոխանցման հավանականությունն է, n -ը գործընթացի արդյունավետությունը նկարագրող գործոնն է: Առաջարկված մոդելը շատ պարզ է օգտագործման համար, սակայն այս դեպքում, հանքահարստացումը դիտվում է որպես ընդհատ գործընթաց՝ առանց հաշվի առնելու ժամանակը: Սակայն, P հավանականությունը ամենաբարձր արժեքն ունի ֆլոտացման գործընթացի սկզբում, երբ ֆլոտացվող մասնիկների խտանյութ տեղափոխվելու ուժգնությունը ամենամեծն է և, քանի որ իրական գործընթացն անընդհատ է, այն աստիճանաբար նվազում է կախված ժամանակից: Ուստի P -ն պետք է դիտարկվի որպես ժամանակի ֆունկցիա: Դիֆերենցելով (1.6) հավասարումն ըստ P -ի, և ներկայացնելով $P(t)$ ֆունկցիոնալ կախվածությունը համապատասխան մաթեմատիկական փոխակերպումների միջոցով՝ ստացվում է ընդհանուր առաջին կարգի կինետիկ մոդելը, որը հաճախ օգտագործվում է ֆլոտացման գործընթացների նկարագրման ժամանակ [15].

$$\frac{dW}{dt} = -k(t) \cdot W, \quad (1.7)$$

որտեղ k -ն ֆլոտացման արագության հաստատունն է, որը հաշվարկվում է համապատասխան հավանականությունների միջոցով:

Այդպիսի մոդելի օրինակ է բերված [45] աշխատությունում, որտեղ ֆլոտացման արագության հաստատունի հաշվարկման նպատակով հաշվի են առնվել հանքային մասնիկների հետ հարակցվելու ունակ օդային պղպջակների խտությունը, մասնիկների հետ պղպջակների բախման հաճախականությունը, ինչպես նաև բախման, ձգման, եռաֆազ կոնտակտի ձևավորման համապատասխան հավանականությունները և արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ մասնիկ-պղպջակ միացության կայունությունը: Նույն ընդհանուր սկզբունքների կիրառությամբ [46, 47] աշխատությունում ներկայացված կինետիկ հաստատունները ներկայացվել են որպես ֆլոտացման համակարգում տարբեր միկրոգործընթացների առաջացման հավանականային ֆունկցիաներ: Հավանականային մոտեցում է կիրառվել նաև խյուսի ֆլոտացման ժամանակ օդի պղպջակների հետ մասնիկների հարակցման միկրոգործընթացների նկարագրության կինետիկ մոդելի մշակման շրջանակում [48]:

Բացի ֆլոտացման գործընթացը մակրո մակարդակում բնութագրող ավելի վաղ նշված հավանականային մոդելներից, մշակվել են նաև ֆլոտացման գործընթացի միկրոգործընթացներն ինքնուրույնաբար նկարագրող հավանականային մոդելներ [49]:

1.1.3. Էմպիրիկ մոդելներ

Գործնականում հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի օպտիմալ կառավարման նպատակով լայնորեն կիրառվում են վիճակագրական (էմպիրիկ) մոդելները, որոնց կառուցման դեպքում օգտագործում են հետևյալ մոտեցումները [25].

1. ֆլոտացման տեսական դրույթների վրա հիմնված մոտեցում (Theory-Driven),
2. փորձնական տվյալներից հետազոտվող գործընթացի վերաբերյալ ինֆորմացիայի կորզման վրա հիմնված մոտեցում (Data-Driven)՝ տեսության բացակայության, կամ ոչ լիարժեքության պայմաններում:

Նշված մոտեցումներին համապատասխան տարբերում են հետևյալ մոդելները.

- «սպիտակ արկղ»՝ առաջին մոտեցման վրա հիմնված մոդել, որի կառուցումն իրականացվում է ռեգրեսիոն վերլուծության մեթոդներով,
- «սև արկղ»՝ հիմնված է երկրորդ մոտեցման վրա, որի կառուցումն իրականացվում է ռեգրեսիոն վերլուծության, նեյրոցանցային, գենետիկ ալգորիթմներով և արգումենտների խմբային հաշվառման մեթոդներով (ԱԽՀՄ).
- «գորշ արկղ», որի ներքին կառուցվածքը մասնակիորեն է հայտնի, իսկ հետագա ընդլայնումը և համալրումը կարող է իրականացվել նեյրոցանցային և գենետիկ ալգորիթմների միջոցով:

Վերոնշյալ մոդելների կառուցման ժամանակ ծագում են լուրջ դժվարություններ կապված ֆլոտացման գործընթացի վրա պատահական գործոնների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտության հետ:

Դասական էմպիրիկ մոդելների դեպքում ֆլոտացվող նյութերի քանակության, մուտքային (անկախ) և ելքային (կախյալ) փոփոխականների միջև հավանականային

կախվածությունը մոտարկվում է համապատասխան վիճակագրական մեթոդների օգնությամբ [17]:

Էմպիրիկ մոդելները հարմար են համարվում ինչպես առանձին վերցրած ֆլոտախցերի, այնպես էլ ամբողջ արտադրամասի նկարագրության համար [14]:

Ֆլոտացման գործընթացի էմպիրիկ մոդելների գործնական կիրառման հնարավորությունը ուսումնասիրվել է դեռևս 20-րդ դարի կեսերին: Պղնձի հանքանյութերից պղնձի կորզման և ֆլոտացման օպտիմալացման նպատակով մի շարք էմպիրիկ մոդելներ են մշակվել [50] աշխատությունում:

Ֆլոտացման համակարգում որոշակի ենթագործընթացներ բնութագրող (հիմնականում միկրոգործընթացներ, որոնք տեղի են ունենում խյուսի և փրփուրի ֆազայի շփման փուլում) դասական էմպիրիկ մոդելների օրինակներ են բերված [51, 52] աշխատություններում:

Ֆլոտացման գործընթացի մոդելն առավելագույնս արդյունավետ դարձնելու նպատակով էմպիրիկ մոդելները հաճախ օգտագործվում են երևութաբանական մոդելների հետ համատեղ [26, 53]:

Էմպիրիկ մոդելների հիմնական առավելությունն այն է, որ դրանց կիրառումը շատ հաճախ մարդկային և ժամանակային ռեսուրսների ավելի քիչ ծախս է պահանջում, քան այլատեսակ մոդելներինը: Եթե ակնկալվող մոդելի կիրառության պայմանները հստակ սահմանված են, ապա այն պիտանի է գործնականում օգտագործելու համար: Սակայն մոդելի կառուցման տվյալների միջակայքից դուրս կանխատեսումները պետք է լրջորեն դիտարկվեն: Բացի այդ, մոդելները կարող են էապես միմյանցից տարբերվել՝ կախված հանքաքարի տեսակներից և ֆլոտացման տեխնոլոգիաներից: Հետևաբար, ֆլոտացման էմպիրիկ մոդելները կարող են կիրառվել միայն կոնկրետ հանքաքարի և ֆլոտացման որոշակի տեխնոլոգիայի դեպքում [14]:

1.2. Ֆլուտացման գործընթացների մոդելավորումը փափուկ հաշվողական մեթոդներով

Համաձայն [54] աշխատության, փափուկ հաշվողական մեթոդների դասը արհեստական բանականության ոլորտի մեթոդների հավաքածու է, որոնք ապահովում են լուծումների ճկունություն, հուսալիություն և ցածր արժեք՝ հիմնվելով անճշտությունների, անորոշության և մասնակի իսկության նկատմամբ հանդուրժողականության վրա: «Փափուկ հաշվումներ» եզրույթը ներմուծվել է ոչ հստակ բազմությունների և տրամաբանության տեսության հիմնադիր պրոֆեսոր Լոթֆի Զադեի (ԱՄՆ) կողմից 1994թ.: Այդ հասկացությունը ներառում է ոչ հստակ տրամաբանություն, նեյրոնային ցանցեր, հավանականային դատողություններ, էվոլյուցիոն ալգորիթմներ, որոնք համալրում են միմյանց և կարող են օգտագործվել ինչպես ինքնուրույնաբար, այնպես էլ տարբեր համակցումներով:

1.2.1. Փափուկ հաշվողական կանոնների վրա հիմնված մոդելները

Ըստ [9] աշխատության, ֆլուտացման գործընթացների մոդելավորման ասպարեզում առավել հաճախ օգտագործվող փափուկ հաշվողական մեթոդներն (ՓՀՄ) են՝ ոչ հստակ տրամաբանությունը (ՈՀՏ), արհեստական նեյրոնային ցանցերը (ԱՆՑ), գենետիկ ալգորիթմները (ԳԱ), հենարանային վեկտորների մեթոդը (ՀՎՄ), վճիռների կայացման ծառերը (ՎԿԾ) և այդ մեթոդների համակցումները: Դրանց առավելությունները և թերությունները հանգամանորեն դիտարկված են [23] աշխատությունում:

Փափուկ հաշվողական մեթոդներով կառուցված ֆլուտացման մոդելները պայմանականորեն կարելի է դասակարգել հինգ խմբի [9]:

Առաջին խումբը կազմում են այն մոդելները, որոնք տրված մուտքերի դեպքում կանխատեսում են տեխնոլոգիական պարամետրերը: Այս մոդելները ամենատարածվածներն են և կարող են ընդգրկել ֆլուտացման ողջ համակարգը, կամ այդ համակարգի որոշակի մասը՝ երբ կանխատեսվում են այնպիսի տեխնոլոգիական

ցուցանիշներ, ինչպիսիք են խտանյութի որակը և կորզումը: Նշված մոդելների մշակումն իրականացվում է ՓՀՄ-երով, մասնավորապես, ԱՆՑ-ի, ՀՎՄ-ի և ՈՀՏ-ի կիրառությամբ: Հաճախ հիշյալ մոդելների պարամետրերի լավարկման նպատակով օգտագործվում են արհեստական բանականության մեթոդները (օրինակ՝ գենետիկ ալգորիթմները, դիֆերենցիալ էվոլյուցիան):

Երկրորդ խումբը ներառում է մոդելներ, որոնք դասակարգում են ֆլոտացման գործընթացի պարամետրերը: Որպես կանոն, այդ մոդելներն օգտագործվում են փոփոխյին ֆլոտացման պատկերների դասակարգման նպատակով: Շնորհիվ իրենց դասակարգող հատկությունների, ՀՎՄ-ն և ՎԿԾ-երը համարվում են այդ մոդելների ամենահարմար մեթոդները, թեպետ առկա է նաև ԱՆՑ-ի և ԳԱ-ի միջոցով փոփոխյին պատկերների դասակարգման հաջող փորձը:

Երրորդ խումբը կազմում են ֆլոտացման սարքավորման նախագծման հետ կապված մոդելները, որոնց մշակման միակ մեթոդը ներկայումս համարվում է ԳԱ-ն:

Չորրորդ խումբը ներառում է կարգավորման մոդելները, որոնք նպատակ ունեն ապահովելու ֆլոտացման համակարգի կամ դրա ենթահամակարգերի կայունությունը: Դրանք հիմնականում ՈՀՏ-ն սկզբունքների վրա հիմնված մոդելներ են, որոնք այնուհետև ընդգրկվում են փորձագիտական համակարգերի կազմում:

Հինգերորդ խումբն ընդգրկում է ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մուտք-ելք պատճառահետևանքային կապի նույնականացման մոդելները: Դրանց օգնությամբ որոշվում են մուտքային փոփոխականների այն արժեքները, որոնք ապահովում են ելքային փոփոխականների օպտիմալ արժեքները: Այս խմբի որոշ մոդելներ մշակվել են ԱՆՑ-երի և ԳԱ-երի օգնությամբ:

Հետևելով [9] աշխատությանը՝ քննարկենք փափուկ հաշվողական մեթոդներով մշակված ֆլոտացման գործընթացի մոդելներն ըստ դրանց մշակման ընթացքում օգտագործված արհեստական բանականության մեթոդի:

1.2.2. Արհեստական նեյրոնային ցանցեր

Արհեստական նեյրոնային ցանցը (ԱՆՑ) մաթեմատիկական մոդել է, որը կառուցված է կենսաբանական նեյրոնային ցանցերի կազմակերպման և

գործունեության սկզբունքով: Այն միմյանց հետ կոշտ միացված և փոխգործող պարզագույն պրոցեսորներից՝ արհեստական նեյրոններից, կազմված ինֆորմացիայի բաշխված, զուգահեռ մշակման համակարգ է: ԱՆՑ-երի առանցքային հատկությունը կամայական ոչ գծային ֆունկցիաների մոտարկման ունակությունն է: Ընդհանուր առմամբ ԱՆՑ-երի կիրառության ոլորտներն են կանխատեսումը, պատկերների ճանաչումը և կառավարումը [55]:

ԱՆՑ-երը սկսել են կիրառվել 1995թ. սկսած՝ պղնձի և այլ հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորման, կանխատեսման և օպտիմալացման նպատակներով: ԱՆՑ-ի կիրառությամբ պղնձի հանքանյութի բազմափուլ ֆլոտացման գործընթացի մոդել է մշակվել [56] աշխատությունում, որի ուսուցանման և թեստավորման համար օգտագործվել են գիտափորձերի արդյունքները: Հեղինակի կարծիքով, մշակված մոդելը չի կարող օգտագործվել ֆլոտացման սխեմայի արդյունավետության լավարկման նպատակով, սակայն այն պիտանի է բարձր ճշգրտությամբ տարբեր սխեմաների մոդելավորման համար:

[57] աշխատությունում մշակվել են սյունային ֆլոտացման գործընթացի տեխնոլոգիական պարամետրերի գնահատման երկու մոդել՝ բազմաչափ ոչ գծային ռեգրեսիոն մոդել և ԱՆՑ մոդել: Մոդելների համեմատական վերլուծության արդյունքում նախապատվությունը տրվել է ավելի բարձր արդյունավետությամբ ԱՆՑ մոդելին: [58] աշխատությունում առաջարկվել է բավական բարձր բազմակի կորելյացիայի գործակիցներով (0,93 և 0,97) երկու ԱՆՑ մոդել՝ պղնձի խտանյութում պղնձի և մոլիբդենի պարունակության կանխատեսման համար: Շարունակելով այդ հետազոտությունները՝ հեղինակներն իրականացրել են սյունային ֆլոտացման արդյունքում ստացվող խտանյութի որակի և պղնձի կորզման կանխատեսման չորս մոդելի լրացուցիչ համեմատություն, որոնք հիմնված են դասական բազմաշերտ պերցեպտրոնի, ԱՆՑ-ի, բազմաչափ գծային և ոչ գծային ռեգրեսիայի վրա: Համեմատման արդյունքում հաստատվել է նեյրոնային ցանցի առավելությունը վիճակագրական մոդելների նկատմամբ [59]:

[60] աշխատությունում նշվում է պղնձի հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի այլ մոդելների համեմատ նեյրոնային ցանցի վրա հիմնված մոդելի բարձր արդյունավետության մասին:

Վիճակագրական մեթոդների նկատմամբ ԱՆՑ-ի առավելությունն արձանագրվել է նաև [61] աշխատությունում՝ սուլֆիդային պղնձի հանքանյութի ֆլոտացման գործընթացի ոչ գծային ռեգրեսիոն մոդելի, բազմաշերտ պերցեպտրոնի և ոչ հստակ եզրակացությունների ադապտիվ նեյրոհամակարգի համեմատության արդյունքում:

1.2.3. ԱՆՑ -երի կիրառումը քումփյութերային արտապատկերման համակարգերում

ԱՆՑ-երը լայնորեն կիրառվում են քումփյութերային տեսողական համակարգերում՝ ֆլոտացման պղպղջակների նույնականացման, դասակարգման և մեկնաբանման նպատակով [62]: Այս ասպարեզում ԱՆՑ-երի հնարավորություններից է ֆլոտացման փրփուրի պատկերների հատկանիշների բացահայտումը: Ըստ [63] աշխատության, ԱՆՑ-ի տեսքով ներկայացված բազմաշերտ պերցեպտրոնը կարող է օգտագործվել ֆլոտացման փրփուրի պատկերների հատկանիշների բացահայտման նպատակով:

[64] աշխատանքում ֆլոտացման փրփուրի բնութագրերի հիման վրա սուլֆիդային պղնձի ֆլոտացման գործընթացի պարամետրերի կանխատեսման նպատակով մշակվել են ԱՆՑ-ի տեսքով ներկայացված չորս բազմաշերտ պերցեպտրոն: Դրանցից յուրաքանչյուրը ներառում է չորս մուտքային փոփոխական՝ ֆլոտացման փրփրային պատկերների հատկանիշները (օդային պղպջակների չափերը, փրփուրի արագությունը, փրփուրի գույնը և պղպջակների պայթման արագությունը): Ֆլոտացման գործընթացի պարամետրերի փաստացի և կանխատեսված արժեքների համադրության արդյունքում արձանագրվել է մշակված ԱՆՑ մոդելների բարձր համարժեքություն ($R^2 = 0,9 - 0,95$):

Պղնձի ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման նպատակով ֆլոտացման փրփուրի պատկերի հատկանիշների բացահայտման վրա հիմնված բազմաշերտ պերցեպտրոնի հաջող կիրառության օրինակներ են բերված [65] աշխատությունում:

1.2.4. Ոչ հստակ տրամաբանություն

Առաջին անգամ «ոչ հստակ տրամաբանություն» եզրույթը ներմուծել է ամերիկյան պրոֆեսոր Լորթի Զադեն 1965թ. [66]: ՈՒՏ-ն հիմնվում է ոչ հստակ բազմությունների հասկացության վրա և ներմուծվել է մոտավոր դատողությունների ձևայնացման նպատակով, որոնք չեն կարող նկարագրվել հստակ տրամաբանությամբ:

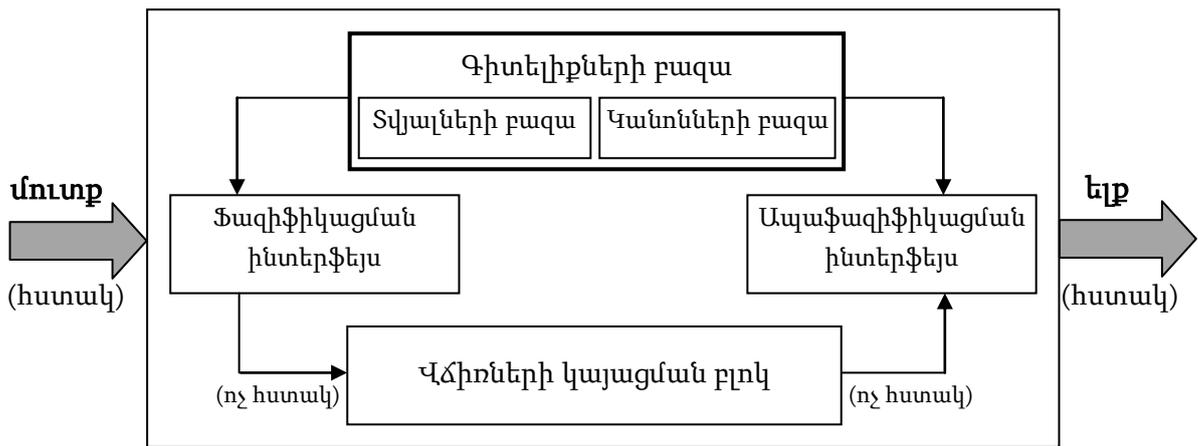
Դասական բուլյան տրամաբանության մեջ ճշմարիտ արտահայտությունն ունի 1 արժեք, իսկ ոչ ճշմարիտ արտահայտությունը՝ 0: Ոչ հստակ տրամաբանությունը բուլյան տրամաբանության ընդլայնումն է «մասնակի ճշմարտությունների» հասկացության ներմուծման միջոցով, որի շնորհիվ տրամաբանական արտահայտությունները կարող են արժեքներ ընդունել $[0;1]$ («բացարձակապես ճշմարիտ», «լիովին ոչ ճշմարիտ») միջակայքից: ՈՒՏ-ի գործնական կիրառության ընդհանուր գաղափարը լեզվաբանական այնպիսի փոփոխականների օգտագործումն է, ինչպիսիք են «ցածր», «միջին», «բարձր»: Մուտքային և ելքային փոփոխականների միջև կապը կարող է նկարագրվել ԵԹԵ-ԱՊԱ կանոնների միջոցով, որտեղ նախադրյալը և հետևանքը կարող են ներկայացվել լեզվաբանական ձևով:

Գործընթացների ոչ հստակ մոդելավորումն իրականացվում է ոչ հստակ տրամաբանական եզրահանգումների սկզբունքներին համապատասխան: Գոյություն ունեն ոչ հստակ եզրահանգումների մի շարք համակարգեր, որոնցից առավել տարարածվածներն են Մամդանիի և Տակագի-Սուջենոյի համակարգերը [67]: Առաջինի համաձայն ոչ հստակ եզրահանգումը կարող է կատարվել հետևյալ քայլերի արդյունքում.

- ոչ հստակ կանոնների հավաքածուի որոշում,
- մուտքային հստակ արժեքների ֆազիֆիկացում՝ օգտագործելով մուտքի պատկանելության ֆունկցիաները,
- ֆազիֆիկացված մուտքերի համակցում ոչ հստակ կանոնների համապատասխան՝ հաստատելու համար կանոնի ուժը,
- կանոնի հետևանքի որոշում ելքի պատկանելության ֆունկցիայի և կանոնի ուժի համակցման միջոցով,

- հետևանքների համակցում՝ վերջնական ոչ հստակ ելքի որոշման նպատակով,
- ոչ հստակ ելքի ապաֆազիֆիկացում և, որպես արդյունք, ելքի հստակ արժեքի ստացում:

Տակագի-Սուջենոյի տրամաբանական եզրահանգման համակարգը տարբերվում է Մամդանիի համակարգից միայն հետևանքի ոչ հստակ կանոններով: Համաձայն [67] աշխատության, ոչ հստակ տրամաբանական եզրահանգման համակարգն ունի նկար 1.2-ում ներկայացված կառուցվածքը:



Նկ. 1.2. Ոչ հստակ տրամաբանական եզրահանգումների համակարգի կառուցվածքը

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

Ոչ հստակ տրամաբանության հզորությունը և պարզությունը, որպես տարբեր հիմնախնդիրների լուծման մեթոդաբանություն, երաշխավորում են ՈՀՏ-ի հաջող կիրառությունը կառավարման և ինֆորմացիայի մշակման ներդրված համակարգերում: Ի տարբերություն ավանդական մաթեմատիկական մոդելավորման, որը մոդելավորման յուրաքանչյուր քայլում պահանջում է օրինաչափությունների ճշգրիտ և միարժեք ձևակերպումներ, ՈՀՏ-ն առաջարկում է մտածողության միանգամայն այլ մակարդակ, որի շնորհիվ մոդելավորման ստեղծագործական գործընթացն իրականացվում է վերացարկման ամենաբարձր մակարդակում՝ օգտագործելով մարդկային ինտուիցիան և օպերատորական փորձը:

Այդուհանդերձ, ոչ հստակ համակարգերն ունեն հետևյալ թերությունները.

- ոչ հստակ համակարգերի կառուցման ստանդարտ մեթոդիկայի բացակայությունը,
- ոչ հստակ համակարգերի մաթեմատիկական անալիզի անհնարինությունը գոյություն ունեցող մեթոդներով,
- ոչ հստակ մոտեցման կիրառությունը չի ապահովում հաշվումների ճշգրտության բարձրացում հավանականայինի համեմատ:

Շնորհիվ մոտավոր դատողություններ կատարելու ունակության, ՈՀՏ-ն համարվում է բարդ կամ վատ ուսումնասիրված համակարգերի մոդելավորման հարմար գործիք: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ փորձեր են արվել կիրառելու այն պղնձի, ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման [68] և ֆլոտացման տեսական մոդելների մշակման նպատակով [69]:

Ֆլոտացման սյան կառավարման համակարգի Մամդանիի տրամաբանական եզրահագման համակարգի վրա հիմնված մոդելը հաջողությամբ կիրառվել է փորձնական գործարանի ֆլոտացման սյան գործունեության կառավարման համակարգում [70]:

[71] աշխատությունում առաջարկվել է Տակագի-Սուջենոյի տրամաբանական եզրահանգման համակարգի վրա հիմնված ֆլոտացման սյան գործունեության մուտք-ելք տիպի մոդել: Մոդելի վալիդացումը ցույց է տվել, որ այն համարժեքորեն նկարագրում է մուտքային փոփոխականների ազդեցությունը ելքային փոփոխականների վրա [72]:

Հարկ է նշել, որ ՈՀՏ մոդելները կարող են կանխատեսել ոչ միայն առանձին ենթահամակարգերի պարամետրերը, այլև ֆլոտացման ամբողջ գործընթացի վերջնական ցուցանիշները: Այդպիսի մոդելներից է [68] աշխատությունում մշակված ՈՀՏ մոդելը, որը նմանակում է պղնձի արդյունաբերական սյունային ֆլոտացման գործընթացի պայմանների (օդի հոսքի արագությունը, խյուսում փրփրացուցիչ ազդանյութի ծախսը) և տեխնոլոգիական գործընթացի պարամետրերի միջև կապը: [73] աշխատությունում ներկայացված են ՈՀՏ սկզբունքների կիրառությամբ մի քանի

տարբեր մոդելներ մեխանիկական ֆլուտախցերում պղնձի որակի կանխատեսման համար:

[69] աշխատությունում բերված են տարբեր կառուցվածքներով երեք տեսական ոչ հստակ մոդելներ, որոնք նկարագրում են պղնձի և երկաթի ֆլուտացման գործընթացները: Դրանցից առաջինը կարելի է դիտարկել որպես ՈՀՏ եզրահանգման դասական մոդել՝ միակ ոչ հստակ կանոնների բազայով: Երկրորդ մոդելը կառուցված է որպես հիերարխիկ ՈՀՏ համակարգ՝ հիմնված միմյանց հետ փոխգործող երկու կանոնների բազաների բաղադրույթի վրա: Երրորդ մոդելը ցանցային ոչ հստակ կանոնների երեք բազաներից բաղկացած հիբրիդային մոդել է:

1.2.5. Գենետիկ ալգորիթմներ

Գենետիկ ալգորիթմը էվրիստիկական ալգորիթմ է, որն օգտագործվում է մոդելավորման և լավարկման խնդիրների լուծման համար, որոնվող պարամետրերի պատահական ընտրության, համակցման և փոփոխության միջոցով՝ օգտագործելով բնական էվոլյուցիայի մեխանիզմները (ժառանգում, մուտացիա, ընտրություն և խաչասերում): ԳԱ-երի գաղափարը առաջարկվել է Ջոն Հոլանդի կողմից 1960թ. [74], ով նպատակադրել էր ուսումնասիրել բնության մեջ դիտվող հարմարվողականության մեխանիզմը և փորձել էր ներմուծել այն քումփյութերային համակարգերի ոլորտ [75], իսկ ԳԱ-երի առաջին կիրառությունը օպտիմալացման խնդրի լուծման նպատակով իրականացվել է [76] աշխատությունում:

Ի հակադրություն դետերմինացված ալգորիթմների մեծամասնության, ԳԱ-երը հնարավորություն ունեն նախաձեռնել օպտիմալ լուծման որոնումը գենետիկ ալգորիթմի սկզբնական հավաքածուի շրջանակում: ԳԱ-ի տարբերիչ առանձնահատկությունը «խաչասերման» օպերատորի օգտագործումն է, որն իրականացնում է թեկնածու լուծումների վերահամակցումներ՝ նման կենդանի բնության մեջ տեղի ունեցող խաչասերման: «խաչասերումը» գենետիկական ալգորիթմի հիմնական օպերատորն է, որը հնարավորություն է ընձեռում ստեղծելու նոր անհատներ: «խաչասերումը» հանգեցնում է երկու անհատների միջև

գենետիկական նյութի փոխանակմանը, և հետագայում ստեղծում է երկու նոր սերունդ, որոնք ունեն ծնողների կողմից փոխանցված համակցված ինֆորմացիա:

Մուտացիան ԳԱ-ի օպերատոր է, որը պատասխանատու է անհատների պատահական ընտրված գեների փոխանակման համար: Նկատի ունենալով, որ մուտացիան գործում է միայն մեկ անհատի վրա, այն ունար օպերատոր է, որը որպես արդյունք ստեղծում է փոփոխված անհատ: Մուտացիան թույլ է տալիս վերադարձնել օգտակար գենետիկ նյութը, որի կորուստը հնարավոր է սելեկցիայի և խաչասերման փուլերում:

Դասական ԳԱ-ն սկսվում է լուծումների միանգամայն պատահական համախմբով: Քայլ առ քայլ, բազմության ամենաուժեղ անհատներից ընտրվում են զուգավորվող լուծումները: Ընտրված զույգերը տալիս են նոր սերունդ, որոնք կամ նման են ծնողներին, կամ էլ ժառանգել են յուրաքանչյուր ծնողի որոշ գծեր: Այնուհետև սերունդները ենթարկվում են մուտացիայի, ինչը կարող է պատահականորեն փոխել դրանց գենետիկ կազմը: Ամբողջությամբ վերցրած գործընթացը կրկնվում է սերունդների հետ՝ դրանով իսկ ստեղծելով սերնդաշար [55]:

ԳԱ-ի յուրաքանչյուր լուծումը կողավորվում է գեների վեկտորի՝ «գենոտիպի» տեսքով, որտեղ յուրաքանչյուր գենը կարող է լինել բիթ կամ թիվ: Պատահականորեն ստեղծվում է սկզբնական լուծումների գենոտիպերի բազմություն, որոնք գնահատվում են «հարմարվողունակության ֆունկցիայի» միջոցով: Արդյունքում յուրաքանչյուր գենոտիպին համադրվում է որոշակի արժեք («հարմարվողունակություն»), որը որոշում է գենոտիպի կողմից դրված խնդրի լուծման որակը: Հաշվի առնելով «հարմարվողունակության» արժեքը՝ ստացված լուծումների բազմությունից («սերնդից») ընտրվում են լուծումներ, որոնց նկատմամբ կիրառվում են «գենետիկ օպերատորները»՝ «խաչասերումը» և «մուտացիան»: Արդյունքում ստացվում են նոր լուծումներ, որոնց համար նույնպես հաշվարկվում են «հարմարվողունակության» արժեքները և այնուհետև իրականացվում է լավագույն լուծումների ընտրություն (սելեկցիա) հաջորդ սերնդի համար: Նշված գործողությունների հաջորդականությունը քայլ առ քայլ կրկնվում է՝ մոդելավորելով «էվոլյուցիոն գործընթացը», որը շարունակվում է այնքան կենսական ցիկլեր (սերունդներ), քանի դեռ չի կատարվել ալգորիթմի կանգի

չափանիշը (վերջնական լուծման ստացումը, էվոյուցիային հատկացված սերունդների կամ նախատեսված ժամանակի սպառումը):

Ֆլոտացման համակարգերի մոդելավորման բնագավառում ԳԱ-երը գլխավորապես օգտագործվել են ֆլոտացման օպտիմալ սխեմաների որոնման նպատակով [77, 78]: Ընդ որում, որպես հարմարվողականության ֆունկցիա օգտագործվել են տեխնոլոգիական պարամետրերը՝ խտանյութի որակը, կորզումը:

[78] աշխատությունում ԳԱ-ի կիրառությամբ լուծվել է ածխի եռաստիճան ֆլոտացման սխեմայի բազմանպատակ օպտիմալացման խնդիր, որի արդյունքում, օպտիմալ լուծումներից (ըստ Պարետոյի) ընտրվել է լավագույնը: Օպտիմալ սխեմայի ներդրման շնորհիվ կորզումը ավելացել է 6,7%-ով:

[79] աշխատության հեղինակները պնդում են, որ չնայած ավանդական եղանակների համեմատ ԳԱ-երի առավելությանը, այն չի երաշխավորում գլոբալ օպտիմալ լուծման ստացում:

[80] աշխատությունում դիտարկվել է 3-8 ֆլոտամեքենա պարունակող պղնձի ֆլոտացման սխեմայի օպտիմալացման խնդիր, որտեղ խյուսի և փրփրային փուլերում ֆլոտացման վարքը նկարագրվել է ԳԱ-երի կիրառությամբ:

ԳԱ-երի կիրառությունը, որպես ֆլոտացման սխեմաների կառուցվածքի օպտիմալացման գործիքի, բացառիկ է փափուկ հաշվումների բնագավառում: Իսկ ՈՀՏ-ի վրա հիմնված ԱՆՑ-երը գերակշռող են ֆլոտախցի գործունեության մոդելավորման ասպարեզում: Ուստի տրամաբանական է եզրակացնել, որ ԳԱ-երի, ԱՆՑ-ի ու ՈՀՏ մեթոդները համակցող հիբրիդային մոտեցումը թույլ կտա համակողմանիորեն լուծել ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման և օպտիմալացման համալիր խնդիրը [9]:

1.2.6. Հենարանային վեկտորների մեթոդ

Հենարանային վեկտորների մեթոդը ներառում է ՀՎՄ-ն և հենարանային վեկտորի ռեգրեսիան (ՀՎՌ): ՀՎՄ-ը մեքենայական ուսուցման հայեցակարգ է միմյանց հետ կապված տվյալների վերլուծության և պատկերների ճանաչման վերահսկվող

ուսուցման մեթոդների համախմբի համար, որոնք օգտագործվում են դասակարգման և ռեգրեսիոն վերլուծության բնագավառներում [81]: Դասակարգման մեթոդի գաղափարը այնպիսի հարմար հիպերհարթության որոնումն է, որի դեպքում միևնույն դասում ընդգրկված տվյալները գտնվեն այդ հարթության նույն կողմում: Օպտիմալ է համարվում այն հիպերհարթությունը, որն ապահովում է դասերի սահմանների վրա գտնվող կետերի միջև առավելագույն հեռավորություն (պաշար կամ այսպես կոչված «հենարանային վեկտոր»): Ինչքան մեծ է այդ պաշարը, այնքան փոքր է դասակարգման սխալը [82]:

ՀՎՌ-ը օգտագործում է նույն սկզբունքները ինչ որ ՀՎՄ-ի դասակարգման դեպքում: Այն ձգտում է օպտիմալացնել ռեգրեսիային տրված սահմանները: Դրանք հենվում են կորստի ֆունկցիայի որոշման վրա, որն արհամարում է ճշգրիտ արժեքներից որոշակի հեռավորության վրա գտնվող սխալները: Ֆունկցիայի այս տեսակը անվանում են էպսիլոնահնտենսիվ կորստի ֆունկցիա [83]:

Վերջին տարիներին ՀՎՄ-երը սկսել են հաճախակի կիրառվել ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորման ասպարեզում: Ընդ որում ՀՎՌ-ն ավելի հաճախ է կիրառվում քան ՀՎՄ-ն: Որպես կանոն, ՀՎՌ-ն օգտագործվում է տեխնոլոգիական պարամետրերի (խտանյութի որակ, կորզում) կանխատեսման համար՝ ելնելով ֆլոտացման փրփուրի պատկերի վերլուծության արդյունքում ստացված (կորզված) հատկանիշներից: Հարկ է նշել, որ ՀՎ մեթոդները առավել արդյունավետ են օգտագործվում արհեստական բանականության այլ մեթոդների համակցմամբ [9]:

ՀՎՌ մեթոդի կիրառությամբ մշակվել է պղնձի հանքանյութի ֆլոտացման մոդել, որը փրփուրի պատկերից ստացված հատկանիշների (կարմիր, կանաչ և կապույտ բաղադրիչների) հիման վրա կանխատեսում է խտանյութի որակը և կորզումը [84]:

ՀՎՄ-ի կիրառությամբ կառուցված ծծմբի հանքանյութի ֆլոտացման երեք մոդել է առաջարկվել [85] աշխատությունում, որոնք կարող են միարժեքորեն դասակարգել ծծմբի յուրաքանչյուր փրփրային պատկերը վեց հնարավոր դասերից որևիցե մեկում:

ՀՎ մեթոդների կիրառումը ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորման ասպարեզում գիտական տեսանկյունից դեռևս նոր է համարվում: Այդուհանդերձ, տասնամյա հետազոտությունների արդյունքները վկայում են ռեգրեսիոն և

դասակարգման խնդիրների լուծման ասպարեզում այդ մեթոդների կիրառման ներուժի մասին:

1.2.7. Վճիռների կայացման ծառեր

Վճիռների կայացման ծառերը (ՎԿԾ) օգտագործվում են տվյալների բանական վերլուծության և մեքենայական ուսուցման բնագավառում կանխատեսման մոդելների տեսքով, որոնք հիմնվելով որոշակի հիմնախնդրի վերաբերյալ հավաքված տվյալների վրա՝ կատարում են եզրակացություններ դիտարկվող խնդրի վերաբերյալ [86, 87]: Վճիռների ծառն ունի հիերարխիկ կառուցվածք՝ բաղկացած ԵԹԵ-ԱՊԱ հաջորդականություններից: Այն, իրական ծառի նման, ունի արմատ, վճիռների հանգույցներ և տերևներ, որոնք վճիռների ծառի վերջնական հանգույցները, այսինքն՝ հնարավոր բոլոր վճիռներն են [88]:

Վճիռների ծառը մի մոդել է, որը կանխատեսում է ելքային փոփոխականի արժեքը որոշակի թվով մուտքային փոփոխականների արժեքների հիման վրա:

Տարբերում են երկու տեսակի ծառ [89].

- դասակարգման ծառ, որտեղ կանխատեսվող ելքը ընդունում է արժեքների վերջավոր բազմության (դասի) տեսք,
- ռեգրեսիոն ծառ, որտեղ կանխատեսվող ելքն ընդունում է իրական թվերի տեսք:

Ըստ [9] աշխատության հեղինակների, երկուական դասակարգման ծառերը ֆլուտացման գործընթացների մոդելավորման ասպարեզում ամենատարածվածներն են: Վճիռների ծառի կառուցման համար անհրաժեշտ են տվյալներ, որոնք նկարագրում են մոդելավորվող գործընթացի վարքը և բնույթը: Յուրաքանչյուր ծառ, որպես մոդել բնութագրվում է ատրիբուտներով (անկախ կամ մուտքային փոփոխականներով) և դասերով (կախյալ կամ ելքային փոփոխականներով):

Ֆլուտացման բնագավառում վճիռների ծառերի առաջին կիրառություններից են [90] աշխատանքում ներկայացված ինդուկտիվ և գենետիկ ալգորիթմները, որոնք նախատեսված են արդյունաբերական պղնձի և պլատինի ֆլուտացման տարբեր փրփրային կառուցվածքների դասակարգման համար: Ըստ ալգորիթմների

փորձարկման արդյունքների դրանք պիտանի են գործնական օգտագործման համար, սակայն դասակարգման գենետիկ ալգորիթմը գերադասելի է:

[91] աշխատանքում լաբորատոր պայմաններում ֆլոտացվող պլատինի խմբի մետաղների խտանյութի կանխատեսման համար կիրառվել է դասակարգման պատահական անտառի արդիական մեթոդը, որը հիմնվում է ֆլոտացման փոփոխի պատկերից բացահայտված հյուսվածքի առանձնահատկությունների վրա: Այդ նույն մեթոդի կիրառությամբ [92] աշխատանքում ստուգվել է հանքաքարի նախնական մանրացման 17 տարբեր փոփոխականների կարևորությունը մանրացման, դասակարգման և ֆլոտացման ամբողջ գործընթացի արտադրողականության վրա: Բացի այդ նույն հեղինակները [93] աշխատանքում ցույց են տվել պատահական անտառի մեթոդի հնարավորությունը և արդյունավետությունը ածխի ֆլոտացման գործընթացի շեղումների հայտնաբերման դեպքում:

Ֆլոտացման մոդելավորման և օպտիմալացման ասպարեզում ՎԿԾ-երի և պատահական անտառների մեթոդների կիրառման ոչ մեծ փորձը դեռևս թույլ չի տալիս եզրակացնել դրանց արդյունավետության մասին: Այդուհանդերձ, կանխատեսման և դասակարգման նպատակներով այդ մեթոդների օգտագործման օգտակարությունն արդեն իսկ ակնհայտ է:

1.2.8. Համակցված մեթոդներ

Ֆլոտացման գործընթացի առավել ճշգրիտ մաթեմատիկական մոդելի մշակման նպատակով որոշ հեղինակներ նախընտրում են կիրառել փափուկ հաշվողական կամ դասական մոդելավորման մի քանի մեթոդներ համակցող հիբրիդային մեթոդներ: Օրինակ, [94] աշխատությունում օգտագործվել են զանգվածի, էներգիայի և մոմենտների հաշվեկշռի վրա հիմնված երկութաբանական մոդելի և ԱՆՑ-ի մոդելի համակցումը պղնձի սուլֆիդային հանքանյութի ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման նպատակով: Գործընթացի պարամետրերը հաջողությամբ կանխատեսվել են նեյրոնային ցանցի միջոցով, որոնք այնուհետև օգտագործվել են որպես երկութաբանական մոդելի մուտքային փոփոխականներ:

[95] աշխատությունում առաջարկվել է ներդրումունային հիբրիդային մոդել, որը հիմնված է արհեստական իմունային համակարգի և ներդրանքների սինթեզի վրա: Մոդելը կանխատեսում է ածխի խտանյութում մոխիրի պարունակությունը և հարմար է ֆլոտացման համակարգի օպտիմալ կառավարման համար:

ԱՆՑ-ի և ՈՀՏ համակարգի համակցմամբ հիբրիդային մոդել է մշակվել [96] աշխատությունում:

Ֆլոտացման տարբեր պարամետրերի մոդելավորման և կառավարման ասպարեզում հարմարվող ներդրանային ոչ հստակ եզրահանգման համակարգի կիրառության հնարավորությունները նկարագրվել են [97]՝ օդի պղպջակների տրամագծի և հոսքի մակերևույթի մակերեսի գնահատման, [98]՝ խյուսի մակարդակի կառավարման, [99]՝ տեխնոլոգիական գործընթացի պարամետրերի և տնտեսական ցուցանիշների կանխատեսման համար:

Քիչ չեն ոչ հստակ եզրահանգման համակարգի վրա հիմնված ֆլոտացման մոդելները, որոնք ներառված են ֆլոտացման կառավարման տարբեր փորձագիտական համակարգերում: Այդ համակարգերը հաճախ ներառում են դասական և ՈՀՏ մեթոդները [100]:

Փորձագիտական համակարգերի շրջանակում ֆլոտացման գործընթացների ոչ հստակ մոդելավորման կիրառություններ են նկարագրված [101, 102] աշխատանքներում: ՈՀՏ և ՎԿԾ-երի համակցման կիրառության օրինակ է նկարագրված [103] աշխատությունում:

[104] աշխատությունում պղնձի ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման նպատակով փորձ է արվել համակցել ՀՎՄ-ն արհեստական բանականության այլ մեթոդների (էնտրոպիայի վրա հիմնված B-սպլայն տեխնոլոգիայի, բազմաչափ ՀՎՄ-ի, մասնակի օպտիմալացման մեթոդի) համակցմամբ: Հեղինակները փոփոխի պղպջակի չափի հավանականությունների բաշխման խտության ֆունկցիան ընդունել են որպես ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետության ցուցանիշ (խտանյութի որակի և կորզման փոխարեն), իսկ որպես կառավարող փոփոխականներ դիտարկվել են ռեագենտների ծախսերը: Շնորհիվ արդյունավետության ցուցանիշի ուղղակի չափման

հնարավորության, այդ մոդելը կառավարման տեսանկյունից հետաքրքրություն է ներկայացնում, սակայն միայն նշված ցուցանիշի դիտարկումը բավարար չէ [9]:

[59] աշխատանքում մշակվել է Իրանի պղնձամոլիբդենային փորձնական գործարանի սյունային ֆլոտացման գործընթացի կառավարման հիբրիդային նեյրոգենետիկ մոդել, որը ներառում է շերտային պերցեպտրոնը՝ որպես ԱՆՑ, ԳԱ-ն՝ որպես ցանցի ճարտարապետության օպտիմալացման մեթոդ: Մշակված օպտիմալ ճարտարապետությամբ ցանցը կարող է կանխատեսել մոլիբդենի և պղնձի կորզումն ու պարունակությունը խտանյութերում: Հիբրիդային մոտեցում է կիրառվել նաև հետևյալ աշխատանքներում. [105] (ՀՎՄ, դիֆերենցիալ էվոլյուցիոն ալգորիթմ), [106] (ՀՎՄ, ՈՀՏ), [85] (ՀՎՄ, պատկերների մշակման մեթոդ), [107] (ՈՀՏ, ԳԱ), [108] (ԳԱ, Պարետոյի օպտիմալ լուծումների դասակարգման չափանիշ, բազմանպատակ օպտիմալացման մեթոդ, լրացուցիչ մաթեմատիկական ապարատ), [109] (հարաբերությունների մոդել, բազմաչափ ադապտիվ ռեգրեսիոն սալայն, ԳԱ):

Հետազոտություններում կիրառված ՓՀ մեթոդների շուրջ 40%-ը կազմում է ԱՆՑ, 30%-ը ոչ հստակ տրամաբանության մեթոդները, 12%-ը գենետիկ ալգորիթմները և 6%-ը ՀՎՄ-երը, 18%-ը մնացած մեթոդները: ԱՆՑ-երը և ՈՀՏ մեթոդները մեծամասամբ կիրառվում են ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման դեպքում, ըստ որում մոդելների մեծամասնությունը վերաբերում է պղնձի հանքանյութի ֆլոտացմանը: Հետազոտողների մեծ մասը նախապատվությունը տալիս են հատկապես նեյրոնային ցանցերին:

Պետք է նկատի ունենալ, որ շատ հետազոտություններ իրականացվել են լաբորատոր կամ փորձնական արդյունաբերական սարքավորումների վրա՝ սահմանափակ թվով փորձերի արդյունքների հիման վրա, կարճատև ժամանակահատվածում, և գրեթե բոլոր հետազոտությունները վերաբերում են միայն ֆլոտացման նախնական փուլին, անտեսելով մյուս կարևոր փուլերը և ֆլոտացման գործընթացն ամբողջությամբ վերցրած: Բացի այդ վերջին ժամանակներս մեծ ուշադրություն է նվիրվում սյունային ֆլոտացմանը, այն դեպքում, երբ հարստացուցիչ ֆաբրիկաներում մեծ մաս են կազմում մեխանիկական ֆլոտացման համակարգերը:

Ըստ [9]-ի փափուկ հաշվողական մեթոդների կիրառությունը՝ որպես ֆլոտացման համակարգերի մոդելավորման և օպտիմալացման հարմար միջոցի, մեծապես պայմանավորված է այդ համակարգերի բարդությամբ: Դրանք դեռևս գտնվում են նախնական փուլում, ընդհանրացված չեն, լիովին չեն ընդունվել հետազոտողների կողմից, և կարիք ունեն լրացուցիչ «հղկման»: Այդուհանդերձ, կարելի է նշել [23, 110], որ մասնակի բացառություն են կազմում ֆլոտացման ֆաբրիկաների վերահսկման և կառավարման կոմերցիոն ծրագրային ապահովումները, որոնք հիմնված են ՈՏՏ սկզբունքների և նեյրոնային ցանցերի վրա:

Չնայած փափուկ հաշվողական մեթոդների օգտագործմամբ կառուցված մոդելների վերաբերյալ հրապարակումների թվի անշեղ աճին, այդուհանդերձ առկա են դրանց կիրառության հետ կապված հետևյալ հիմնախնդիրները [9].

- ՓՎ մեթոդների կիրառությամբ մոդելների մշակումից մինչև արդյունաբերական ներդրման ուղին այնքան երկար է, որ այդպիսի հետազոտությունները մեծամասամբ ունենում են հետազոտական բնույթ,
- ՓՎ մեթոդների կիրառությամբ ֆլոտացման գործընթացների մոդելների մշակման ժամանակ թույլ են տրվում մի շարք կոպիտ մոտավորություններ, որոնց պատճառով կառուցված մոդելները կարելի է կիրառել միայն ֆլոտացման գործընթացի առանձին փուլերի համար,
- մեխանիկական ֆլոտացման բարդության պատճառով ՓՎ մեթոդները գլխավորապես կիրառվում են հիմնականում սյունային ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորման դեպքում, չնայած արդյունաբերության մեջ դրանց ունեցած փոքր մասնաբաժին,
- բացակայում են ՓՎ մեթոդների կիրառությամբ ֆլոտացման գործընթացների մոդելների համարժեքության գնահատման միասնական, հստակ մեթոդներ,
- ՓՎ մեթոդները, որպես մոդելավորման գործիքներ, կարիք ունեն լուրջ կատարելագործման:

Ինչպես ցույց են տալիս հանքանյութի ֆլոտացման ֆաբրիկաների շահագործման փորձը և հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի քոմփյուտերային մոդելավորման արդյունքները [1, 2, 10, 111-114], մանրացնող սարքավորման

խափանումների հետևանքով համակարգի գործունեության որակի նվազումը և սկզբնական հանքանյութի բնութագրերի փոփոխությունները զգալիորեն (շուրջ 13%-ով և 6%-ով համապատասխանաբար) նվազեցնում են հանքանյութի ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետությունը: Ուստի նշված պատահական գործոնների անտեսումը էականորեն նվազեցնում է ֆլոտացման գործընթացի կառավարման մոդելների համարժեքությունը, հետևապես և ֆլոտացման գործընթացի կառավարման ճշգրտությունը: Մյուս կողմից, հիշյալ բարձր համարժեքություն ունեցող մոդելների կառուցման ժամանակ ծագում են լուրջ դժվարություններ կապված ֆլոտացման գործընթացի վրա վերոնշյալ պատահական գործոնների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտության հետ, որոնք, ինչպես ցույց է տալիս մասնագիտական գրականության վերաբերյալ կատարված ակնարկը, մինչ այժմ խոչընդոտել են ֆլոտացման հավանականային կառավարման մոդելների մշակմանը: Այս հիմնահարցի լուծման արդյունավետ ուղիներից է ֆլոտացման վիճակագրական կամ ՓՄ մեթոդներով կառուցված մոդելի համակցումը ֆլոտացման գործընթացի արտաքին միջավայրի նմանակային մոդելի հետ, որն առանց դժվարության կարող է մոդելավորել հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի սարքավորումների խափանումների հետևանքով նրա ելքային բնութագրերի և սկզբնական հանքաքարի պարամետրերի պատահական փոփոխությունները: Համակցված մոդելավորման հենց այս մեթոդն էլ հաջողությամբ կիրառվել է սույն ատենախոսական աշխատանքում:

Եզրակացություններ 1-ին գլխի վերաբերյալ

1. Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգը բարդ տեխնիկական համակարգ է: Այն բնութագրվում է միմյանց հետ փոխկապված մեծաթիվ տարրերի առկայությամբ, որոնց գործունեությունը ինքնակարգավորվում է հետադարձ կապերով, միմյանց հետ փոխգործող բազմաթիվ բարդ միկրոգործընթացներով, զանազան փոխկապված, տարաբնույթ պատահական գործոններով, որոնց ազդեցության ներքո համակարգի գործունեության գործընթացը կրում է ակնհայտ հավանականային բնույթ:

2. Ֆլոտացման դասական հավանականային մոդելները հիմնված են խյուսի ֆլոտացման ժամանակ օդի պղպջակների հետ մասնիկների բախման, հարակցման և տարանջատման միկրոգործընթացների առաջացման հնարավորության վրա: Դրանք կարող են որպես գործիք ծառայել միկրո մակարդակի վրա ֆլոտացման գործընթացի նկարագրության կինետիկ մոդելի մշակման շրջանակներում:
3. Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի օպտիմալ կառավարման նպատակով գործնականում լայնորեն կիրառվում են դասական էմպիրիկ (վիճակագրական) մոդելները, որոնց կառուցման դեպքում ֆլոտացվող նյութերի քանակության, մուտքային և ելքային փոփոխականների միջև հավանականային կախվածությունը մոտարկվում է համապատասխան վիճակագրական մեթոդների օգնությամբ: Այս մոդելները հարմար են համարվում ինչպես առանձին վերցրած ֆլոտափացերի, այնպես էլ ամբողջ արտադրամասի նկարագրության համար, սակայն դրանց կառուցման ժամանակ ծագում են լուրջ դժվարություններ կապված ֆլոտացման գործընթացի վրա պատահական գործոնների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտության հետ:
4. Ինչպես ցույց է տալիս ակնարկում բերված հրապարակումների վերլուծությունը, փափուկ հաշվողական (ՓՀ) մեթոդներով կառուցված ֆլոտացման գործընթացների մոդելները վիճակագրական մոդելների համեմատ օժտված են համեմատաբար բարձր համարժեքությամբ: Սակայն այդ մեթոդները, որպես մոդելավորման գործիքներ, դեռևս կարիք ունեն լուրջ կատարելագործման, մասնավորապես բացակայում են այդ մեթոդների օգտագործմամբ ֆլոտացման գործընթացների մոդելների համարժեքության գնահատման միասնական, հստակ մեթոդներ, ինչի պատճառով ՓՀ մեթոդների կիրառությունը մեծամասամբ ունի հետազոտական բնույթ:
5. ՓՀ մեթոդների կիրառությամբ ֆլոտացման գործընթացների մոդելների մշակման ժամանակ թույլ տրվող մի շարք կոպիտ մոտավորությունների պատճառով կառուցված մոդելները կարելի է կիրառել միայն ֆլոտացման

գործընթացի առանձին փուլերի համար: Բացի այդ, չնայած արդյունաբերության մեջ մեխանիկական ֆլոտացման ունեցած գերակշիռ մասնաբաժնին, դրանց բարդության պատճառով ՓՀ մեթոդները դեռևս կիրառվում են գլխավորապես սյունային ֆլոտացման գործընթացների մոդելավորման դեպքում:

6. Հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգի կառավարման մոդելի բարձր համարժեքության ապահովման հիմնահարցի լուծման արդյունավետ ուղիներից է ֆլոտացման վիճակագրական կամ ՓՀ մեթոդներով կառուցված մոդելի համակցումը հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի սարքավորումների խափանումների հետևանքով նրա ելքային բնութագրերի և սկզբնական հանքաքարի պարամետրերի պատահական փոփոխությունները վերարտադրող նմանակային մոդելի հետ: Համակցված մոդելավորման հենց այս մեթոդն էլ ընտրվել և հաջողությամբ կիրառվել է սույն ատենախոսական աշխատանքում:

ԳԼՈՒԽ 2

ՊՂՆՁԱՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԽՆԴՐԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

2.1. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման խնդրի ձևայնացումը

Ինչպես նշվել է ներածությունում, պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացների անկատարության, ավտոմատ կարգավորման և ավտոմատացված համալիր կառավարման, ինչպես նաև հանքաքարի միջինացման արդիական համակարգերի բացակայության պատճառով մոլիբդենի և պղնձի զգալի մասը մնում են պոչանքների մեջ: Ինչպես ցույց է տալիս պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի վերամշակման գործնական փորձը [1, 5-8, 10, 112, 115-118], այդ բաղադրամասերի կորստի մոտ 6%-ը հետևանք է սկզբնական հանքաքարի և խյուսի բնութագրերի անկայունության ու ֆլոտացման գործընթացի պարամետրերի ոչ օպտիմալ արժեքների:

Հանքաքարի մանրացումը ֆլոտացման գործընթացին անմիջականորեն նախորդող և դրա արդյունավետությունը կանխորոշող կարևորագույն տեխնոլոգիական գործընթաց է, որի գործունեության որակը էապես կախված է մանրացնող սարքավորման հուսալիությունից: Աղացների, դասակարգիչների, գրունտային պոմպերի և այլ սարքավորումների հաճախակի խափանումների հետևանքով վատթարանում են ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերը՝ արտադրողականությունը (հանքաքարի ծախսը), հատիկաչափային բնութագիրը և ելքային խյուսի խտությունը: Դրա և սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի անկայունության հետևանքով, ինչպես ցույց է տալիս հարստացուցիչ ֆաբրիկաների շահագործման փորձը, զգալիորեն նվազում է հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի կառավարման ճշգրտությունը և արդյունավետությունը (շուրջ 10-15%-ով) [1, 10, 111-114, 116, 117, 118]:

Հանքանյութերից մոլիբդենի և պղնձի կորզման աստիճանի բարձրացման արդյունավետ ուղիներից է հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարումը՝ սկզբնական և մանրացված հանքաքարի բնութագրերի պատահական փոփոխության պայմաններում:

Ավանդական մոտեցման կիրառման դեպքում [1, 3-8] ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարումը հանգում է մաթեմատիկական ծրագրավորման դետերմինացված խնդրին՝ ըստ $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ ֆլոտացման կառավարող տեխնոլոգիական պարամետրերի $y = f(u, x)$ նպատակային ֆունկցիայի (արդյունավետության չափանիշի) էքստրեմումի որոնմանը, սկզբնական հանքաքարի և ֆլոտացման ենթարկվող խյուսի $x = (x_1, x_2, \dots, x_l)$ պարամետրերի տրված արժեքների դեպքում՝ հաշվի առնելով պարամետրերի ներքին և վերին արժեքների վրա դրված սահմանափակումները: Սակայն ինչպես սկզբնական հանքաքարի, այնպես էլ խյուսի բնութագրերը, որոնք որոշում են արտաքին միջավայրի վիճակը, մանրացնող սարքավորումների խափանումների և այլ պատահական գործոնների ազդեցության հետևանքով պատահական մեծություններ են: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդիրը անհրաժեշտ է դիտարկել որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր, քանի որ u վեկտորի յուրաքանչյուր արժեքի դեպքում $\tilde{y} = f(u, \tilde{x})$ նպատակային պատահական ֆունկցիայի արժեքները կախված են \tilde{x} պատահական վեկտորի իրացումներից: Եթե գիտափորձի արդյունքում արտաքին միջավայրի վիճակը հայտնի է դառնում, այսինքն՝ $\tilde{x} = x$, ապա տրված ֆիքսված x -ի դեպքում $u(x)$ որոշման ընտրությունը հանգում է սովորական մաթեմատիկական ծրագրավորման խնդրին՝

$$y = f(u, x) \rightarrow \underset{u}{ext} \quad (2.1)$$

$u \in U$ սահմանափակումների դեպքում:

Ընդհանուր դեպքում գիտափորձը լիովին չի որոշում արտաքին միջավայրի վիճակը, ուստի որոշումների ընտրության փուլերը կարող են հաջորդել արտաքին միջավայրի վիճակի դիտարկման փուլերին: Եթե u որոշումը դետերմինացված է և ընդունվել է \tilde{x} վիճակի դիտարկումից առաջ, ապա (2.1) առնչությունը ձեռք է բերում

որոշակի հավանականային իմաստ, քանի որ որոշ x_i -երի համար այն կարող է տեղի ունենալ, այլոց համար՝ ոչ [120, 121]:

Ելնելով վերոնշյալից՝ հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդիրն անհրաժեշտ է ձևակերպել որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր, որը հանգում է նպատակային ֆունկցիայի մաթեմատիկական սպասման էքստրեմումի որոնմանը.

$$M[f(u, \tilde{x})] \rightarrow \text{ext} \quad (2.2)$$

$u \in U$ սահմանափակումների դեպքում:

2.2. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելը

Առաջադրված խնդրի լուծման համար անհրաժեշտ է ընտրել ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության ցուցանիշը, այսինքն այն թվային բնութագիրը, որը քանակապես բնութագրում է ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգի գործունեության որակը: Նշենք, որ արդյունավետության ցուցանիշի ընտրությունը համակարգային վերլուծության կարևորագույն փուլերից է, քանի որ այն էականորեն ազդում է հետագուտվող համակարգի հատկությունների մեկնաբանման և օպտիմալացման խնդրի լուծման արդյունքների վրա:

Բազմաթիվ հեղինակների կողմից ցույց է տրված, որ արտադրական գործընթացների ամենաակնհայտ և համապիտանի արդյունավետության ցուցանիշը տնտեսական արդյունավետությունն է: [1, 3-8] աշխատանքներում առանձնացման գործընթացների արդյունավետության չափանիշների (թերմոդինամիկական, կինետիկական, տեխնոլոգիական, տնտեսական, վիճակագրական) խորը և համակողմանի վերլուծության հիման վրա ցույց է տրված, որ հանքահարստացման գործընթացների արդյունավետության չափանիշներին ներկայացվող պահանջներին առավելագույնս բավարարում է շահույթը: Այն բնութագրում է միջանկյալ գործընթացների արդյունավետությունը խտանյութերի արտադրության վերջնական նպատակի տեսանկյունից, հաշվի է առնում թողարկվող արտադրանքի քանակը և որակը, օգտակար

բաղադրիչների կորզումը և այլն: Շահույթը զգայուն է ապրանքային արտադրանքի գների փոփոխության նկատմամբ, ուստի հաշվի է առնում տնտեսական պայմանների փոփոխությունը և տեխնիկական առաջընթացը:

Շահույթը, ըստ էության, ֆունկցիոնալ է ֆլոտացման պատահական գործընթացից, այսինքն՝ կախված է որոշակի ժամանակահատվածում (մեկ աշխատանքային հերթափոխում) այդ գործընթացի իրացումներից, ինչը հիմնավորում է համակարգային մոտեցման տեսանկյունից դրա կիրառելիությունը որպես արդյունավետության չափանիշ:

Վերոնշյալը հիմնավորում է պղնձամոլիբդենային խտանյութերի արտադրությունից ստացվող շահույթի ընտրությունը՝ որպես ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության ցուցանիշ:

Հարկ է նշել, որ շահույթից (y_1) բացի ֆլոտացման արդյունավետությունը բնութագրվում է նաև մի շարք այլ տեխնոլոգիական ցուցանիշներով, որոնցից առավել կարևորներն են համապատասխան խտանյութում մոլիբդենի և պղնձի պարունակության տոկոսներն (y_2, y_3) ու կորզման տոկոսները (y_4, y_5): Այդ ցուցանիշների վրա, որոնք նույնպես կախված են u և x վեկտորներից, նույնպես դրվում են սահմանափակումներ՝ դրանց արժեքները չպետք է ցածր լինեն պլանայինից: Այդ դեպքում ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդիրը, որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր, հանգում է նպատակային ֆունկցիայի մաթեմատիկական սպասման առավելարկմանը u վեկտորի և y_2, y_3, y_4, y_5 ցուցանիշների վրա դրված սահմանափակումների դեպքում [112, 122]:

$$\begin{cases} M[\tilde{y}_1] = M[f_1(u, \tilde{x})] \rightarrow \max_{u \in U}, \\ \tilde{y}_2 = f_2(u, \tilde{x}) \geq \beta_{Mo}, \\ \tilde{y}_3 = f_3(u, \tilde{x}) \geq \varepsilon_{Mo}, \\ \tilde{y}_4 = f_4(u, \tilde{x}) \geq \beta_{Cu}, \\ \tilde{y}_5 = f_5(u, \tilde{x}) \geq \varepsilon_{Cu}, \end{cases} \quad (2.3)$$

որտեղ β_{Mo} -ը, ε_{Mo} -ը, β_{Cu} -ը, ε_{Cu} -ը y_2, y_3, y_4, y_5 ցուցանիշների պլանային արժեքներն են:

Հաշվի առնելով դրված խնդրի բարդությունը՝ նպատակահարմար է այն լուծել քոմփյուտերային մոդելավորման մեթոդով:

Ինչպես ցույց են տալիս նախկինում կատարված հետազոտությունների արդյունքները [1, 10, 111-118], ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետությունը, այլ գործոններից բացի, էականորեն կախված է սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերից, որոնց վրա զգալի ազդեցություն ունեն սարքավորումների խափանումները: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելի բարձր համարժեքություն ապահովելու նպատակով նրա կազմում անհրաժեշտ է ներառել սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման մոդելը և ՀՄՏՀ-ի գործունեության քոմփյուտերային մոդելը, որը հաշվի է առնում սարքավորումների խափանումների ազդեցությունը:

Առաջարկված ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդրի (2.3) մաթեմատիկական մոդելը, ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի քոմփյուտերային մոդելը, ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման մոդելը և սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը ընդգրկված են ԶՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելի կազմում: Նշված մոդելի կազմի մեջ մտնող ՀՄՏՀ-ի քոմփյուտերային մոդելն իրենից ներկայացնում է հետևյալ երկու մոդելների բաղադրույթ.

- ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի հավանականային նմանակային մոդել,
 - ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի դետերմինացված քոմփյուտերային մոդել,
- ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային

մոդելը ձևավորում է մանրացման սարքավորումների խափանումների և վերականգնումների հավանականային գործընթացը սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և դրանց վերականգնման բաշխման ֆունկցիաներին համապատասխան:

ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի դետերմինացված քոմփյուտերային մոդելն եռամակարդակ հիերարխիկ համակարգ է, որը նմանակում է մանրացման ագրեգատների, մանրացման համալիրների և համակարգային նկարագրության

մակարդակներում ՀՄՏՀ-ի գործունեությունը՝ տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ազդեցության ներքո:

ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման դետերմինացված մոդելը մանրացման համակարգի նմանակման ընթացքում ձևավորված ելքային բնութագրերի ակնթարթային արժեքների և հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի ու դրանց վերականգնման ժամանակի պատահական արժեքների հիման վրա ձևավորում է ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի արժեքները:

2.3. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի կառուցման մեթոդների համեմատական վերլուծությունը

Ինչպես նշվել է 1-ին գլխում, ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացների մոդելների կառուցումը հաճախ իրականացվում է վիճակագրական մեթոդներով, գիտափորձերի արդյունքում ստացված փորձնական տվյալների հիման վրա: Փորձնական տվյալներով մոդելի մշակումը հանգում է օբյեկտի մուտքային և ելքային փոփոխականների միջև կախվածության կառուցմանը՝ օգտագործելով տարբեր մոդելավորման մեթոդներ: Այդ կապակցությամբ ծագում է մրցակցող մոդելավորման մեթոդներից լավագույնի ընտրության խնդիրը [14, 8, 9, 25, 123, 124]: Սովորաբար մոդելավորման մեթոդների արդյունավետությունը գնահատվում է որոշակի օբյեկտի դիտարկման արդյունքում ստացված վիճակագրական ընտրանքի օգտագործմամբ մրցակցող մեթոդներով կառուցված մոդելների համեմատման միջոցով: Սակայն այդ մեթոդը թույլ է տալիս համեմատել մրցակցող մեթոդները դրանց միջոցով կառուցված մոդելների միայն կանխատեսող հատկությունների տեսանկյունից, և որևիցե պատկերացում չի տալիս մոդելավորվող օբյեկտի ֆիզիկական օրինաչափությունների ու մոդելների համապատասխանության մասին:

Քոմփյուտերային մոդելավորման ժամանակակից մակարդակը թույլ է տալիս օգտագործել նմանակային գիտափորձերը որպես նույնականացման չափանիշների և ամբողջությամբ վերցրած մոդելավորման ալգորիթմների արդյունավետության

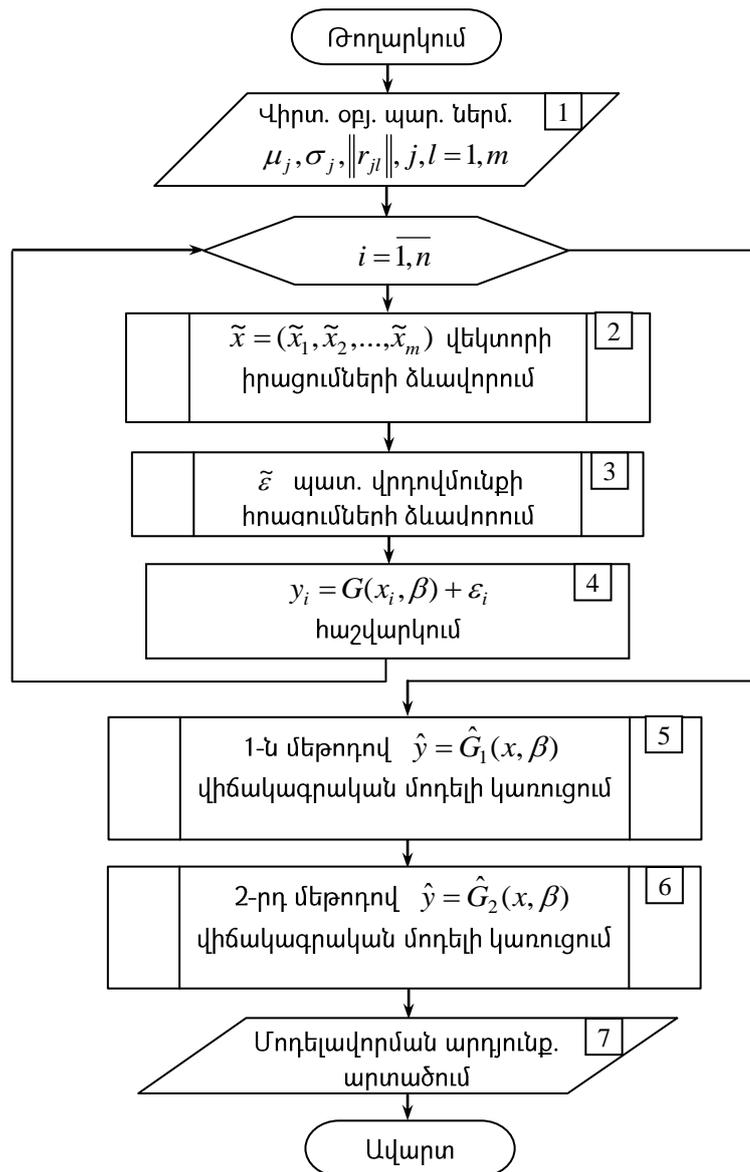
հետազոտման հզոր գործիք [125, 126]: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ աշխատանքում, մոդելավորվող օբյեկտների ֆիզիկական և համակարգային օրինաչափությունների բացահայտման հնարավորության տեսանկյունից մոդելավորման տարբեր մեթոդների արդյունավետությունը գնահատելու նպատակով, առաջարկվում է օգտագործել վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելով իրականացված քոմպյուտերային գիտափորձերի արդյունքները [127, 128, 129]: Որպես մոդելավորման վիրտուալ օբյեկտ դիտարկվել է դասական ռեգրեսիոն վերլուծության մեջ օգտագործվող հավանականային պոստուլացված մոդելը [130],

$$\tilde{y} = G(\tilde{x}, \beta) + \tilde{\varepsilon}, \quad (2.4)$$

որտեղ $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ -ը մուտքային (անկախ) փոփոխականների վեկտորն է, \tilde{y} -ը ելքային (կախյալ) փոփոխականն է, $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ -ն մոդելի անհայտ գործակիցների վեկտորն է, $\tilde{\varepsilon}$ -ը պատահական մեծություն է, որը ձևականորեն հաշվի է առնում պատահական գործոնների ազդեցությունը (պատահական վրդովմունք, սխալ, աղմուկ): Ենթադրվում է, որ ինչպես մոդելի փոփոխականները, այնպես և պատահական վրդովմունքը նորմալ են բաշխված ($M[\tilde{\varepsilon}] = 0$, $\sigma_{\tilde{\varepsilon}}^2 = \sigma^2 = const$):

Վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելը, որի բլոկ-սխեման բերված է նկ. 2.1-ում, գործում է հետևյալ կերպ: Թիվ 1 բլոկն իրականացնում է մոդելավորման ելակետային տվյալների ներմուծումը՝ վիրտուալ օբյեկտի մուտքային փոփոխականների μ_j ($j = \overline{1, m}$) մաթեմատիկական սպասումների և σ_j ($j = \overline{1, m}$) միջին քառակուսային շեղումների արժեքները, մուտքային փոփոխականների միջև կորելյացիոն մատրիցը՝ $\|r_{ij}\|, (i, j = \overline{1, m})$, ε պատահական վրդովմունքի σ_{ε} պարամետրի արժեքը և նմանակային գիտափորձի արդյունքում ձևավորվելիք վիճակագրական տվյալների պահանջվող n քանակը: Դրանից հետո թիվ 2-4 բլոկներն իրականացնում են հետազոտվող վիրտուալ օբյեկտի նմանակումը (2.4) առնչությանը համապատասխան, այսինքն՝ ձևավորում է $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ մուտքային փոփոխականների վեկտորի և $\tilde{\varepsilon}$ պատահական վրդովմունքի հնարավոր իրացումները, որից հետո թիվ 4 բլոկը $G(x, \beta)$ ֆունկցիայի համապատասխան ձևավորում է \tilde{y} ելքային փոփոխականի հնարավոր արժեքները:

Այնուհետև, հետազոտվող վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելավորման արդյունքում ստացված $\{(\tilde{x}_{1i}, \tilde{x}_{2i}, \dots, \tilde{x}_{mi}, y_i) : i = \overline{1, n}\}$ վիճակագրական տվյալների հիման վրա թիվ 5,6 բլոկները մրցակցող մեթոդներով իրականացնում են վիրտուալ օբյեկտի վիճակագրական մոդելների կառուցումը, իսկ թիվ 7 բլոկը արտաձում է մոդելավորման արդյունքները: $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ պատահական վեկտորի հնարավոր իրացումների ձևավորումն իրականացվում է չվերասերված բազմաչափ նորմալ բաշխման մեթոդով [131, 132]:



Նկ. 2.1. Վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելի բլոկ-սխեման

Այն հիմնվում է մուտքային փոփոխականների միջև C կովարիացիոն մատրիցի օգտագործման վրա, որի տարրերը հաշվարկվում են հետևյալ բանաձևով.

$$c_{ij} = r_{ij}\sigma_i\sigma_j, \quad (2.5)$$

որտեղ σ_i -ն և σ_j -ն $\tilde{x}_i, \tilde{x}_j (i, j = \overline{1, m})$ մուտքային փոփոխականների միջին քառակուսային շեղումներն են, իսկ r_{ij} -ն՝այդ փոփոխականների միջև կորելյացիայի գործակիցն է:

Ինչպես հայտնի է [131, 132] վերոնշյալ բնութագրերով \tilde{x} պատահական վեկտորը կարելի է ստանալ նորմալ բաշխված չափակարգված $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_m)$ վեկտորի հատուկ գծային ձևափոխության միջոցով, որի բաղադրիչները $\mu_i = 0, \sigma_i = 1 (i = \overline{1, m})$ պարամետրերով նորմալ բաշխված պատահական մեծություններ են.

$$\tilde{x} = A \cdot \tilde{z} + \mu. \quad (2.6)$$

A մատրիցի a_{ij} տարրերը որոշվում են հետևյալ անդրադարձ առնչությամբ.

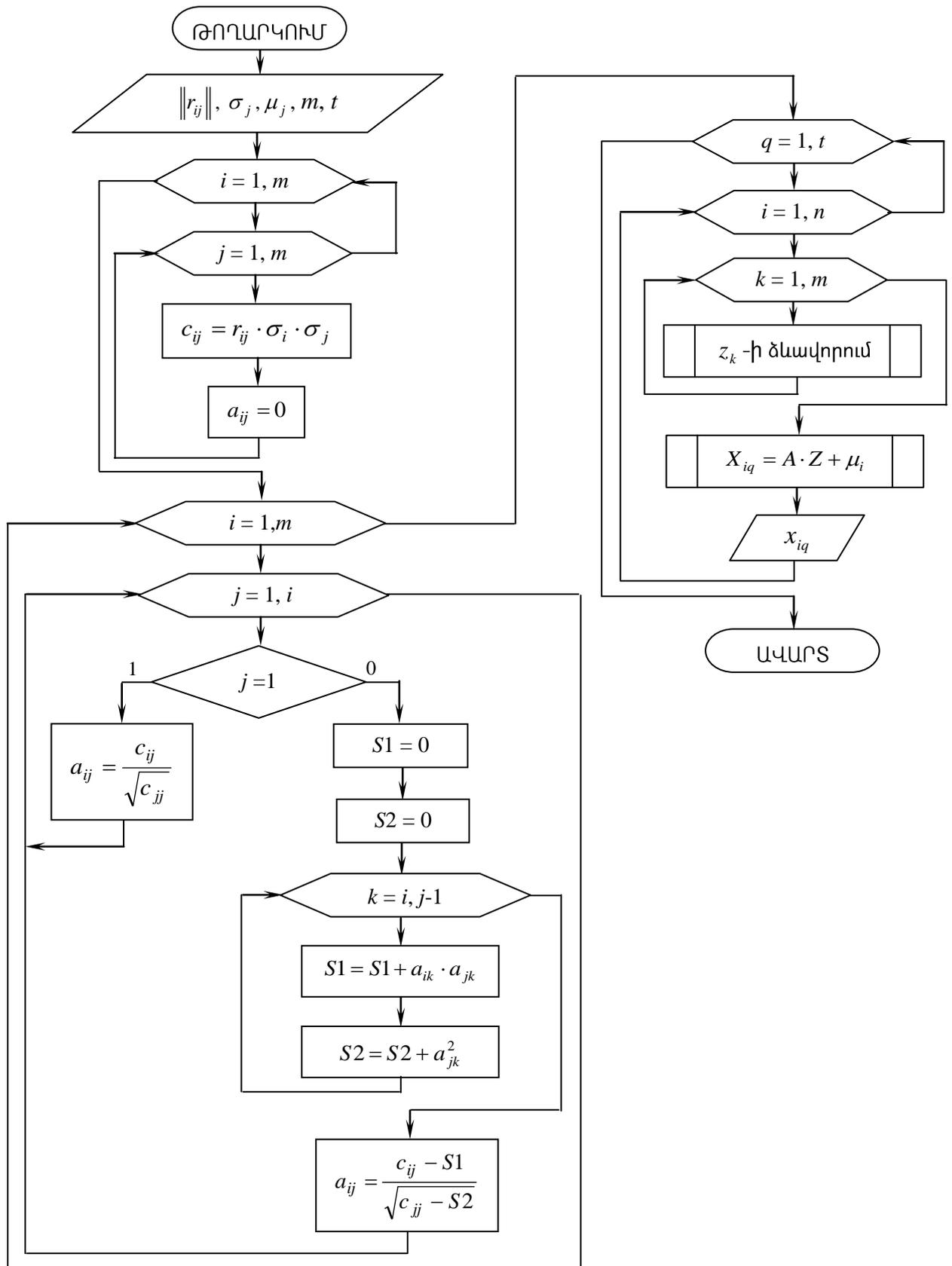
$$\begin{aligned} a_{11} &= \sqrt{c_{11}}, \\ a_{22} &= \sqrt{c_{22} - \frac{c_{21}^2}{c_{11}}}, \\ a_{21} &= \frac{c_{12}}{a_{11}} = \frac{c_{12}}{\sqrt{c_{11}}}, \end{aligned}$$

որն ընդհանուր դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝

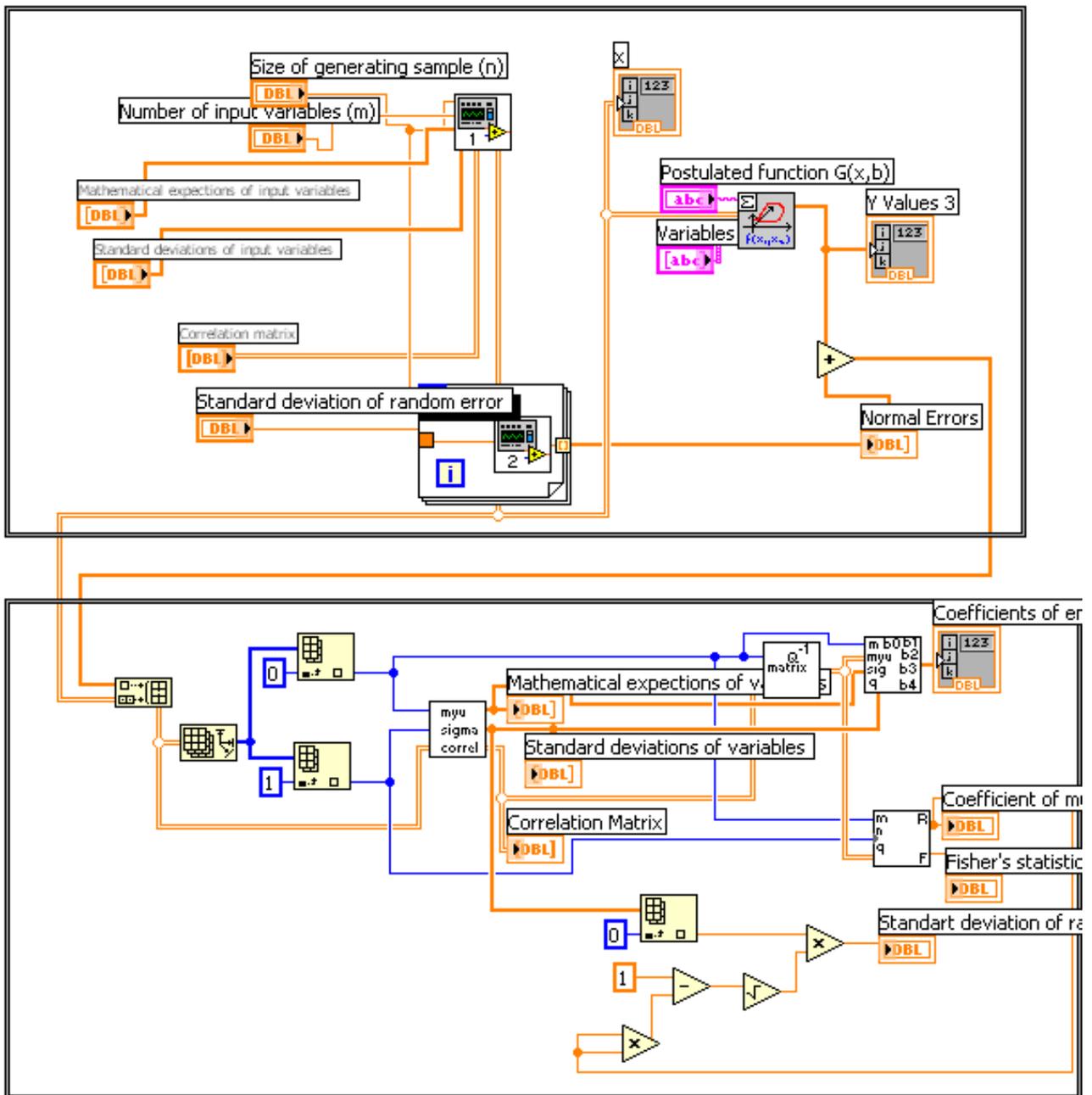
$$a_{ij} = \frac{c_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} \cdot a_{jk}}{\sqrt{c_{jj} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{jk}^2}}, \quad \left(\sum_{k=1}^0 a_{ik} \cdot a_{jk} = 0 \right), 1 \leq j \leq i \leq m \quad (2.7)$$

Չվերասերված բազմաչափ նորմալ բաշխման մեթոդով պատահական վեկտորի հնարավոր իրացումների ձևավորման ալգորիթմի բլոկ-սխեման բերված է նկ. 2.2-ում:

Վիրտուալ ստատիկ օբյեկտի նմանակային մոդելի բլոկ-դիագրամը, որն իրականացված է LabVIEW ծրագրային միջավայրում, բերված է նկ. 2.3-ում: Մոդելը հնարավորություն է ընձեռում նաև հետազոտել վիրտուալ օբյեկտի պարամետրերի ազդեցությունը նմանակային գիտափորձերի արդյունքում կառուցված մոդելների համարժեքության և վիճակագրական նշանակալիության վրա:



Նկ.2.2. \tilde{x} վեկտորի հնարավոր իրացումների ձևավորման ավտորիթմի բլոկ-սխեման



Նկ.2.3. Վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելի բլոկ-դիագրամը

Առաջարկված վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելի գործնական կիրառությունը ցուցադրված է արգումենտների խմբային հաշվառման (ԱԽՀ) և քայլային ռեգրեսիոն մեթոդների համեմատման օրինակի վրա [124, 127, 128, 129]:

Հայտնի է, որ մոդելավորման հիմնական խնդիրը, մասնավորապես օբյեկտների նույնականացումը, պատահական գործոնների և վիճակագրական աղմուկի առկայության դեպքում օբյեկտի օրինաչափության բացահայտումն է, այլ ոչ միայն

մոդելի կանխատեսման հատկության ապահովումը, ինչի վրա մեծ ուշադրություն է դարձվում մոդելավորման մի շարք մեթոդների, մասնավորապես ԱԽՀՄ-ի դեպքում: Նկատենք, որ ԱԽՀՄ-ի կիրառումը չափումների ոչ մեծ սխալների դեպքում նույնպես թույլ է տալիս հայտնաբերել օրինաչափությունները:

Տարբեր օբյեկտների մուտքային և ելքային փոփոխականների միջև գոյություն ունեցող կախվածությունների բացահայտման կարողության տեսանկյունից քայլային ռեգրեսիայի մեթոդի և ԱԽՀՄ-ի կիրառման արդյունավետության համեմատման նպատակով իրականացվել են քումփյութերային գիտափորձեր վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելի կիրառությամբ [123, 124, 129]:

(2.4) առնչությամբ տրված հետազոտվող վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելավորման արդյունքում ստացված վիրտուալ վիճակագրական տվյալների՝ $\{(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}, y_i) : i = \overline{1, n}\}$ ընտրանքի հիման վրա քայլային ռեգրեսիոն մեթոդով և ԱԽՀ մեթոդով կառուցվել են M_n ռեգրեսիոն և $M_{\text{ԱԽՀ}}$ հիերարխիկ բազմամակարդակ մոդելները և հաշվարկվել են դրանց R_n^2 և $R_{\text{ԱԽՀ}}^2$ դետերմինացիայի գործակիցները: Նմանակային գիտափորձերի ընթացքում դիտարկվել են գծային առաջին կարգի և քառակուսային $G(x, \beta)$ ֆունկցիաներ, $\hat{\sigma}^2/\hat{\sigma}_y^2 = (0, \dots, 0, 5)$ հարաբերության և $n = (50, \dots, 1000)$ իրացումների տարբեր արժեքների դեպքում: Վիրտուալ օբյեկտի $G(x, \beta)$ քառակուսային ֆունկցիաներով ռեգրեսիոն մոդելների կառուցման ժամանակ դիտարկվել են լրացուցիչ փոփոխականներ, որոնք իրենցից ներկայացնում են սկզբնական փոփոխականների առաջին կարգի քառակուսային ձևերը:

Նմանակային գիտափորձերի արդյունքում կառուցված ռեգրեսիոն մոդելները միշտ համընկել են դիտարկվող $G(x, \beta)$ ինչպես առաջին կարգի, այնպես էլ երկրորդ կարգի ֆունկցիաների (բազմանդամ) հետ: \hat{R}^2 գործակցի արժեքները գտնվում են 0,5...0,81 սահմաններում և հիմնականում կախված են $r_{x_j, y}$ կորելյացիայի գործակիցներից և $\hat{\sigma}^2/\hat{\sigma}_y^2$ հարաբերակցության մեծությունից:

ԱԽՀ մեթոդով կառուցված մոդելները համընկել են դիտարկվող ֆունկցիաների հետ միայն պատահական վրդովմունքի աննշան մակարդակի կամ դրա բացակայության դեպքում ($\hat{\sigma}^2/\hat{\sigma}_y^2 = 0, \dots, 0,05$): $\hat{\sigma}^2/\hat{\sigma}_y^2$ հարաբերության մեծ արժեքների

դեպքում ԱԽՀ մեթոդով կառուցված մոդելները, չնայած $R_{\text{ԱԽՀ}}^2$ մեծ արժեքներին, չեն համընկել դիտարկվող ֆունկցիաների հետ, ունեցել են հիերարխիկ բազմամակարդակ (մինչև 5-7) կառուցվածք և սկզբնական մուտքային փոփոխականների բավական բարձր կարգ (8,...,14): Ընդ որում $R_{\text{ԱԽՀ}}^2$ գործակցի արժեքը նվազում է $\hat{\sigma}^2/\hat{\sigma}_y^2$ արժեքի նվազմանը զուգընթաց՝ մնալով ռեգրեսիոն մոդելների R_n^2 գործակցի արժեքներից մեծ: ԱԽՀ մեթոդով կառուցված մոդելների բարձր կանխատեսման հատկությունը հատկապես ի հայտ է գալիս մուտքային փոփոխականների քանակին համաչափելի փոքր ընտրանքների դեպքում, որոնք ստացվել են ոչ մեծ վիճակագրական աղմուկի առկայության դեպքում: Հաշվի առնելով արտադրական գործընթացների վիճակագրական մոդելների մշակման գործնական փորձը և նմանակային գիտափորձերի միջոցով ստացված արդյունքների համեմատական վերլուծությունը՝ կարելի է կատարել հետևյալ եզրակացությունները:

- ԱԽՀ մեթոդով կառուցված մոդելների համեմատաբար ճշգրիտ կանխատեսման հատկությունը ապահովվում է ինչպես մոդելի օպտիմալ կառուցվածքի ընտրությամբ, այնպես էլ պատահական վրդովմունքի նկարագրության հաշվին, ինչը, նմանակային գիտափորձերում $G(x, \beta)$ պոստուլացված ֆունկցիաների հետ մոդելների չհամընկնման հիմնական պատճառն է:
- ԱԽՀ մեթոդով կառուցված վիճակագրական հիերարխիկ բազմամակարդակ մոդելները բավական մեծածավալ են և բարդ, ինչի պատճառով, չնայած լավ կանխատեսման հատկությանը, գործնականում քիչ են պիտանի տեխնոլոգիական գործընթացների օպերատիվ կառավարման նպատակով օգտագործման համար:
- ԱԽՀ-ն նպատակահարմար է օգտագործել այնպիսի օբյեկտների վիճակագրական մոդելների կառուցման ժամանակ, որոնց փոփոխականները կարող են չափվել բարձր ճշգրտությամբ և բացառվում է ռեգրեսիոն մոդելների կառուցման համար անհրաժեշտ քանակությամբ վիճակագրական տվյալների ստացման հնարավորությունը:
- Ժամանակակից ավտոմատացված տեխնոլոգիական գործընթացների մուտքային և ելքային փոփոխականները փոփոխվում են ոչ մեծ սահմաններում,

որոնց դեպքում միանգամայն բավարար է մաթեմատիկական մոդելների դիտարկումը երկրորդ կարգի $G(x, \beta)$ բազմանդամի տեսքով: Չնայած \hat{R}^2 գործակցի համեմատաբար ոչ բարձր արժեքներին, այդ մոդելները համարժեք են հետազոտվող տեխնոլոգիական գործընթացներին և պիտանի են դրանց կառավարման համար:

- Առաջարկված վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդելով իրականացված գիտափորձերի տվյալներով կառուցված մոդելների համեմատման արդյունքում հաստատվել է, որ քայլային ռեգրեսիայի մեթոդի կիրառությունը ապահովում է տրված ստատիկ օբյեկտի ֆիզիկական ու համակարգային օրինաչափությունների արտացոլման տեսանկյունից առավել համարժեք վիճակագրական մոդելի կառուցումը, որն օժտված է համարժեքության և բարդության փոխզիջման տեսակետից օպտիմալ կառուցվածքով:

Հարկ է նշել, որ ԱԽՀՄ-ն, որը վերջին ժամանակներս կիրառվում է կանխատեսման նեյրոցանցային մեթոդներում, դիտարկվում է որպես ռեգրեսիոն վերլուծության հետագա զարգացում [133]:

Եզրակացություններ 2-րդ գլխի վերաբերյալ

1. Հիմնավորվել է հանքանյութերի ֆլոտացման օպտիմալ կառավարման խնդիրը որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր դիտարկելու անհրաժեշտությունը և նպատակահարմարությունը, ցույց է տրված այդ խնդրի լուծման դեպքում հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՀ-ի ելքային բնութագրերի փոփոխությունների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտությունը:
2. Հիմնավորվել է պղնձամոլիբդենային խտանյութերի արտադրությունից ստացվող շահույթի՝ որպես ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության ցուցանիշի ընտրությունը:

3. Մշակվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդել, որը, շնորհիվ ֆլոտացման արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի պատահական փոփոխությունների ազդեցության հաշվառման, դետերմինացված խնդրի մոդելի համեմատ օժտված է ավելի բարձր համարժեքությամբ:
4. Հիմնավորվել է հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման նպատակով քոմփյուտերային մոդելավորման կիրառման նպատակահարմարությունը: Որոշվել են հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելի կազմը և կառուցվածքը:
5. Առաջարկվել է ստատիկ վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդել, որը հնարավորություն է ընձեռում քոմփյուտերային գիտափորձերի միջոցով գնահատել մոդելավորման մրցակցող մեթոդների արդյունավետությունը մոդելավորվող օբյեկտի ֆիզիկական ու համակարգային օրինաչափությունների արտացոլման հնարավորության տեսանկյունից: Առաջարկված նմանակային մոդելի գործնական կիրառությունը ցուցադրվել է ԱԽՀՄ-ի և քայլային ռեգրեսիոն մեթոդի համեմատման օրինակի վրա: Մոդելով կատարված նմանակային գիտափորձերի արդյունքների համեմատման միջոցով հաստատվել է, որ քայլային ռեգրեսիայի մեթոդը ապահովում է մոդելավորվող գործընթացի ֆիզիկական օրինաչափությունները առավել համարժեքորեն արտացոլող մոդելի կառուցում, որն օժտված է բարդության և համարժեքության փոխզիջման տեսանկյունից լավագույն կառուցվածքով:

ԳԼՈՒԽ 3

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԻ ԿԱՌՈՒՑՈՒՄԸ

3.1. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ձևայնացումը

Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի նկարագրությունը բերված է հավելված 1-ում: Համակարգի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ձևայնացման նպատակով առանձնացվել են հետևյալ սարքավորումները.

- 1) МШР-3200x3800 և МШР-3200x3100 տիպերի գնդաղացներ,
- 2) երկսպիրալ 2KCH-2,4 տիպի դասակարգիչներ,
- 3) միասպիրալ KCH-2,0 տիպի դասակարգիչներ,
- 4) աղացամեքենաների յուղման համակարգեր,
- 5) ГрАК 350/40 տիպի գրունտային պոմպեր,
- 6) ГрАК 1600/50 տիպի գրունտային պոմպեր,
- 7) MMC 70-23 տիպի ինքնաղացներ,
- 8) հիդրոցիկլոնների բլոկներ,
- 9) սնուցիչներ,
- 10) փոխադրիչներ:

Համաձայն [10, 111, 113] աշխատություններում առաջարկված ձևայնացման ընթացակարգի, ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ձևայնացման նպատակով դրանց համար առանձնացվում են հուսալիության տեսանկյունից միմյանցից տարբեր հետևյալ վիճակները.

- աղացների, դասակարգիչների, աղացների յուղման համակարգերի, հիդրոցիկլոնների բլոկների, սնիչների, փոխադրիչների համար. «1»՝ աշխատունակ վիճակ, «0»՝ անաշխատունակ (խափանված) վիճակ, երբ տարրը

վերականգնվում է, «2»՝ անաշխատունակ վիճակ, երբ տարրը գտնվում է վերականգնման հերթում,

- 12 դյույմանոց ГрАК 1600/50 տիպի գրունտային պոմպերի համար. «1»՝ աշխատունակ վիճակ, «0»՝ անաշխատունակ վիճակ, երբ տարրը վերականգնվում է,
- 8 դյույմանոց ГрАК 350/40 տիպի գրունտային պոմպերի համար. «1»՝ աշխատունակ վիճակ, երբ տարրը գործում է, «0»՝ անաշխատունակ վիճակ, երբ տարրը վերականգնվում է, «2»՝ աշխատունակ վիճակ, երբ տարրը գտնվում է պահուստային վիճակում:

Այսպիսով, ձևականորեն, ՀՄՏՀ-ի յուրաքանչյուր $E_i^0 (i = \overline{1, n})$ տարր ժամանակի ցանկացած t պահին կարող է գտնվել $z_i(t) \in Z_i = \{0, 1, \dots, k_i\}$ հնարավոր վիճակներից որևիցե մեկում: Ժամանակի ընթացքում արտաքին և ներքին պատահական գործոնների ազդեցության հետևանքով համակարգի տարրերը մի վիճակից անցնում են այլ վիճակի: Համակարգի յուրաքանչյուր E_i^0 տարրի $z_i(t)$ վիճակների հաջորդական փոփոխությունը դիտարկվում է որպես նրա աշխատունակության փոփոխության ձևայնացված գործընթաց: Տարրերի $z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)$ վիճակների կարգավորված համախումբը ժամանակի ցանկացած t պահին միարժեքորեն որոշում է համակարգի $z(t) \in Z$ վիճակը որպես z_1, z_2, \dots, z_n կոորդինատներով $Z = \prod_{i=1}^n Z_i$ տարածության «կետ»:

Տարրերի մի վիճակից այլ վիճակ անցնելու արդյունքում տեղի է ունենում ամբողջությամբ վերցրած համակարգի $z(t)$ վիճակի փոփոխություն: Դիսկրետ վիճակների Z տարածությամբ և անընդհատ ժամանակով n չափանի $Z(t) = \{z(t)\}$ պատահական գործընթացը դիտարկվում է որպես ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության ձևայնացված սկզբնական գործընթաց: Տարրերի խափանումների անկախության դեպքում այդ գործընթացը կարելի է համարել տրված, եթե հայտնի են տարրերի τ_p աշխատաժամանակի և վերականգնման τ_B ժամանակի հավանականությունների բաշխման $G_i(\tau_p), F_i(\tau_B) (i = \overline{1, n})$ ֆունկցիաները:

Անհրաժեշտ է նշել, որ ՀՄՏՀ-ի գործունեության որակի վրա տարրերի աշխատունակության ազդեցության տեսակետից վերը դիտարկված որոշ վիճակներ

գործնականորեն չեն տարբերվում միմյանցից: Դրանց առանձնացումը անհրաժեշտ է միայն $z(t)$ գործընթացի նմանակման համար: Այդ պատճառով $z(t)$ գործընթացի նմանակումից հետո նպատակահարմար է սկզբնական վիճակներից անցնել խոշորացված $y_i^0 \in \{0,1\}$ վիճակների: Յուրաքանչյուր տարրի վիճակների խոշորացումը ձևականորեն կարելի է նկարագրել հետևյալ միարժեք օպերատորով

$$y_i^0(t) = W_i(z_i(t)) \quad (3.1)$$

Z_i որոշման տիրույթով և $Y_i^0 = \{0,1\}$ արժեքների բազմությամբ:

12 դյույմանոց գրունտային պոմպերի համար W_i օպերատորն ունի հետևյալ տեսքը

$$y_i^0(t) = \begin{cases} 1, & z_i(t) \neq 0, \\ 0, & z_i(t) = 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

Մնացած տարրերի համար W_i օպերատորներն ունեն հետևյալ տեսքը

$$y_i^0(t) = \begin{cases} 1, & z_i(t) = 1, \\ 0, & z_i(t) \neq 1. \end{cases} \quad (3.3)$$

$Z(t)$ սկզբնական գործընթացի խոշորացման արդյունքում ստացված ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության $Y^0(t) = \{y^0(t)\}$ պատահական գործընթացը նկարագրվում է հետևյալ օպերատորով

$$y^0(t) = W(z(t)), \quad (3.4)$$

որտեղ W -ն $W_i (i = \overline{1, n})$ օպերատորների համախումբն է:

Այսպիսով, $Y^0(t)$ պատահական գործընթացի նմանակումը հանգում է $Z_i(t) (i = \overline{1, n})$ պատահական գործընթացների նմանակմանը և հետագա խոշորացմանը համաձայն՝ (3.2) և (3.3) առնչությունների՝ հաշվի առնելով դրանց փոխգործողությունը:

3.2. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատանքի ժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների նույնականացումը

Ինչպես նշվել է նախորդ գլխում, հանքաքարի մանրացումը հանքանյութերի ֆլոտացմանը նախապատրաստող կարևոր տեխնոլոգիական գործընթացներից է, որն

անմիջականորեն նախորդում է հանքաքարի ֆլուտացման գործընթացին և մեծապես կանխորոշում է դրա արդյունավետությունը: Հարստացուցիչ ֆաբրիկաների շահագործման գործնական փորձը ցույց է տալիս [1, 10, 111-118], որ ֆլուտացման արդյունավետությունը նկատելիորեն նվազում է սարքավորումների խափանումների հետևանքով հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի ելքային բնութագրերի վատթարացման պատճառով: Ուստի հանքանյութերի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման մոդելի համարժեքության բարձրացման նպատակով մոդելի կազմում նախատեսվում է ներառել ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի նմանակային մոդել, որը հաշվի է առնում սարքավորումների աշխատունակության փոփոխությունը: Ըստ [10, 111, 112, 117] աշխատությունների, այդ մոդելն երկու մոդելների բաղադրույթ է: Դրանցից առաջինը վերարտադրում է սարքավորումների խափանումների առաջացման և վերականգնման գործընթացը, երկրորդը նմանակում է հիշյալ գործընթացի ազդեցության ներքո ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացը:

Ակնհայտ է, որ նշված մոդելներից առաջինի կառուցման համար անհրաժեշտ է ունենալ ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների հարևան խափանումների միջև τ_p աշխատաժամանակի, խափանված սարքավորումների τ_e վերականգնման ժամանակի $g_i(\tau_p)$ -ի ու $f_i(\tau_e)$ -ի հավանականությունների բաշխման խտության ֆունկցիաները: Քանի որ ներկայումս բացակայում են ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների համար հիշյալ բաշխման ֆունկցիաների նույնականացմանը նվիրված հրապարակումները, ուստի դրանց բացահայտման նպատակով անհրաժեշտ է ՀՄՏՀ-ի շահագործման ընթացքում հավաքել և մշակել սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և խափանված սարքավորումների վերականգնման ժամանակի վերաբերյալ վիճակագրական տվյալներ:

3.2.1. Հանքաքարի մանրացման սարքավորումների հուսալիության վերաբերյալ վիճակագրական տվյալների հավաքումը և նախնական մշակումը

Մանրացման համակարգի տարրերի $g_i(\tau_p)$ -ի ու $f_i(\tau_e)$ -ի ֆունկցիաների բացահայտման նպատակով ԶՊՄԿ-ի աշխատակիցների հետ համատեղ 2010-2013թթ. ընթացքում հավաքվել են վիճակագրական տվյալներ մանրացման համակարգի սարքավորումների խափանումների և վերականգնումների վերաբերյալ [134, 135]:

Վիճակագրական տվյալների հավաքման ռացիոնալ կազմակերպման նպատակով ՀՄՏՀ-ում առանձնացվել են միատիպ տարրերի (սարքավորումների) հետևյալ խմբերը, որոնք աշխատում են միևնույն ռեժիմում և շահագործման պայմաններում:

- 1) ՄՄՄՄ-3200x3800 տիպի առաջին փուլի աղացներ,
- 2) ՄՄՄՄ-3200x3800 տիպի երկրորդ փուլի աղացներ,
- 3) ՄՄՄՄ-3200x3100 տիպի առաջին փուլի աղացներ,
- 4) ՄՄՄՄ-3200x3100 տիպի երկրորդ փուլի աղացներ,
- 5) Երկսպիրալ 2KCH-2,4 տիպի դասակարգիչներ,
- 6) միասպիրալ KCH-2,0 տիպի դասակարգիչներ,
- 7) աղացամեքենաների յուղման համակարգեր,
- 8) ԴՐԱԿ 350/40 տիպի գրունտային պոմպեր,
- 9) ԴՐԱԿ 1600/50 տիպի գրունտային պոմպեր,
- 10) ՄՄՄ 70-23 տիպի ինքնաղացներ,
- 11) հիդրոցիկլոնների բլոկներ,
- 12) սնուցիչներ,
- 13) փոխադրիչներ:

Վիճակագրական տվյալների հավաքումը առավել հուսալի տարրերի խմբի համար շարունակվել էր մինչև 100 խափանման գրանցումը: Տվյալների նշված ծավալի ընտրությունը հիմնվում է այն բանի վրա, որ ընտրանքի ծավալի՝ $n > 100$ դեպքում բաշխումների պարամետրերի գնահատականների ճշգրտության աճն աննշան է [136, 137]: Հավաքված վիճակագրությունը ենթարկվել է նախնական վերլուծության և համակարգման: Նկատենք որ, վերջին երեք խմբի տարրերի շահագործման երեք

տարիների ընթացքում դրանց ընդհանուր խափանումների թիվը համապատասխանաբար կազմել է 10, 8 և 12, որը բավարար չէ ոչ միայն բաշխման ֆունկցիաների բացահայտման, այլև ընտրանքների համասեռության մասին հիպոթեզի ստուգման համար: Ուստի հետագա հետազոտության ընթացքում այդ տարրերը համարվել են բացարձակ հուսալի:

Միատեսակ տարրերի վիճակագրական տվյալների միավորման նպատակով իրականացվել է առանձին ընտրանքների համասեռության ստուգում: Ընդ որում օգտագործվել են Ուիլքոքսոնի [136] (երկու ընտրանքի դեպքում) և Կրուսկալ-Ուոլիսի [137] (երկուսից ավել ընտրանքների դեպքում) ոչ պարամետրական չափանիշները: Բոլոր խմբերի տարրերի համար ընտրանքների համասեռության մասին հիպոթեզներն ընդունվել են $\alpha = 0,05$ նշանակալիության մակարդակի դեպքում:

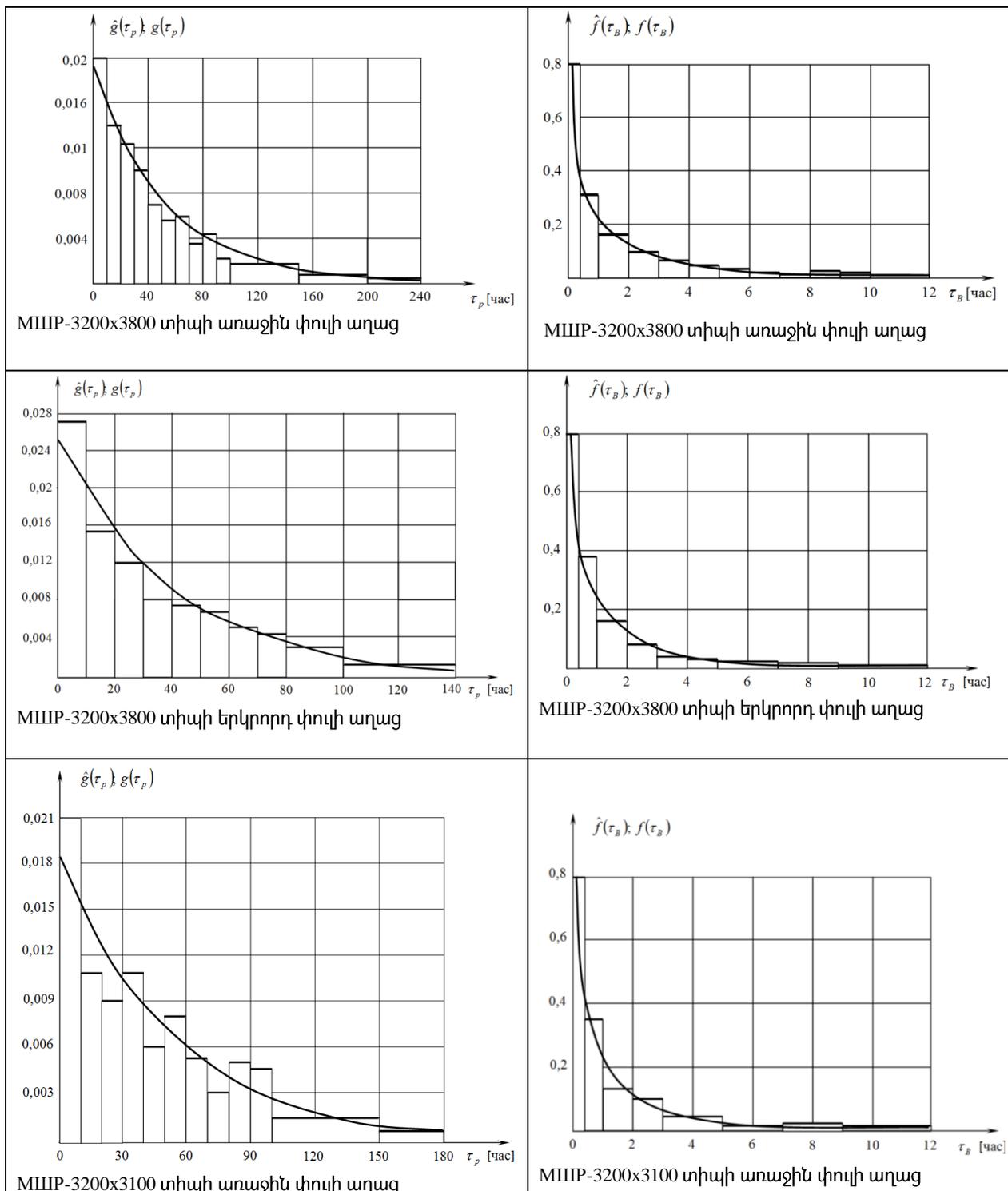
Վիճակագրական տվյալների՝ $\{x_i : i = 1, n\}$ ընտրանքի հիման վրա x պատահական մեծության մաթեմատիկական սպասման և դիսպերսիայի վիճակագրական գնահատականների $(\bar{x}, \hat{\sigma}_x^2)$, ինչպես նաև, բաշխման խտության ֆունկցիայի վիճակագրական գնահատականի $(\hat{f}_j = \hat{f}_j(x) \quad j = \overline{1, l})$ և $m_j, j = \overline{1, l}$ արժեքները հաշվարկվել են քոմպիյութերի օգնությամբ:

Միավորված ընտրանքների հիման վրա համապատասխան տարրերի յուրաքանչյուր խմբի համար կառուցվել են խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի $\hat{g}_i(\tau_p), \hat{f}_i(\tau_e)$ հիստագրերը (աղյ. 3.1):

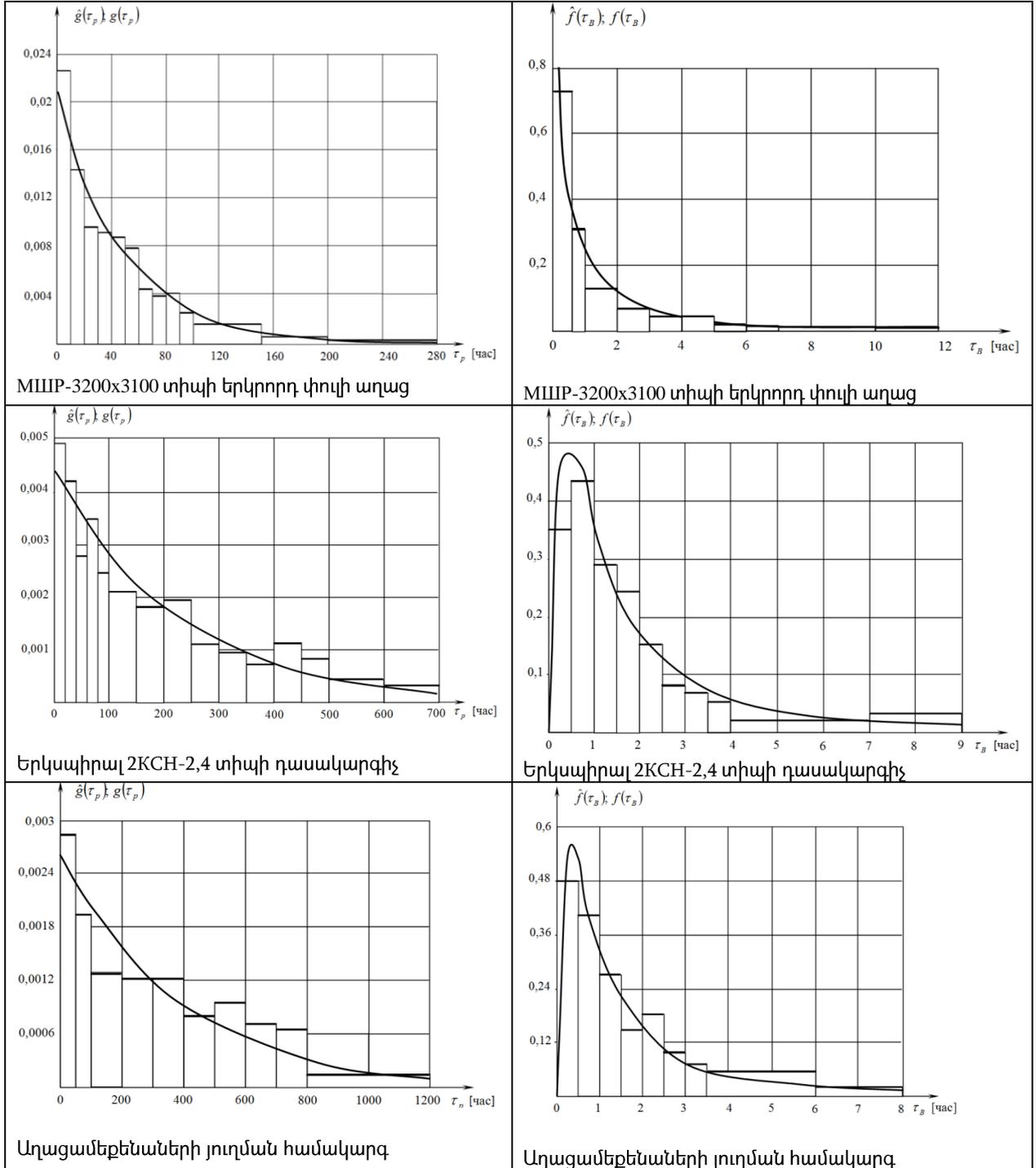
3.2.2. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական սարքավորումների աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների նույնականացումը

Ելնելով յուրաքանչյուր հիստագրի տեսքից առաջադրվել են հիպոթեզներ համապատասխան սարքավորումների խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների մասին: Ընդ որում որպես ենթադրյալ բաշխումներ դիտարկվել են ցուցչային, Վեյբուլի, լոգարիթմական-նորմալ և Ռելեյի բաշխումները:

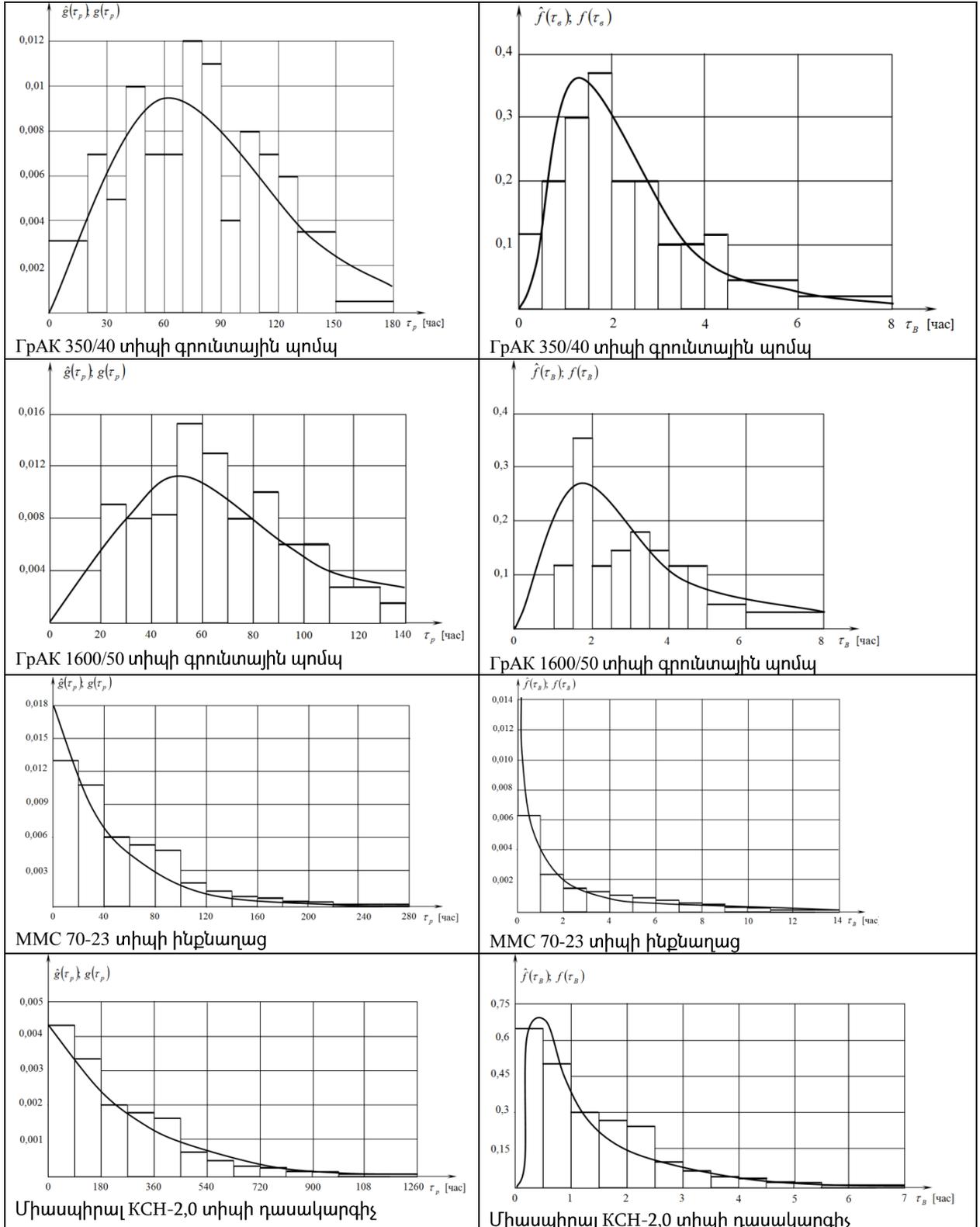
Մանրացման սարքավորումների τ_p աշխատաժամանակի և τ_B վերականգնման ժամանակի բաշխման խտության տեսական ֆունկցիաների՝ $g_i(\tau_p)$ -ի ու $f_i(\tau_B)$ -ի գրաֆիկները և $\hat{g}_i(\tau_p)$, $\hat{f}_i(\tau_B)$ հիստագրերը.



Մանրացման սարքավորումների τ_p աշխատաժամանակի և τ_e վերականգնման ժամանակի բաշխման խտության տեսական ֆունկցիաների՝ $g_i(\tau_p)$ -ի ու $f_i(\tau_e)$ -ի գրաֆիկները և $\hat{g}_i(\tau_p)$, $\hat{f}_i(\tau_e)$ հիստագրերը



Մանրացման սարքավորումների τ_p աշխատաժամանակի և τ_e վերականգնման ժամանակի բաշխման խտության տեսական ֆունկցիաների՝ $g_i(\tau_p)$ -ի ու $f_i(\tau_e)$ -ի գրաֆիկները և $\hat{g}_i(\tau_p)$, $\hat{f}_i(\tau_e)$ հիստագրերը



Տեսական և փորձնական բաշխումների համաձայնության, այսինքն՝ ենթադրվող $F(x)$ տեսական բաշխման հետ փորձնական բաշխման համապատասխանության մասին հիպոթեզի ստուգումն իրականացվել է Պիրսոնի χ^2 չափանիշի օգտագործմամբ [136-138], որն առավել հզոր է մեծ ընտրանքների դեպքում ($n \geq 100$): Չափանիշը կիրառելի է ցանկացած տեսքի $F(x)$ ֆունկցիաների համար, նույնիսկ դրանց պարամետրերի անհայտ արժեքների դեպքում, ինչում էլ կայանում է նրա ունիվերսալությունը:

χ^2 չափանիշի օգտագործումը նախատեսում է ընտրանքի փոփոխման $[x_{\min}, x_{\max}]$ միջակայքի տրոհում $\Delta x = (x_{\max} - x_{\min})/l$ երկարությամբ միջակայքերի և m_j դիտարկումների թվի որոշում յուրաքանչյուր l միջակայքի համար: Բաշխման պարամետրերի գնահատման հարմարության համար ընտրում են միևնույն երկարության միջակայքեր: [136-138] աշխատություններում առաջարկվում են մի քանի բանաձևեր («Ստերժեսի բանաձևը» և այլն) միջակայքերի թվի որոշման համար՝ կախված ընտրանքի ծավալից: Գործնականում սովորաբար կիրառում են. $l = 10 \dots 15 (n = 100)$, $l = 15 \dots 20 (n = 200)$: Հինգից պակաս դիտարկումներ պարունակող միջակայքերը միավորվում են հարևանների հետ:

Պիրսոնի չափանիշի ստատիստիկը որոշվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^l \frac{(m_j - np_j)^2}{np_j}, \quad (3.4)$$

որտեղ p_j -ն հետազոտվող պատահական մեծության j -րդ միջակայք ընկնելու հավանականությունն է, որը հաշվարկվում է ենթադրյալ $F(x)$ բաշխման օրենքին համապատասխան:

$F(x)$ տեսական բաշխման օրենքին ընտրանքային բաշխման համապատասխանության մասին զրոյական հիպոթեզը ստուգում են (3.4) բանաձևով հաշվարկված χ^2 արժեքի $\chi_{k,\alpha}^2$ կրիտիկական արժեքի (քվանտիլի) հետ համեմատման միջոցով, որը վերցրվում է χ^2 բաշխման քվանտիլների աղյուսակից α նշանակալիության մակարդակի և $k = l - r - 1$ ազատության աստիճանի համար: Այստեղ l -ը միջակայքերի թիվն է միավորումից հետո, r -ը՝ դիտարկվող ընտրանքով

գնահատվող պարամետրերի թիվը: Եթե կատարվում է $\chi^2 \leq \chi_{k,\alpha}^2$ անհավասարությունը, ապա զրոյական հիպոթեզը չի հերքվում: Այլապես ընդունվում է անհայտ բաշխմանը ընտրանքի պատկանելիության վերաբերյալ այլընտրանքային հիպոթեզը :

Աղյուսակ 3.2-ում և 3.3-ում ներկայացված են նույնականացված բաշխումների պարամետրերի գնահատականները՝ խափանումների միջև միջին աշխատաժամանակը ($\bar{\tau}_p$), վերականգնման միջին ժամանակը ($\bar{\tau}_B$) և դրանց վստահելի սահմանները: Նշված մեծությունների հաշվարկման ժամանակ օգտագործվել են [136-138] աշխատություններում բերված բանաձևերը:

Աղյուսակ 3.2

Սարքավորումների խափանումների միջև աշխատաժամանակի բաշխման պարամետրերի գնահատականները և վստահելի սահմանները

Տարրի խմբի թիվը	τ_p ժամանակի բաշխման օրենքը	τ_p ժամանակի բաշխման պարամետրերի գնահատականները	τ_p ժամանակի մաթ. սպասման գնահատականը ($\bar{\tau}_p$)	τ_p ժամանակի մաթ. սպասման գնահատականի ($\bar{\tau}_p$) վստահելի սահմանները	
				ներքին	վերին
1	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 1,925 \cdot 10^{-2} [1/\sigma]$	52	50	54,1
2	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 2,45 \cdot 10^{-2} [1/\sigma]$	40,85	39,2	42,5
3	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 1,785 \cdot 10^{-2} [1/\sigma]$	56	52	60
4	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 2,05 \cdot 10^{-2} [1/\sigma]$	48,76	46,8	50,7
5	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 4,39 \cdot 10^{-9} [1/\sigma]$	227,6	212	243
6	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 2,59 \cdot 10^{-3} [1/\sigma]$	386,2	351	420
7	Ռելեյի	$\hat{\sigma} = 65 [\sigma]$	81,5	77,5	85
8	Ռելեյի	$\hat{\sigma} = 56,15 [\sigma]$	70,5	66	72
9	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 1,81 \cdot 10^{-2} [1/\sigma]$	55,25	53,2	57,5
10	Ցուցչային	$\hat{\lambda} = 5,2 \cdot 10^{-3} [1/\sigma]$	192,3	180,5	204,1

Այսպիսով, վիճակագրական տվյալների հիման վրա իրականացված նույնականացման արդյունքում բացահայտվել և մաթեմատիկորեն նկարագրվել են ՀՄՏՀ-ի սարքավորման խափանումների միջև τ_p աշխատանքի ժամանակի և τ_B վերականգնման ժամանակի հավանականությունների բաշխման խտությունների ֆունկցիաները՝ $g_i(\tau_p)$ -ի և $f_i(\tau_B)$ -ի [134, 135]:

Խափանված սարքավորումների վերականգնման ժամանակի բաշխման պարամետրերի գնահատականները և վստահելի սահմանները

Տարրի խմբի թիվը	τ_{θ} ժամանակի բաշխման օրենքը	τ_{θ} ժամանակի բաշխման պարամետրերի գնահատականները	τ_{θ} ժամանակի մաթ. սպասման գնահատականը ($\bar{\tau}_{\theta}$)	τ_{θ} ժամանակի մաթ. սպասման գնահատականի ($\bar{\tau}_{\theta}$) վստահելի սահմանները	
				ներքին	վերին
1	Վեյբուլի	$k = 0,7; \hat{\alpha} = 1,772$ [ժ]	2,25	2,12	2,37
2	Վեյբուլի	$k = 0,6; \hat{\alpha} = 1,373$ [ժ]	2,06	1,92	2,2
3	Վեյբուլի	$k = 0,6; \hat{\alpha} = 1,3734$ [ժ]	2,05	1,83	2,3
4	Վեյբուլի	$k = 0,6; \hat{\alpha} = 1,4534$ [ժ]	2,18	2,04	2,33
5	Լոգարիթմական-նորմալ	$\hat{\mu} = 0,14$ [ժ]; $\hat{\sigma} = 0,48$ [ժ]	2,5	2,3	2,75
6	Լոգարիթմական-նորմալ	$\hat{\mu} = 0,12$ [ժ]; $\hat{\sigma} = 0,52$ [ժ]	2,71	2,4	3,1
7	Լոգարիթմական-նորմալ	$\hat{\mu} = 0,292$ [ժ]; $\hat{\sigma} = 0,295$ [ժ]	2,48	2,32	2,62
8	Լոգարիթմական-նորմալ	$\hat{\mu} = 0,4555$ [ժ]; $\hat{\sigma} = 0,313$ [ժ]	3,69	3,45	3,95
9	Վեյբուլի	$k = 0,7; \hat{\alpha} = 1,591$ [ժ]	2,455	2,250	2,653
10	Լոգարիթմական-նորմալ	$\hat{\mu} = 0,18$ [ժ]; $\hat{\sigma} = 0,52$ [ժ]	2,014	1,80	2,25

Ստորև բերված են մանրացման սարքավորումների համար այդ ֆունկցիաների անալիտիկ արտահայտությունները.

1) ՄՄՄ-3200x3800 տիպի առաջին փուլի աղաց.

$$g_i(\tau_p) = \hat{\lambda} \cdot e^{-\hat{\lambda} \cdot \tau_p} = 1,925 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-1,92510^{-2} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_{\theta}) = \frac{k \cdot \tau_{\theta}^{k-1}}{\hat{\alpha}} \cdot e^{-\frac{\tau_{\theta}^k}{\hat{\alpha}}} = 0,469 \cdot \tau_{\theta}^{-0,3} \cdot e^{-0,67 \cdot \tau_{\theta}^{0,7}}$$

2) ՄՄՄ-3200x3800 տիպի երկրորդ փուլի աղաց.

$$g_i(\tau_p) = \hat{\lambda} \cdot e^{-\hat{\lambda} \cdot \tau_p} = 2,45 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-2,4510^{-2} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_{\theta}) = \frac{k \cdot \tau_{\theta}^{k-1}}{\hat{\alpha}} \cdot e^{-\frac{\tau_{\theta}^k}{\hat{\alpha}}} = 0,4956 \cdot \tau_{\theta}^{-0,4} \cdot e^{-0,826 \tau_{\theta}^{0,6}}$$

3) ՄՄՄ-3200x3100 տիպի առաջին փուլի աղաց.

$$g_i(\tau_p) = \hat{\lambda} \cdot e^{-\hat{\lambda} \cdot \tau_p} = 1,785 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-1,78510^{-2} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_{\theta}) = \frac{k \cdot \tau_{\theta}^{k-1}}{\hat{\alpha}} \cdot e^{-\frac{\tau_{\theta}^k}{\hat{\alpha}}} = 0,492 \cdot \tau_{\theta}^{-0,4} \cdot e^{-0,82 \tau_{\theta}^{0,6}}$$

4) ՄՄՄ-3200x3100 տիպի երկրորդ փուլի աղաց.

$$g_i(\tau_p) = \hat{\lambda} \cdot e^{-\hat{\lambda} \cdot \tau_p} = 2,05 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-2,0510^{-2} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_\theta) = \frac{k \cdot \tau_\theta^{k-1}}{\hat{\alpha}} \cdot e^{-\frac{\tau_\theta^k}{\hat{\alpha}}} = 0,48 \cdot \tau_\theta^{-0,4} \cdot e^{-0,798\tau_\theta^{0,6}}$$

5) երկսպիրալ 2KCH-2,4 տիպի դասակարգիչ.

$$g_i(\tau_p) = \hat{\lambda} \cdot e^{-\hat{\lambda} \cdot \tau_p} = 4,4 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-4,410^{-3} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_\theta) = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - \hat{\mu})^2 / 2\hat{\sigma}^2}}{\hat{\sigma} \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta} = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - 0,14)^2 / 0,46}}{0,48 \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta}$$

6) աղացամբքենաների յուղման համակարգ.

$$g_i(\tau_p) = \hat{\lambda} \cdot e^{-\hat{\lambda} \cdot \tau_p} = 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-2,610^{-3} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_\theta) = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - \hat{\mu})^2 / 2\hat{\sigma}^2}}{\hat{\sigma} \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta} = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - 0,12)^2 / 0,52}}{0,52 \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta}$$

7) ГрАК 350/40 տիպի գրունտային պոմպ.

$$g_i(\tau_p) = \frac{\tau_p}{\hat{\sigma}^2} \cdot e^{-\frac{\tau_p^2}{2\hat{\sigma}^2}} = \frac{\tau_p}{4225} \cdot e^{-\frac{\tau_p^2}{8450}}$$

$$f_i(\tau_\theta) = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - \hat{\mu})^2 / 2\hat{\sigma}^2}}{\hat{\sigma} \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta} = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - 0,292)^2 / 0,174}}{0,295 \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta}$$

8) ГрАК 1600/50 տիպի գրունտային պոմպ.

$$g_i(\tau_p) = \frac{\tau_p}{\hat{\sigma}^2} \cdot e^{-\frac{\tau_p^2}{2\hat{\sigma}^2}} = \frac{\tau_p}{3150} \cdot e^{-\frac{\tau_p^2}{6300}},$$

$$f_i(\tau_\theta) = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - \hat{\mu})^2 / 2\hat{\sigma}^2}}{\hat{\sigma} \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta} = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - 0,4553)^2 / 0,196}}{0,313 \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta}.$$

9) MMC 70-23 տիպի ինքնաղաց.

$$g_i(\tau_p) = 1,81 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-1,810^{-2} \cdot \tau_p}$$

$$f_i(\tau_\theta) = 0,44 \cdot \tau_\theta^{-0,3} \cdot e^{-0,63\tau_\theta^{0,7}}$$

10) միասպիրալ KCH-2,0 տիպի դասակարգիչ.

$$g_i(\tau_p) = 5,2 \cdot 10^{-3} e^{-5,210^{-3} \cdot \tau_p},$$

$$f_i(\tau_\theta) = \frac{e^{-(\lg \tau_\theta - 0,18)^2 / 0,5}}{0,52 \sqrt{2\pi} \cdot \tau_\theta}$$

3.3. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացը մոդելավորող ալգորիթմի կառուցումը

Ըստ կետ 3.1-ում կատարված ձևայնացմանը, ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության պատահական գործընթացի՝ $Y^0(t)$ -ի նմանակումը

հանգում է առանձին տարրերի խափանումների առաջացման և վերականգնման գործընթացների նմանակմանը՝ համաձայն տրված $g_i(\tau_p)$ և $f_i(\tau_e)$ բաշխման ֆունկցիաների՝ պահպանելով դրանց տրամաբանական կառուցվածքը և ժամանակի ընթացքում հաջորդականությունը [10, 111, 113, 139]: Ընդ որում հատուկ դեր է խաղում ժամանակի տրման (կամ էլ պատահույթների կանոնակարգման) մեխանիզմը, որը կոորդինացնում է համակարգի տարրերի գործունեությունը համակարգային պատահույթների խիստ հերթականության սահմանման ճանապարհով և ապահովում է շարժը ժամանակի ընթացքում: Գոյություն ունի ժամանակի տրման երկու հիմնական մեթոդ [139-142]՝ ֆիքսված քայլերի մեթոդը և մինչև հաջորդ պատահույթը քայլի տրման մեթոդը: Համապատասխանաբար հնարավոր են մոդելավորող ալգորիթմի կառուցման երկու սկզբունք՝ Δt սկզբունք և δz հատուկ վիճակների սկզբունք: Այդ մեթոդների առավելություններն ու թերությունները և դրանցից յուրաքանչյուրի կիրառման նպատակահարմարությունը հանգամանորեն դիտարկված են մասնագիտական գրականության մեջ [139-142]: Նկատենք, որ ժամանակի տրման մեթոդի ընտրությունը նմանակային մոդելի մշակմանման կարևոր խնդիրներից մեկն է: Մեթոդի ոչ ճիշտ ընտրությունը բերում է քոմպյութերային ժամանակի, պահանջվող հիշողության ծավալի և ծրագրավորման աշխատատարության անհարկի մեծացմանը:

Ընդհանրացնելով ժամանակի տրման մեթոդի ընտրության մասին վերոնշյալ հրապարակումների քննարկումները՝ կարելի է եզրակացնել, որ դիսկրետ գործընթացների նմանակման ժամանակ նպատակահարմար է ընտրել մինչև հաջորդ քայլը ժամանակի տրման մեթոդը, եթե ձևայնացված գործընթացի նմանակման համար կատարվում է հետևյալ պայմանը [139].

$$\bar{t} > (n-1) \tag{3.5}$$

որտեղ \bar{t} -ն պատահույթի միջին տևողությունն է, n -ը ձևայնացված համակարգի տարրերի քանակն է:

Հաշվի առնելով ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխման ձևայնացված գործընթացի դիսկրետ բնույթը, ինչպես նաև դրա կատարման համար վերը նշված պայմանը $\bar{t} \approx 90$ [ժամ], $n = 86$, նմանակման գործընթացում որպես պատահույթների

կանոնակարգման ապահովման մեթոդ ընտրվել է մինչև հաջորդ քայլը ժամանակի տրման մեթոդը (δz հատուկ վիճակների սկզբունքը):

Մոդելավորող ալգորիթմը կառուցելիս [135] օգտագործվել են մոդուլային սկզբունքը և ռեգիստրային մեթոդը [139-142]:

Ելնելով ժամանակի ընթացքում տարրերի խափանման և վերականգնման գործընթացների հաջորդականությունից և տրամաբանական կառուցվածքից՝ համակարգում առանձնացվել են տարրերի հետևյալ խմբերը.

- 1) աղացներ, դասակարգիչներ և աղացների յուզման համակարգեր,
- 2) միատիպ պոմպերով պահուստավորված գրունտային պոմպեր ($\mathcal{T}_9, \mathcal{T}\mathcal{T}_9, \mathcal{T}_{24}, \mathcal{T}\mathcal{T}_{24}, \mathcal{T}_{20}, \mathcal{T}\mathcal{T}_{20}, \mathcal{T}_{23}, \mathcal{T}\mathcal{T}_{23}, \mathcal{T}_{12}, \mathcal{T}\mathcal{T}_{12}, \mathcal{T}_{14}, \mathcal{T}\mathcal{T}_{14}$), որոնք ներառվում են $\mathcal{U}_{<4} \dots \mathcal{U}_{<9}$ մանրացման համալիրների և \mathcal{U}_{13} ագրեգատի կազմի մեջ,
- 3) ավելի ցածր արտադրողականությամբ պահուստավորված գրունտային պոմպեր ($\mathcal{T}_6, \mathcal{T}\mathcal{T}_6, \mathcal{T}_7, \mathcal{T}\mathcal{T}_7, \mathcal{T}_{11}, \mathcal{T}\mathcal{T}_{11}, \mathcal{T}_5, \mathcal{T}\mathcal{T}_5$), որոնք ներառվում են $\mathcal{U}_{<2}, \mathcal{U}_{<3}, \mathcal{U}_{<10}$ մանրացման համալիրների և \mathcal{U}_1 ագրեգատի կազմի մեջ:

Նշված տարրերի խմբերի առանձնացումը թույլ է տալիս կառուցել մոդելավորող ալգորիթմը և դրա ծրագրային իրականացումը մոդուլային սկզբունքով, որի շնորհիվ ապահովվում է նմանակային մոդելի ճկունությունը:

$\mathcal{L}\mathcal{U}\mathcal{S}\mathcal{L}$ -ի տարրերի աշխատունակության փոփոխման ձևայնացված գործընթացի նմանակման կազմակերպման համար անհրաժեշտ են հետևյալ ինֆորմացիոն զանգվածները [10, 111, 135]:

$z_i(t)$ վիճակների և դրանց փոփոխության պահերի T ռեգիստր: Այս ռեգիստրում համակարգի յուրաքանչյուր k -րդ տարրի համար կախված դրա վիճակից պահվում է մոտակա խափանման պահը t_0^k ("+" նշանով), եթե տարրը աշխատունակ է և գործում է, վերականգնման ավարտի պահը t_B^k ("-" նշանով), եթե տարրը վերականգնվում է, անսահմանություն, եթե տարրը գտնվում է հերթում վերականգնման համար կամ էլ պահուստում: Տարրերի վիճակի նմանակման նշված եղանակը թույլ է տալիս խնայել քոմպիլյութերային հիշողությունը և կրճատել նմանակային ծրագրի օպերատորների քանակը:

T_h ռեգիստր: Նախատեսված է վերականգնման համար հերթում գտնվող տարրերի

խափանման պահերի պահպանման համար:

Տարրերի խոշորացված $y_i^0(t)$ վիճակների S ռեգիստր: Այստեղ համակարգի յուրաքանչյուր տարրի համար՝ կախված դրա վիճակից պահվում է «0», եթե տարրը չի գործում (գտնվում է պահուստում, վերականգնման հերթում, կամ էլ վերականգնվում է) և «1», եթե տարրը գործում է:

Բացի վերը նշված ռեգիստրներից, առաջին խմբի տարրերի վերականգնման գործընթացի նմանակման ապահովման համար անհրաժեշտ է նախատեսել հիշողության երկու բջիջ, որտեղ համապատասխանաբար կպահպանվեն խափանված տարրերի քանակը (n_1) և ազատ նորոգող բրիգադների քանակը (n_2):

Նմանակման գործընթացում համակարգի մի վիճակից մյուսին անցնելու արդյունքում T, T_h, S ռեգիստրների և n_1, n_2 բջիջների պարունակությունը թարմացվում է՝ հին արժեքների փոխարեն գրվում են նորերը:

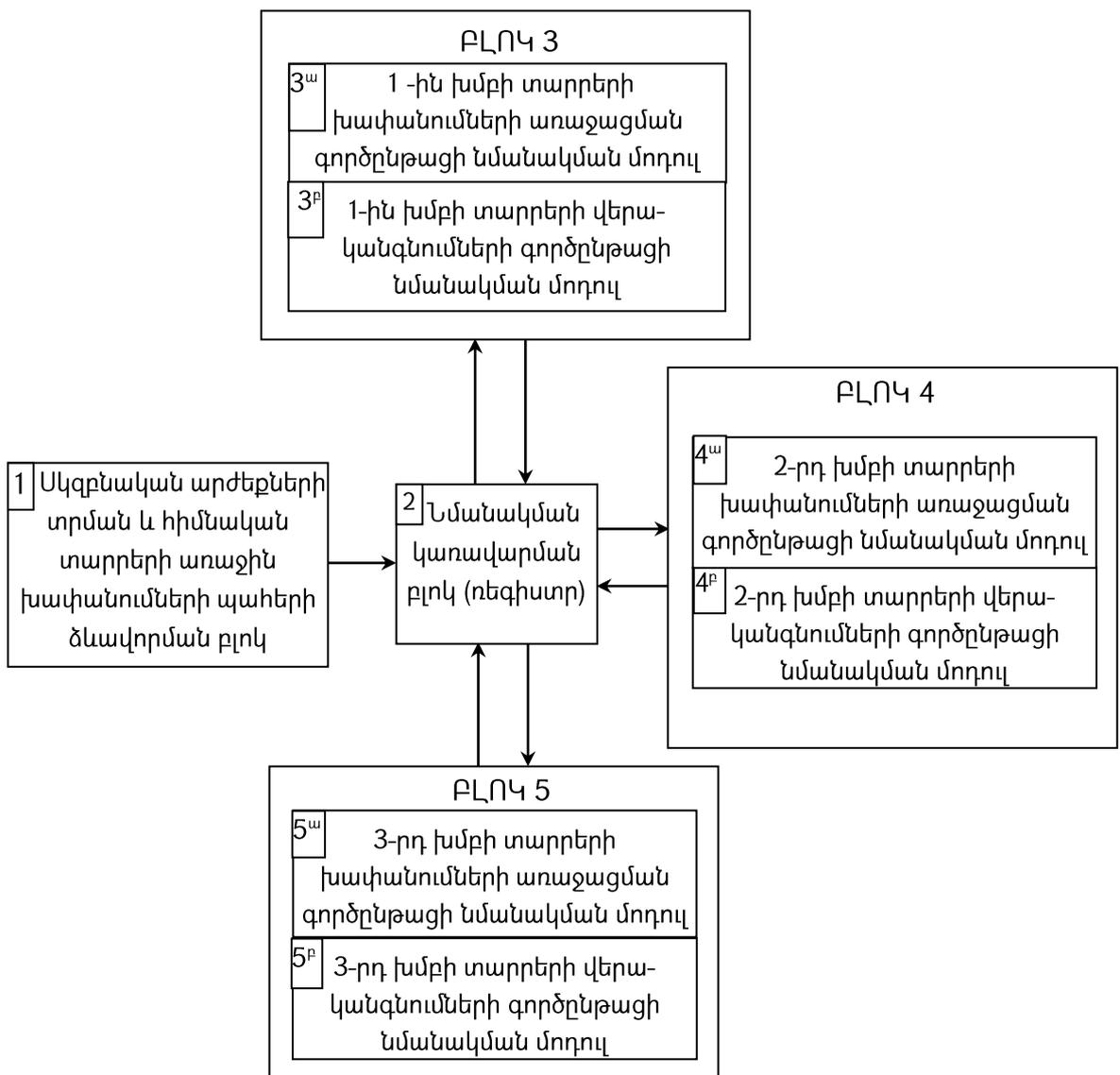
Համակարգի բոլոր տարրերին և վերը նշված ռեգիստրների համապատասխան բջիջներին վերագրվում են կարգաթվեր, հետևյալ կերպ (աղյ. 3.4). առաջին խմբի տարրերին՝ 1...64, երկրորդ խմբի տարրերին՝ 65...78, երրորդ խմբի տարրերին՝ 79...86: Ընդ որում $k > 65$ զույգ թվերը վերագրվում են պահուստային գրունտային պոմպերին:

ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի մոդելավորող ալգորիթմի խոշորացված բլոկ-սխեման բերված է նկ. 3.1-ում: Մոդելավորող ալգորիթմի աշխատանքը հանգում է հետևյալին: Բլոկ 1-ը սկզբնական արժեքները գրառում է T_h, S ռեգիստրներում և n_1, n_2 բջիջներում ու տրված $g_i(\tau_p) (i = \overline{1,86})$ բաշխման ֆունկցիաներին համապատասխան ձևավորում է հիմնական տարրերի առաջին խափանման պահերը: Խափանման առաջին պահերի արժեքները գրառվում են T ռեգիստրում, որը կառավարման բլոկի հիմնական մասն է: Կառավարման բլոկը (նկ. 3.2) որոշում է համակարգի վիճակի փոփոխության մոտակա պահը՝ t_j -ն, հիշում է փոքրագույն t_j արժեքով k_{\min} -ին համապատասխանող տարրի համարը, սահմանում է պատահույթի բնույթը ($t_j > 0$ ՝ խափանում, $t_j < 0$ ՝ վերականգնում) և կառավարումը փոխանցում է մոդելավորող ալգորիթմի համապատասխան բլոկին:

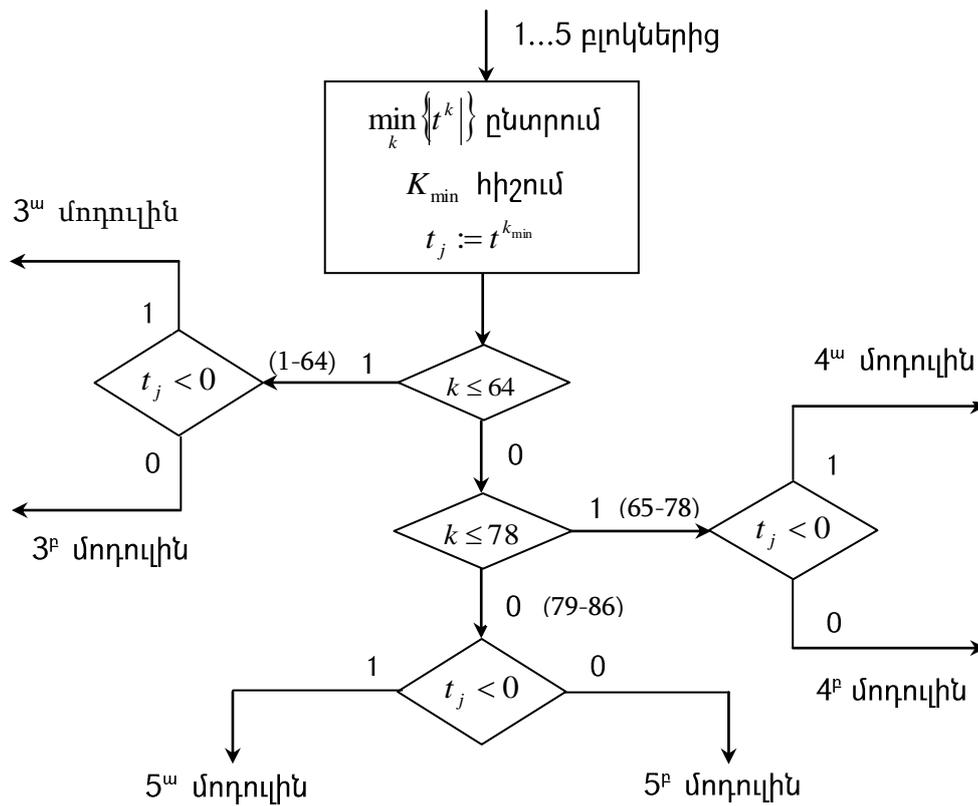
Ձևայնացված ՀՄՏՀ-ի տարրերի կարգաթվերը և նշանակումները

Տարրի կարգա- յին թիվը	Տարրի պայմանական նշանակումը		Տարրի կարգա- յին թիվը	Տարրի պայմանական նշանակումը		Տարրի կարգա- յին թիվը	Տարրի պայմանական նշանակումը	
	Ֆունկ- ցիոնալ սխեմա- յուն	ձևայնաց- ված սխեմա- յուն		Ֆունկ- ցիոնալ սխեմա- յուն	ձևայնաց- ված սխեմայուն		Ֆունկ- ցիոնալ սխեմա- յուն	ձևայնաց- ված սխեմա- յուն
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Ա ₁	E ₁ ⁰	31	ՄԴ ₂	E ₃₁ ⁰	61	ՅՀ ₂₄	E ₆₁ ⁰
2	Ա ₅	E ₂ ⁰	32	ՄԴ ₃	E ₃₂ ⁰	62	ՅՀ ₂₅	E ₆₂ ⁰
3	Ա ₆	E ₃ ⁰	33	ՄԴ ₉	E ₃₃ ⁰	63	ՅՀ ₂₆	E ₆₃ ⁰
4	Ա ₂	E ₄ ⁰	34	ՄԴ ₁₁	E ₃₄ ⁰	64	ՅՀ ₂₇	E ₆₄ ⁰
5	Ա ₃	E ₅ ⁰	35	ՄԴ ₁₂	E ₃₅ ⁰	65	Պ ₁₃	E ₆₅ ⁰
6	Ա ₄	E ₆ ⁰	36	ՄԴ ₁₄	E ₃₆ ⁰	66	Պ ₁₃	E ₆₆ ⁰
7	Ա ₈	E ₇ ⁰	37	ՄԴ ₁₆	E ₃₇ ⁰	67	Պ ₂₀	E ₆₇ ⁰
8	Ա ₁₀	E ₈ ⁰	38	ՄԴ ₁₇	E ₃₈ ⁰	68	Պ ₂₀	E ₆₈ ⁰
9	Ա ₁₃	E ₉ ⁰	39	ՄԴ ₂₁	E ₃₉ ⁰	69	Պ ₂₃	E ₆₉ ⁰
10	Ա ₁₆	E ₁₀ ⁰	40	ՄԴ ₂₂	E ₄₀ ⁰	70	Պ ₂₃	E ₇₀ ⁰
11	Ա ₁₇	E ₁₁ ⁰	41	ՅՀ ₁	E ₄₁ ⁰	71	Պ ₉	E ₇₁ ⁰
12	Ա ₂₁	E ₁₂ ⁰	42	ՅՀ ₂	E ₄₂ ⁰	72	Պ ₉	E ₇₂ ⁰
13	Ա ₂₂	E ₁₃ ⁰	43	ՅՀ ₃	E ₄₃ ⁰	73	Պ ₁₂	E ₇₃ ⁰
14	Ա ₇	E ₁₄ ⁰	44	ՅՀ ₄	E ₄₄ ⁰	74	Պ ₁₂	E ₇₄ ⁰
15	Ա ₉	E ₁₅ ⁰	45	ՅՀ ₅	E ₄₅ ⁰	75	Պ ₁₄	E ₇₅ ⁰
16	Ա ₁₁	E ₁₆ ⁰	46	ՅՀ ₆	E ₄₆ ⁰	76	Պ ₁₄	E ₇₆ ⁰
17	Ա ₁₂	E ₁₇ ⁰	47	ՅՀ ₇	E ₄₇ ⁰	77	Պ ₂₄	E ₇₇ ⁰
18	Ա ₁₄	E ₁₈ ⁰	48	ՅՀ ₈	E ₄₈ ⁰	78	Պ ₂₄	E ₇₈ ⁰
19	Ա ₂₀	E ₁₉ ⁰	49	ՅՀ ₉	E ₄₉ ⁰	79	Պ ₅	E ₇₉ ⁰
20	Ա ₂₃	E ₂₀ ⁰	50	ՅՀ ₁₀	E ₅₀ ⁰	80	Պ ₅	E ₈₀ ⁰
21	Ա ₂₄	E ₂₁ ⁰	51	ՅՀ ₁₁	E ₅₁ ⁰	81	Պ ₆	E ₈₁ ⁰
22	Ի ₁	E ₂₂ ⁰	52	ՅՀ ₁₂	E ₅₂ ⁰	82	Պ ₆	E ₈₂ ⁰
23	Ի ₂	E ₂₃ ⁰	53	ՅՀ ₁₃	E ₅₃ ⁰	83	Պ ₇	E ₈₃ ⁰
24	Ի ₃	E ₂₄ ⁰	54	ՅՀ ₁₄	E ₅₄ ⁰	84	Պ ₇	E ₈₄ ⁰
25	ԵԴ ₁	E ₂₅ ⁰	55	ՅՀ ₁₆	E ₅₅ ⁰	85	Պ ₁₁	E ₈₅ ⁰
26	ԵԴ ₂	E ₂₆ ⁰	56	ՅՀ ₁₇	E ₅₆ ⁰	86	Պ ₁₁	E ₈₆ ⁰
27	ԵԴ ₃	E ₂₇ ⁰	57	ՅՀ ₂₀	E ₅₇ ⁰	-	-	-
28	ԵԴ ₄	E ₂₈ ⁰	58	ՅՀ ₂₁	E ₅₈ ⁰	-	-	-
29	ԵԴ ₈	E ₂₉ ⁰	59	ՅՀ ₂₂	E ₅₉ ⁰	-	-	-
30	ԵԴ ₁₀	E ₃₀ ⁰	60	ՅՀ ₂₃	E ₆₀ ⁰	-	-	-

Յուրաքանչյուր խմբի տարրերի խափանման և վերականգնման գործընթացը նմանակվում է համապատասխան միակ բլոկով, որը ներառում է երկու մոդուլ: Համակարգի որևէ տարրի խափանման դեպքում գործում է 3^P , 4^P , 5^P մոդուլներից մեկը, որը նմանակում է խափանված տարրի վերականգնման գործընթացը, այսինքն ձևավորում է դրա վերականգնման ավարտի պահը՝ t_B^k -ն և որոշում է նոր $z_i(y_i^0)$ վիճակը: Խափանված տարրի վերականգնման ավարտից հետո կառավարումը փոխանցվում է 3^W , 4^W , 5^W մոդուլներից մեկին, որը ձևավորում է մոտակա խափանման պահը՝ t_0^k -ն և որոշում է նոր $z_i(y_i^0)$ վիճակը: Նշված մոդուլներից ցանկացածի գործունեությունից հետո կառավարումը կրկին փոխանցվում է կառավարման բլոկին:



Նկ. 3.1. ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային մոդելի խոշորացված բլոկ-սխեման



Նկ. 3.2. Կառավարման բլոկի կառուցվածքը

Նմանակման գործընթացում համակարգային պատահույթների հաջորդականության որոշումը (կանոնակարգումը) T ռեգիստրից ժամանակի փոքրագույն պահի՝ $t^{k_{\min}}$ -ի ընտրությունն է, կատարված պատահույթի ճանաչումը և կառավարումը համապատասխան մոդուլին փոխանցումը:

Նմանակման գործընթացում մոդուլի հասցեն և հերթական տարրի համար մոդուլի կարգաբերումը որոշվում է $t^{k_{\min}}$ փոքրագույն պահով տարրի համարով և նոր վիճակով (խափանում, վերականգնում):

Մոդելավորող ալգորիթմի կառուցման մոդուլային սկզբունքի շնորհիվ այն օժտված է ունիվերսալությամբ, որը թույլ է տալիս առանց փոփոխությունների օգտագործել երեք խմբի տարրերի խափանման և վերականգնման գործընթացները նմանակող բոլոր մոդուլները:

Նմանակման ընթացքում տարրերի աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի ձևավորումն իրականացվում է $(0,1)$ միջակայքում հավասարաչափ բաշխված

r_i պատահական թվերի գներացման և ձևափոխման միջոցով՝ օգտագործելով հետևյալ մոդելավորող բանաձևերը [139-142]:

- ցուցչային բաշխման դեպքում՝ $\tau = -\frac{1}{\lambda} \ln r$,
- Վեյբուլի բաշխման դեպքում՝ $\tau = \frac{1}{\alpha} \sqrt{-\ln r}$,
- Ռելեյի բաշխման դեպքում՝ $\tau = \sigma \sqrt{-2 \ln r}$,
- լոգարիթմական-նորմալ բաշխման դեպքում՝ $\tau = \exp((\mu + \sigma V)/\lg e)$, որտեղ

$(V = \sum_{i=1}^{12} r_i - 6)$ -ը $(0,1)$ պարամետրերով նորմալ բաշխված պատահական մեծություն է:

3.4. Հանրաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի գործունեության գործընթացի նմանակային մոդելի կառուցումը

3.4.1. ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի նկարագրությունը սարքավորումների խափանումների դեպքում

Շնորհիվ պահուստային կապերի օգտագործմամբ ՀՄՏՀ-ի կառուցվածքի վերակառուցման հատկությանը (նկ. Հ 1, Հ 2-ում այդ կապերը ցույց են տրված կետագծերով) և տարբեր ռեժիմներում մանրացման ագրեգատների աշխատելու ունակությանը, սարքավորումների խափանումները հանգեցնում են ոչ թե ամբողջ համակարգի խափանմանը, այլ միայն նվազեցնում են համակարգի գործունեության որակը:

Մանրացման ագրեգատների և համալիրների աշխատունակության պայմանները և պահուստային կապերի օգտագործմամբ աշխատանքի հնարավոր ռեժիմները որոշվում են հետևյալ կերպ (կոնվեյերների, սնուցիչների, հիդրոցիկլոնների բացարձակ հուսալիության պայմաններում):

Երկփուլ մանրացման համալիրի (ԵՄՀ) կազմում առաջին և երկրորդ փուլերի մանրացման ագրեգատները (ՄԱ) աշխատունակ են, եթե միաժամանակ աշխատունակ են դրանց կազմի մեջ մտնող բաղադրիչները՝ աղացները, յուղման համակարգերը և դասակարգիչները: Նշված ագրեգատները կարող են գործել ինչպես ինքնուրույն ՄԱ,

այնպես էլ առաջին փուլի ՄԱ՝ երկփուլ ՄՀ-ի կազմում, ագրեգատների 2:1 կամ 1:1 լծորդման սխեմայի դեպքում:

Մանրացման երկրորդ փուլի ՄԱ-ն աշխատունակ է միայն այն դեպքում, երբ միաժամանակ աշխատունակ են գրունտային պոմպերից որևէ մեկը և դրա կազմի մեջ մտնող բաղադրիչները (աղաց, յուղման համակարգ, դասակարգիչ):

Երկրորդ փուլի մանրացման ագրեգատները, որոնք միաժամանակ սնուցվում են հանքաքարով (ՄԱ₁₁, ՄԱ₉, ՄԱ₂₀, ՄԱ₂₁, ՄԱ₂₃, ՄԱ₁₄, ՄԱ₂₄) կարող են գործել որպես ինքնուրույն միափուլ ՄԱ առաջին փուլի մանրացման ագրեգատների խափանման դեպքում:

Այն ՄԱ-երը, որոնք չեն սնվում հանքաքարով (ՄԱ₇, ՄԱ₆, ՄԱ₅) առաջին փուլի երկու ՄԱ-երի միաժամանակյա խափանման դեպքում դադարում են գործել:

ՄՀ₄, ՄՀ₅, ՄՀ₆, ՄՀ₇, ՄՀ₈, ՄՀ₉, Ա₁₃-ի կազմի մեջ մտնող պահուստային և հիմնական պոմպերը միատիպ են, այդ պատճառով էլ խափանված պոմպը վերականգնվելուց հետո անցնում է պահուստային վիճակի: Նկատենք որ, ՄՀ-ի (ՄՀ₂, ՄՀ₃, ՄՀ₅, ՄՀ₈, ՄՀ₉) կազմի մեջ մտնող 8 դյույմանոց պահուստային պոմպը աշխատում է մինչև խափանված հիմնական պոմպի վերականգնման ավարտը, որը սկսում է գործել պահուստայինի փոխարեն:

Անհրաժեշտության դեպքում (2:1) լծորդման սխեմայով աշխատող ԵՄՀ-ն (ՄՀ₂, ՄՀ₃, ՄՀ₁₀) պահուստային կապերի միջոցով կառուցվածքի վերափոխման (ռեկոնֆիգուրացման) միջոցով կարող է գործել որպես.

- ինքնուրույն գործող միափուլ ՄԱ (1:0) լծորդման սխեմայով և ԵՄՀ (1:1) լծորդման սխեմայով՝ հիմնական գրունտային պոմպի խափանման դեպքում,
- ինքնուրույն գործող ԵՄՀ (1:1) լծորդման սխեմայով՝ առաջին փուլի որևիցե ՄԱ-ի խափանման դեպքում,
- երկու ինքնուրույն (2:0) լծորդման սխեմայով գործող միափուլ ՄԱ՝ երկրորդ փուլի ՄԱ-ի կամ էլ հիմնական և պահուստային գրունտային պոմպերի խափանման դեպքում,

- միափուլ ՄԱ (1:0) լծորդման սխեմայով՝ առաջին փուլի երկու ՄԱ-երի խափանման դեպքում (միայն ՄՀ₁₀-ը, որը միաժամանակ սնվում է հանքաքարով):

(2:1) լծորդման սխեմայով ԵՄՀ-ն ամբողջությամբ դադարում է գործել առաջին փուլի երկու ՄԱ-ի և երկրորդ փուլի ՄԱ-ի (կամ գրունտային պոմպերի) միաժամանակյա խափանման դեպքում :

(1:1) լծորդման սխեմայով ԵՄՀ-ի կազմի մեջ մտնող սարքավորումների խափանման դեպքում (ՄՀ₄, ՄՀ₆, ՄՀ₇) նշված համալիրները կարող են գործել որպես միափուլ ՄԱ (1:0) լծորդման սխեմայով (ՄԱ₁₀, ՄԱ₂₁, ՄԱ₂₂)՝ երկրորդ փուլի ՄԱ-ի խափանման դեպքում (կամ ՄԱ₉, ՄԱ₂₀, ՄԱ₂₃, երկու գրունտային պոմպերի) (1:0) լծորդման սխեմայով միափուլ ՄԱ (ՄԱ₉, ՄԱ₁₀, ՄԱ₂₃)՝ առաջին փուլի ՄԱ-ի (ՄԱ₁₀, ՄԱ₂₁, ՄԱ₂₂) խափանման դեպքում:

(1:1) լծորդման սխեմայով ԵՄՀ-ը դադարում է գործել առաջին և երկրորդ փուլի ՄԱ-ի (կամ էլ երկու գրունտային պոմպերի) միաժամանակյա խափանման դեպքում:

(1:1) լծորդման սխեմայով ԵՄՀ-ը (ՄՀ₅, ՄՀ₈, ՄՀ₉) սարքավորումներ խափանման դեպքում կարող է գործել որպես (1:0) լծորդման սխեմայով միափուլ ՄԱ՝ առաջին փուլի ՄԱ-ի (ԻԱ₅, ԻԱ₈, ԻԱ₉) կամ երկրորդ փուլի ՄԱ-ի (ՄԱ₁₂, ՄԱ₁₄, ՄԱ₂₄ կամ երկու գրունտային պոմպերի խափանման դեպքում:

3.4.2. ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի քոմփյուտերային մոդելի կառուցումը

Սարքավորումների հուսալիության հաշվառմամբ ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի անալիտիկ մոդելը հնարավոր չէ կառուցել ստորև նշված գործոնների պատճառով.

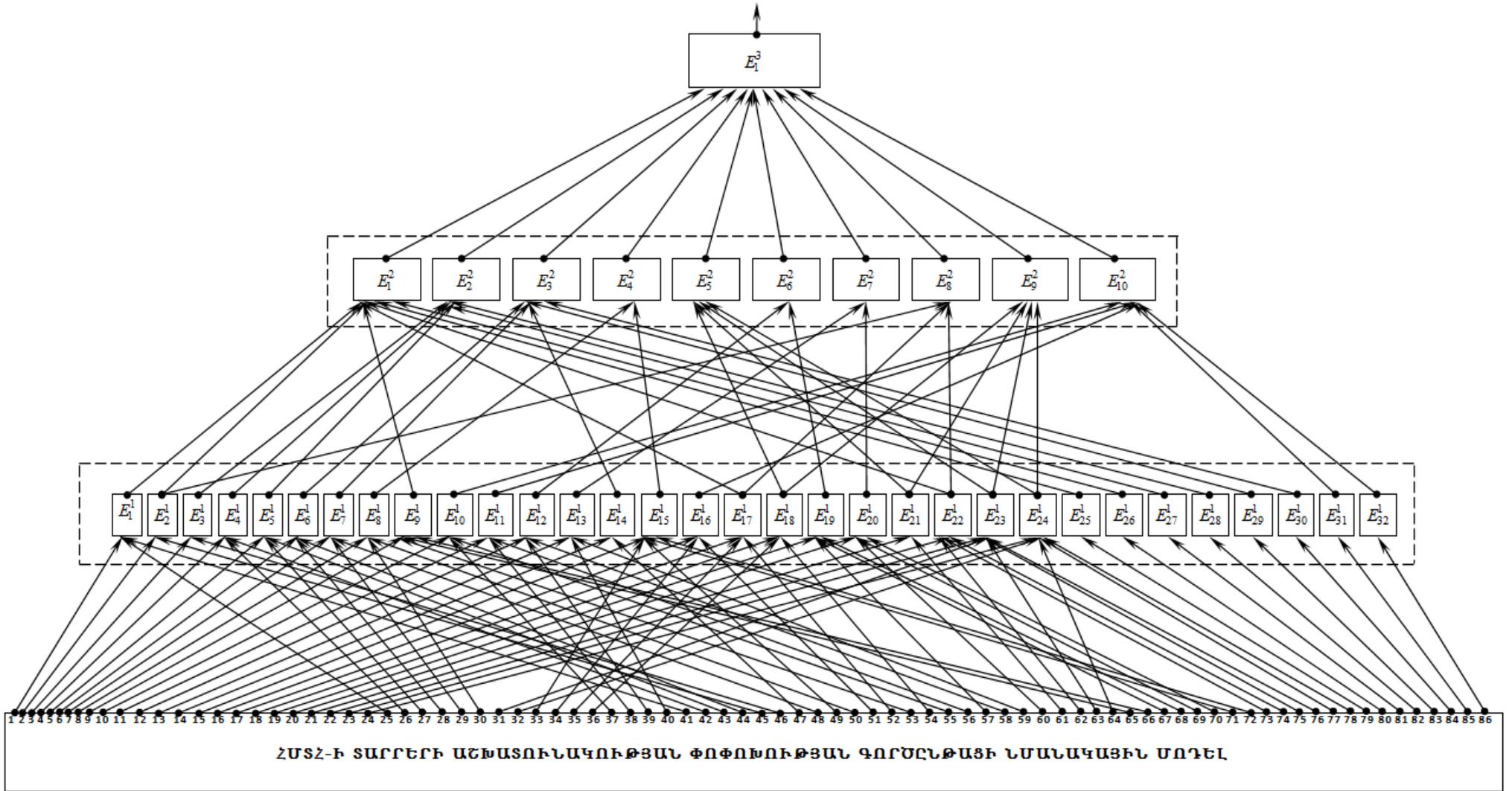
- համակարգի տեխնոլոգիապես հնարավոր վիճակների մեծ թիվը,
- սարքավորումների խափանումների դեպքում համակարգի կառուցվածքի վերափոխումը,
- սարքավորումների աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների ցուցչայինից տարբերվելը,

- սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի պատահական բնույթը:

Սովորաբար նման դեպքերում օգտագործում են հետազոտվող համակարգի աղյուսակային մոդելը: Սակայն ՀՄՏՀ-ի աղյուսակային մոդելի կառուցումը նույնպես չափազանց բարդ և աշխատատար խնդիր է, որը ներառում է համակարգի հսկայական թվով վիճակների (2^{15}) վերլուծություն և դրանցից յուրաքանչյուրի համար փորձնական եղանակով համակարգի ելքային բնութագրերի միջին վիճակագրական արժեքների որոշում: Ինչպես ցույց է տրված [10, 111, 117, 143] աշխատություններում, համակարգի վիճակների տարածության մեծ չափողականության հաղթահարման հայտնի մեթոդների կիրառումը տվյալ դեպքում կամ անթույլատրելիորեն նվազեցնում է ՀՄՏՀ-ի մոդելի ճշգրտությունը, կամ էլ կտրուկ սահմանափակում է մոդելի հնարավորությունները: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ վերոնշյալ դժվարությունների հաղթահարման նպատակով ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի մոդելը [112, 122, 143] ներկայացվել է պրոֆեսոր Ս.Շ. Բալասանյանի կողմից վերոնշյալ աշխատություններում մշակված ընդհանրական բազմամակարդակ հիերարխիկ մոդելի տեսքով՝ օգտագործելով նրա կողմից առաջարկված ձևայնացման մեթոդը:

Ելնելով մոդելավորման նպատակից և հարմարությունից, ինչպես նաև ՀՄՏՀ-ի կառուցվածքային և գործառության առանձնահատկություններից՝ նպատակահարմար է դրա գործունեությունը նկարագրել հետևյալ երեք՝ մանրացման ագրեգատների, մանրացման համալիրների և համակարգային մակարդակների վրա:

Ընտրված նկարագրությունների մակարդակների համաձայն որոշվել են առաջին և երկրորդ մակարդակների ենթահամակարգերի կազմերը՝ $(E_i^1, i \in I^1 = \{1, 2, \dots, 32\})$, $(E_i^2, i \in I^2 = \{1, 2, \dots, 10\})$ (աղյ. 3.5, 3.6) և ՀՄՏՀ-ի բովանդակային նկարագրության հիման վրա կառուցվել է նրա ձևայնացված կառուցվածքային սխեման ($ՁԿՍ$)՝ եռամակարդակ հիերարխիկ համակարգի տեսքով (նկ.3.3): Այսպիսով, ձևայնացման տվյալ փուլում ՀՄՏՀ-ն ներկայացվել է հիերարխիկ կառուցվածքի [10, 111, 143, 144] տեսքով՝ որի տարրերը տարբեր մակարդակի ենթահամակարգեր են:



Նկ. 3.3. ՀՄՏՀ-ի ձևայնացված կառուցվածքային սխեման

ՀՄՏՀ-ի առաջին մակարդակի ենթահամակարգերի կազմը և նշանակումները

1-ին մակարդակի ենթահամակարգերի նշանակումները ՀՄՏՀ-ի		Առաջին մակարդակի ենթահամակարգերի կազմը	
ձևայնացված սխեմայում	խոշորացված սխեմայում	նշանակումները ՀՄՏՀ-ի ձևայնացված սխեմայում	նշանակումները ՀՄՏՀ-ի կառուցվածքային սխեմայում
E_1^1	ՄԱ ₁	$E_1^0, E_{25}^0, E_{41}^0$	Ա ₁ ,ԵԴ ₁ ,ՅՀ ₁
E_2^1	ՄԱ ₅	E_2^0, E_{45}^0	Ա ₅ ,ՅՀ ₅
E_3^1	ՄԱ ₆	E_3^0, E_{46}^0	Ա ₆ ,ՅՀ ₆
E_4^1	ՄԱ ₂	$E_4^0, E_{26}^0, E_{42}^0$	Ա ₂ ,ԵԴ ₂ ,ՅՀ ₂
E_5^1	ՄԱ ₃	$E_5^0, E_{27}^0, E_{43}^0$	Ա ₃ ,ԵԴ ₃ ,ՅՀ ₃
E_6^1	ՄԱ ₄	$E_6^0, E_{28}^0, E_{44}^0$	Ա ₄ ,ԵԴ ₄ ,ՅՀ ₄
E_7^1	ՄԱ ₈	$E_7^0, E_{29}^0, E_{48}^0$	Ա ₈ ,ԵԴ ₈ ,ՅՀ ₈
E_8^1	ՄԱ ₁₀	$E_8^0, E_{30}^0, E_{50}^0$	Ա ₁₀ ,ԵԴ ₁₀ ,ՅՀ ₁₀
E_9^1	ՄԱ ₁₃	$E_9^0, E_{53}^0, E_{65}^0, E_{66}^0$	Ա ₁₃ ,ՅՀ ₁₃ , Պ ₁₃ , ՊՊ ₁₃
E_{10}^1	ՄԱ ₁₆	$E_{10}^0, E_{37}^0, E_{55}^0$	Ա ₁₆ ,ՄԴ ₁₆ ,ՅՀ ₁₆
E_{11}^1	ՄԱ ₁₇	$E_{11}^0, E_{38}^0, E_{56}^0$	Ա ₁₇ ,ՄԴ ₁₇ ,ՅՀ ₁₇
E_{12}^1	ՄԱ ₂₁	$E_{12}^0, E_{39}^0, E_{58}^0$	Ա ₂₁ ,ՄԴ ₂₁ ,ՅՀ ₂₁
E_{13}^1	ՄԱ ₂₂	$E_{13}^0, E_{40}^0, E_{59}^0$	Ա ₂₂ ,ՄԴ ₂₂ ,ՅՀ ₂₂
E_{14}^1	ՄԱ ₇	E_{14}^0, E_{47}^0	Ա ₇ ,ՅՀ ₇
E_{15}^1	ՄԱ ₉	$E_{15}^0, E_{33}^0, E_{49}^0, E_{71}^0, E_{72}^0$	Ա ₉ ,ՄԴ ₉ ,ՅՀ ₉ , Պ ₉ , ՊՊ ₉
E_{16}^1	ՄԱ ₁₁	$E_{16}^0, E_{34}^0, E_{51}^0$	Ա ₁₁ ,ՄԴ ₁₁ ,ՅՀ ₁₁
E_{17}^1	ՄԱ ₁₂	$E_{17}^0, E_{35}^0, E_{52}^0$	Ա ₁₂ ,ՄԴ ₁₂ ,ՅՀ ₁₂
E_{18}^1	ՄԱ ₁₄	$E_{18}^0, E_{36}^0, E_{54}^0$	Ա ₁₄ ,ՄԴ ₁₄ ,ՅՀ ₁₄
E_{19}^1	ՄԱ ₂₀	$E_{19}^0, E_{57}^0, E_{67}^0, E_{68}^0$	Ա ₂₀ ,ՅՀ ₂₀ , Պ ₂₀ , ՊՊ ₂₀
E_{20}^1	ՄԱ ₂₃	$E_{20}^0, E_{60}^0, E_{69}^0, E_{70}^0$	Ա ₂₃ ,ՅՀ ₂₃ , Պ ₂₃ , ՊՊ ₂₃
E_{21}^1	ՄԱ ₂₄	E_{21}^0, E_{61}^0	Ա ₂₄ ,ՅՀ ₂₄
E_{22}^1	ԻԱ ₁	$E_{22}^0, E_{62}^0, E_{73}^0, E_{74}^0$	Ի ₁ ,ՅՀ ₂₅ , Պ ₁₂ , ՊՊ ₁₂
E_{23}^1	ԻԱ ₂	$E_{23}^0, E_{31}^0, E_{63}^0, E_{75}^0, E_{76}^0$	Ի ₂ ,ՄԴ ₂ ,ՅՀ ₂₆ , Պ ₁₄ , ՊՊ ₁₄
E_{24}^1	ԻԱ ₃	$E_{24}^0, E_{32}^0, E_{64}^0, E_{77}^0, E_{78}^0$	Ի ₃ ,ՄԴ ₃ ,ՅՀ ₂₇ , Պ ₂₄ , ՊՊ ₂₄
E_{25}^1	Պ ₅	E_{79}^0	Պ ₅
E_{26}^1	ՊՊ ₅	E_{80}^0	ՊՊ ₅
E_{27}^1	Պ ₆	E_{81}^0	Պ ₆
E_{28}^1	ՊՊ ₆	E_{82}^0	ՊՊ ₆
E_{29}^1	Պ ₇	E_{83}^0	Պ ₇
E_{30}^1	ՊՊ ₇	E_{84}^0	ՊՊ ₇
E_{31}^1	Պ ₁₁	E_{85}^0	Պ ₁₁
E_{32}^1	ՊՊ ₁₁	E_{86}^0	ՊՊ ₁₁

Ճևայնացված ՀՄՏՀ-ի երկրորդ մակարդակի ենթահամակարգերի կազմը

Երկրորդ մակարդակի ենթահամակարգերի նշանակումները ձևայնացված սխեմայում	Երկրորդ մակարդակի ենթահամակարգերի կազմը ձևայնացված սխեմայում
E_1^2	$E_1^1, E_2^1, E_9^1, E_{25}^1, E_{26}^1$
E_2^2	$E_3^1, E_4^1, E_5^1, E_{27}^1, E_{28}^1$
E_3^2	$E_6^1, E_7^1, E_{14}^1, E_{29}^1, E_{30}^1$
E_4^2	E_8^1, E_{15}^1
E_5^2	$E_{18}^1, E_{21}^1, E_{23}^1, E_{24}^1$
E_6^2	E_{12}^1, E_{19}^1
E_7^2	E_{13}^1, E_{20}^1
E_8^2	$E_2^1, E_{17}^1, E_{22}^1$
E_9^2	$E_{18}^1, E_{21}^1, E_{23}^1, E_{24}^1$
E_{10}^2	$E_{10}^1, E_{11}^1, E_{16}^1, E_{31}^1, E_{32}^1$

Նկարագրության յուրաքանչյուր մակարդակի վրա ՀՄՏՀ-ի $E_i^{\mu}, i \in I^{\mu} = \{1, 2, \dots, p^{\mu}\}$ ենթահամակարգերը ձևայնացվել են ժամանակային առանց հիշողության ստատիկ համակարգերի (ԺԱՀՍՀ) [145] տեսքով:

1) **Մանրացման ագրեգատների մակարդակ:** Հաշվի առնելով մոդելավորման նպատակը և խնդիրները՝ առաջին մակարդակի $E_i^1, i \in I^1$ ենթահամակարգերը դիտարկվում են որպես երկու հնարավոր վիճակ (աշխատունակ և խափանված) ունեցող օբյեկտներ: Յուրաքանչյուր E_i^1 ենթահամակարգ ձևայնացվել է $y_i^1(t) = H_i^1(x_i^1(t))$ բուլյան որոշակի ֆունկցիայի տեսքով, որը նկարագրում է ենթահամակարգի աշխատունակության պայմանները՝ կախված այն կազմող $E_j^0, j = 1, 2, \dots$ տարրերի աշխատունակությունից [10, 111].

$$y_1^1 = x_{1,1}^1 \wedge x_{2,1}^1 \wedge x_{3,1}^1 = y_1^0 \wedge y_{25}^0 \wedge y_{41}^0; \quad y_2^1 = x_{2,1}^1 \wedge x_{2,2}^1 = y_2^0 \wedge y_{45}^0;$$

$$y_3^1 = x_{3,1}^1 \wedge x_{3,2}^1 = y_3^0 \wedge y_{46}^0; \quad y_4^1 = x_{4,1}^1 \wedge x_{4,2}^1 \wedge x_{4,3}^1 = y_4^0 \wedge y_{26}^0 \wedge y_{42}^0;$$

$$y_5^1 = x_{5,1}^1 \wedge x_{5,2}^1 \wedge x_{5,3}^1 = y_5^0 \wedge y_{27}^0 \wedge y_{43}^0; \quad y_6^1 = x_{6,1}^1 \wedge x_{6,2}^1 \wedge x_{6,3}^1 = y_6^0 \wedge y_{29}^0 \wedge y_{48}^0;$$

$$y_7^1 = x_{7,1}^1 \wedge x_{7,2}^1 \wedge x_{7,3}^1 = y_7^0 \wedge y_{29}^0 \wedge y_{48}^0; \quad y_8^1 = x_{8,1}^1 \wedge x_{8,2}^1 \wedge x_{8,3}^1 = y_8^0 \wedge y_{30}^0 \wedge y_{50}^0;$$

$$y_9^1 = x_{9,1}^1 \wedge x_{9,2}^1 \wedge (x_{9,3}^1 \vee x_{9,4}^1) = y_9^0 \wedge y_{53}^0 \wedge (y_{65}^0 \vee y_{66}^0);$$

$$\begin{aligned}
y_{10}^1 &= x_{10,1}^1 \wedge x_{10,2}^1 \wedge x_{10,3}^1 = y_{10}^0 \wedge y_{37}^0 \wedge y_{55}^0; & y_{11}^1 &= x_{11,1}^1 \wedge x_{11,2}^1 \wedge x_{11,3}^1 = y_{11}^0 \wedge y_{38}^0 \wedge y_{56}^0; \\
y_{12}^1 &= x_{12,1}^1 \wedge x_{12,2}^1 \wedge x_{12,3}^1 = y_{12}^0 \wedge y_{39}^0 \wedge y_{58}^0; & y_{13}^1 &= x_{13,1}^1 \wedge x_{13,2}^1 \wedge x_{13,3}^1 = y_{13}^0 \wedge y_{40}^0 \wedge y_{59}^0; \\
y_{14}^1 &= x_{14,1}^1 \wedge x_{14,2}^1 = y_{14}^0 \wedge y_{47}^0; \\
y_{15}^1 &= x_{15,1}^1 \wedge x_{15,2}^1 \wedge x_{15,3}^1 \wedge (x_{15,4}^1 \vee x_{15,5}^1) = y_{15}^0 \wedge y_{33}^0 \wedge y_{49}^0 \wedge (y_{71}^0 \vee y_{72}^0); \\
y_{16}^1 &= x_{16,1}^1 \wedge x_{16,2}^1 \wedge x_{16,3}^1 = y_{16}^0 \wedge y_{34}^0 \wedge y_{51}^0; \\
y_{17}^1 &= x_{17,1}^1 \wedge x_{17,2}^1 \wedge x_{17,3}^1 = y_{17}^0 \wedge y_{35}^0 \wedge y_{52}^0; \\
y_{18}^1 &= x_{18,1}^1 \wedge x_{18,2}^1 \wedge x_{18,3}^1 = y_{18}^0 \wedge y_{36}^0 \wedge y_{54}^0; \\
y_{19}^1 &= x_{19,1}^1 \wedge x_{19,2}^1 \wedge (x_{19,3}^1 \vee x_{19,4}^1) = y_{19}^0 \wedge y_{57}^0 \wedge (y_{67}^0 \vee y_{68}^0); \\
y_{20}^1 &= x_{20,1}^1 \wedge x_{20,2}^1 \wedge (x_{20,3}^1 \vee x_{20,4}^1) = y_{20}^0 \wedge y_{60}^0 \wedge (y_{69}^0 \vee y_{70}^0); \\
y_{21}^1 &= x_{21,1}^1 \wedge x_{21,2}^1 = y_{21}^0 \wedge y_{61}^0; \\
y_{22}^1 &= x_{22,1}^1 \wedge x_{22,2}^1 \wedge (x_{22,3}^1 \vee x_{22,4}^1) = y_{22}^0 \wedge y_{62}^0 \wedge (y_{73}^0 \vee y_{74}^0); \\
y_{23}^1 &= x_{23,1}^1 \wedge x_{23,2}^1 \wedge x_{23,3}^1 \wedge (x_{23,4}^1 \vee x_{23,5}^1) = y_{23}^0 \wedge y_{31}^0 \wedge y_{63}^0 \wedge (y_{75}^0 \vee y_{76}^0); \\
y_{24}^1 &= x_{24,1}^1 \wedge x_{24,2}^1 \wedge x_{24,3}^1 \wedge (x_{24,4}^1 \vee x_{24,5}^1) = y_{24}^0 \wedge y_{32}^0 \wedge y_{64}^0 \wedge (y_{77}^0 \vee y_{78}^0); \\
y_{25}^1 &= x_{25}^1 = y_{79}^0; & y_{26}^1 &= x_{26}^1 = y_{80}^0; & y_{27}^1 &= x_{27}^1 = y_{81}^0; & y_{28}^1 &= x_{28}^1 = y_{82}^0; \\
y_{29}^1 &= x_{29}^1 = y_{83}^0; & y_{30}^1 &= x_{30}^1 = y_{84}^0; & y_{31}^1 &= x_{31}^1 = y_{85}^0; & y_{32}^1 &= x_{32}^1 = y_{86}^0;
\end{aligned}$$

Այսպիսով, ՀՄՏՀ-ի գործունեության ձևայնացված գործընթացը նկարագրության առաջին մակարդակի վրա ներկայացվում է որպես 32 դիսկրետ պատահական գործընթացների կարգավորված համախումբ, որոնցից յուրաքանչյուրը նկարագրվում է բուլյան համապատասխան ֆունկցիայով:

2) **Մանրացման համալիրների մակարդակի վրա** ՀՄՏՀ-ն ներկայացվել է տասը ՄՀ-ի ($E_i^2, i \in I^2$ երկրորդ մակարդակի ենթահամակարգերի) համախմբի տեսքով: Յուրաքանչյուր ՄՀ, կախված նրա կազմում գտնվող կամ նրա վրա ազդող մանրացման ազդեցատների վիճակից (խափանված՝ «0», աշխատունակ՝ «1»), շնորհիվ պահուստային կապերի օգտագործմամբ կառուցվածքի վերափոխման, կարող է աշխատել հնարավոր ռեժիմներից որևիցե մեկով՝ որոշակի մանրացման սխեմայով:

ՄՀ-երի ելքային բնութագրերի միջին վիճակագրական արժեքները հնարավոր բոլոր ռեժիմների համար [10, 111] բերված են աղյ. 3.7-ում:

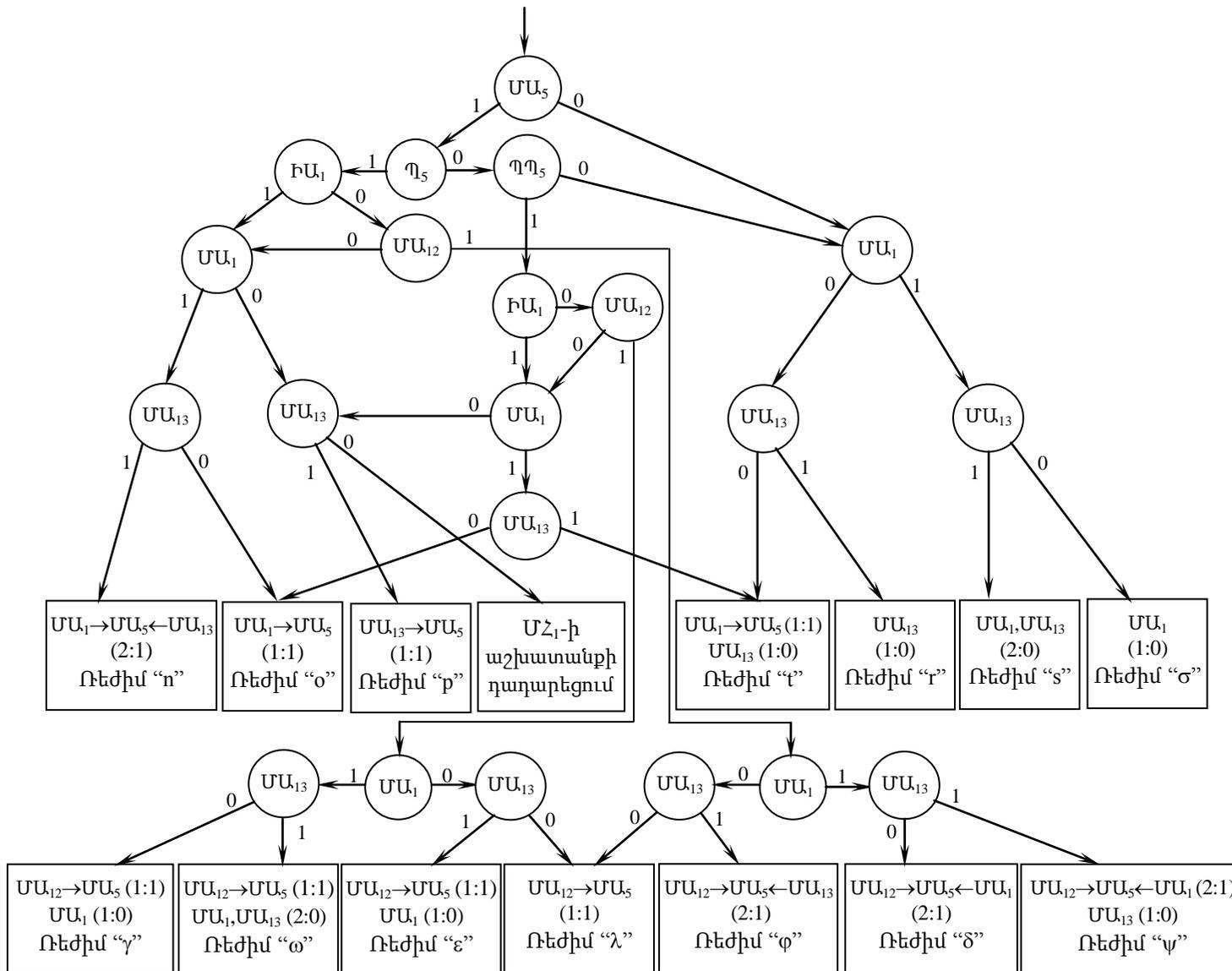
ՀԱՏՀ-ի ՄՀ-երի աղացման սխեմաները և աշխատանքային ռեժիմները

ՄՀ-երի նշանակումները		ՄՀ-երի աշխ. ռեժիմները	ՄՀ-երի աղացման տեխնոլոգիապես հնարավոր սխեմաները		ՄՀ-երի ելքային բնութագրերի միջին փճակագր. արժեքները		
խոշոր սխ.	ձև. սխ		աղաց. սխեման	աղացների լծորդման սխեման	արտադր. ըստ սկզբ. հանք. ($y_1^2, q/d$)	-80մկմ դասի պարունակ. խյուսաթափվածքում ($y_2^2, \%$)	խյուսաթափվածքի խտությունը ($y_3^2, q/l$)
1	2	3	4	5	6	7	8
ՄՀ ₁	E ₁ ²	n	2 փուլ	ՄԱ ₁ → ՄԱ ₅ ← ՄԱ ₁₃ (2:1)	140	55	1270
		o	2 փուլ	ՄԱ ₁ → ՄԱ ₅ (1:1)	75	57	1270
		p	2 փուլ	ՄԱ ₁₃ → ՄԱ ₅ (1:1)	80	55	1270
		σ	1 փուլ	ՄԱ ₁ (1:0)	50	55	1240
		r	1 փուլ	ՄԱ ₁₃ (1:0)	60	55	1240
		s	1 փուլ	ՄԱ ₁ ∧ ՄԱ ₁₃ (2:0)	110	55	1240
		t	խառը	ՄԱ ₁₃ , ՄԱ ₁ → ՄԱ ₅ (1:0), (1:1)	135	56,1	1256
		u	խառը	ՄԱ ₁ , ՄԱ ₁₃ → ՄԱ ₅ (1:0), (1:1)	130	55	1258
		λ	2 փուլ	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ (1:1)	80	55	1250
		γ	խառը	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ (1:1), ՄԱ ₁ (1:0)	130	55	1246
		ω	խառը	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ (1:1), ՄԱ ₁ , ՄԱ ₁₃ (2:0)	190	55	1244
		ε	խառը	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ (1:1), ՄԱ ₁₃ (1:0)	140	55	1246
		φ	2 փուլ	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ ← ՄԱ ₁₃ (2:1)	145	55	1260
		ψ	խառը	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ ← ՄԱ ₁ (2:1) ՄԱ ₁₃ (1:0)	200	56	1254
		δ	2 փուլ	ՄԱ ₁₂ → ՄԱ ₅ ← ՄԱ ₁ (2:1)	140	56	1260
ՄՀ ₂	E ₂ ²	i	2 փուլ	ՄԱ ₃ → ՄԱ ₆ ← ՄԱ ₂ (2:1)	180	53,5	1290
		j	2 փուլ	ՄԱ ₂ → ՄԱ ₆ ∨ ՄԱ ₃ → ՄԱ ₆ (1:1)	100	55	1280
		k	1 փուլ	ՄԱ ₂ ∨ ՄԱ ₃ (1:0)	60	53	1280
		l	1 փուլ	ՄԱ ₂ ∧ ՄԱ ₃ (2:0)	120	53	1280
		m	խառը	ՄԱ ₃ , ՄԱ ₂ → ՄԱ ₆ ∨ ՄԱ ₂ , ՄԱ ₃ → ՄԱ ₆ (1:0), (1:1)	160	54,25	1280
ՄՀ ₃	E ₃ ²	i	2 փուլ	ՄԱ ₄ → ՄԱ ₇ ← ՄԱ ₈ (2:1)	180	53,5	1290
		j	2 փուլ	ՄԱ ₄ → ՄԱ ₇ ∨ ՄԱ ₈ → ՄԱ ₇ (1:1)	100	55	1280
		k	1 փուլ	ՄԱ ₄ ∨ ՄԱ ₈ (1:0)	60	53	1280
		l	1 փուլ	ՄԱ ₄ ∧ ՄԱ ₈ (2:0)	120	53	1280
		m	խառը	ՄԱ ₈ , ՄԱ ₄ → ՄԱ ₇ ∨ ՄԱ ₄ , ՄԱ ₈ → ՄԱ ₇ (1:0), (1:1)	160	54,25	1280
ՄՀ ₄	E ₄ ²	f	2 փուլ	ՄԱ ₁₀ → ՄԱ ₉ (1:1)	130	55	1290
		g	1 փուլ	ՄԱ ₁₀ (1:0)	70	54	1240
		h	1 փուլ	ՄԱ ₉ (1:0)	60	54,5	1265

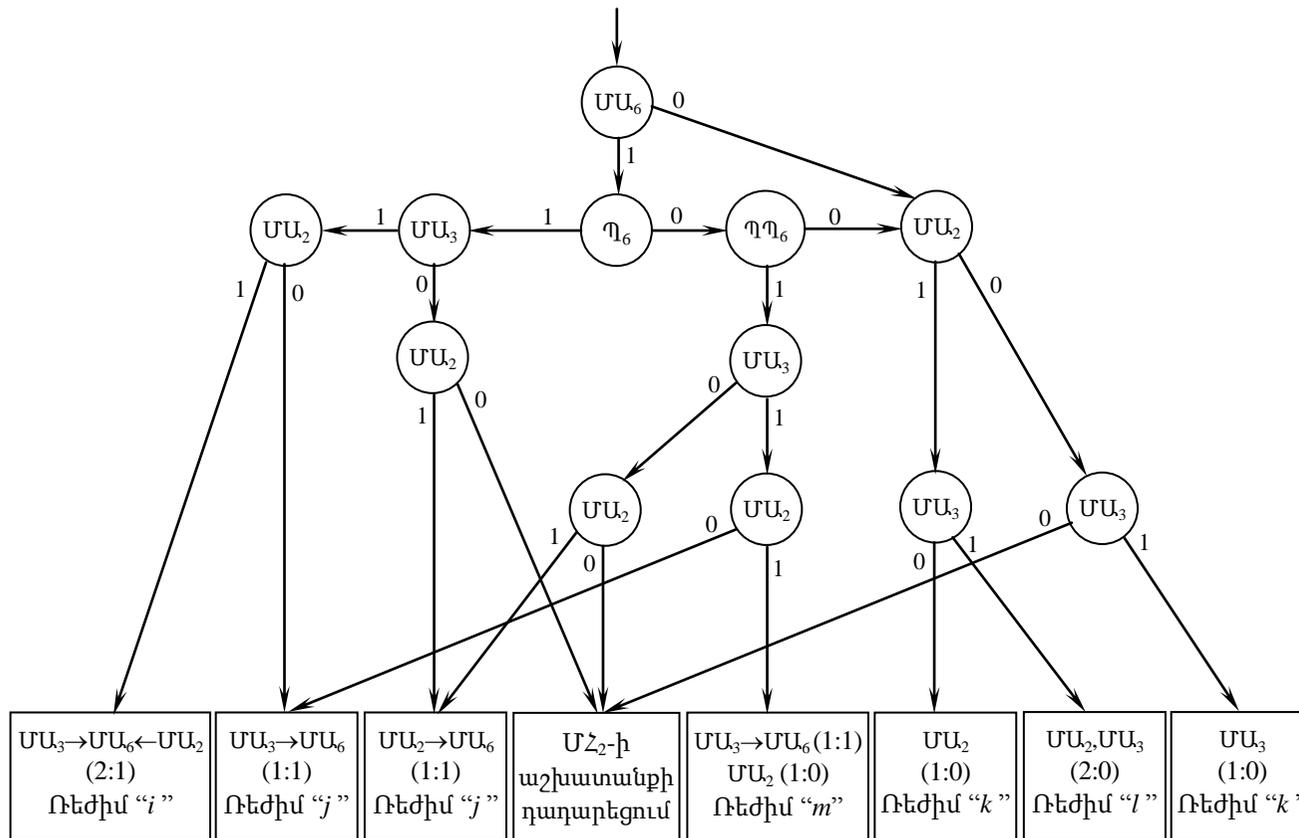
ՀԱՏՀ-ի ՄՀ-երի աղացման սխեմաները և աշխատանքի ռեժիմները

1	2	3	4	4	5	6	7
ՄՀ ₅	E ₅ ²	v	2 փուլ	ՄԱ ₂₄ → ԻԱ ₃ (1:1)	126,7	56,3	1344,7
		w	1 փուլ	ԻԱ ₃ (1:0)	80	56,3	1273,3
		β	2 փուլ	ՄԱ ₁₄ → ԻԱ ₃ ← ՄԱ ₂₄ (2:1)	130	56,3	1344
ՄՀ ₆	E ₆ ²	x	2 փուլ	ՄԱ ₂₁ → ՄԱ ₂₀ (1:1)	140	58	1300
		y	1 փուլ	ՄԱ ₂₁ (1:0)	60	56	1300
		z	1 փուլ	ՄԱ ₂₀ (1:0)	53	56	1280
ՄՀ ₇	E ₇ ²	x	2 փուլ	ՄԱ ₂₂ → ՄԱ ₂₃ (1:1)	140	58	1300
		y	1 փուլ	ՄԱ ₂₂ (1:0)	60	56	1300
		z	1 փուլ	ՄԱ ₂₃ (1:0)	53	56	1280
ՄՀ ₈	E ₈ ²	v	2 փուլ	ՄԱ ₁₂ → ԻԱ ₁ (1:1)	126,7	56,3	1344,7
		w	1 փուլ	ԻԱ ₁ (1:0)	80	56,3	1273,3
ՄՀ ₉	E ₉ ²	v	2 փուլ	ՄԱ ₁₄ → ԻԱ ₂ (1:1)	126,7	56,3	1344,7
		w	1 փուլ	ԻԱ ₂ (1:0)	80	56,3	1273,3
		β	2 փուլ	ՄԱ ₁₄ → ԻԱ ₂ ← ՄԱ ₂₄ (2:1)	130	56,3	1344
ՄՀ ₁₀	E ₁₀ ²	a	2 փուլ	ՄԱ ₁₇ → ՄԱ ₁₁ ← ՄԱ ₁₆ (2:1)	180	54	1283,3
		b	1 փուլ	ՄԱ ₁₇ → ՄԱ ₁₁ ∨ ՄԱ ₁₆ → ՄԱ ₁₁ (1:1)	100	55	1267,5
		c	1 փուլ	ՄԱ ₁₇ ∨ ՄԱ ₁₆ ∨ ՄԱ ₁₁ (1:0)	60	54,5	1250
		d	1 փուլ	ՄԱ ₁₇ ∧ ՄԱ ₁₆ (2:0)	120	54,5	1250
		e	խառը	ՄԱ ₁₇ , ՄԱ ₁₆ → ՄԱ ₁₁ ∨ ՄԱ ₁₆ , ՄԱ ₁₇ → ՄԱ ₁₁ (1:0), (1:1)	180	54,8	1261

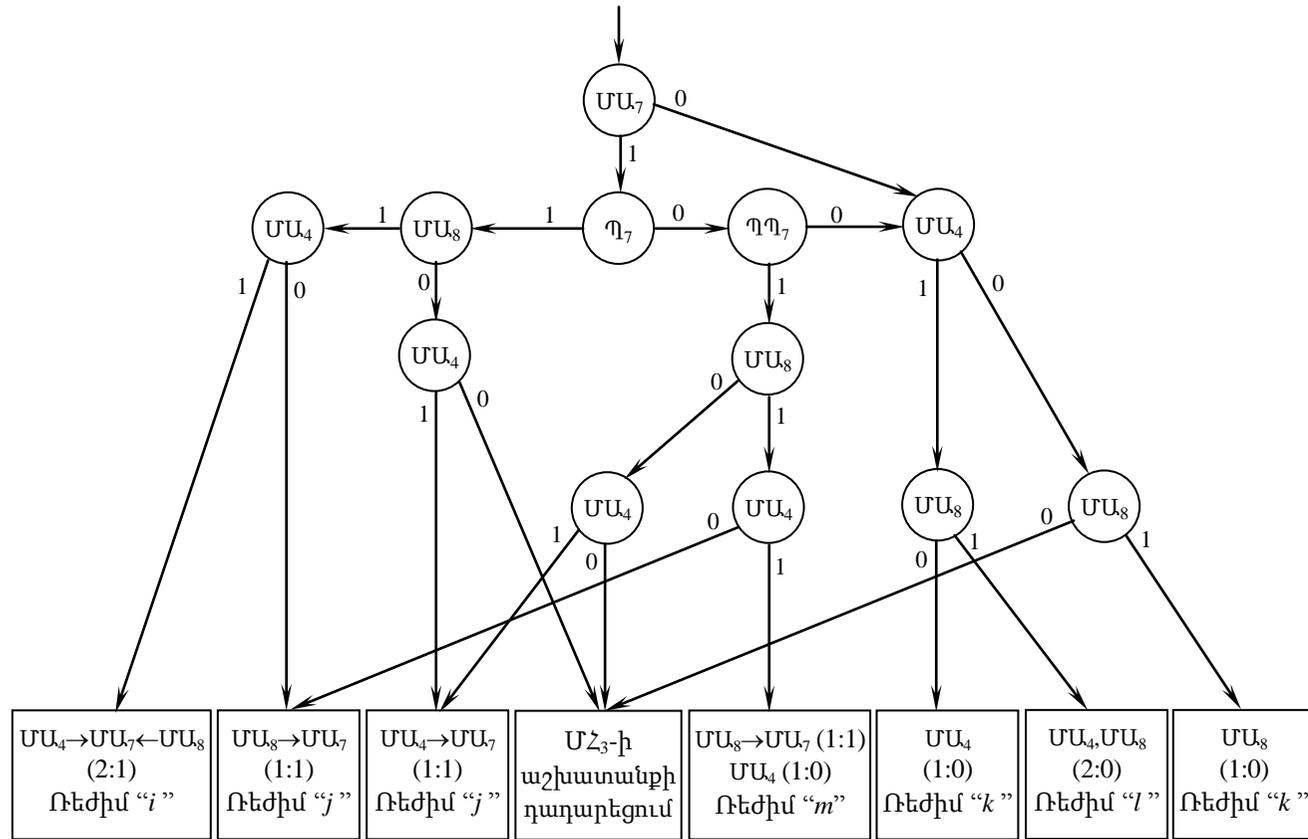
ՄԱ-երի աշխատունակության փոփոխության (խափանումների կամ վերականգնումների) դեպքում տեղի է ունենում E_i^2 համալիրի կառուցվածքի վերափոխում և անցում նոր աշխատանքային ռեժիմի: Համապատասխան ՄԱ-երի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ազդեցության հետևանքով E_i^2 ՄՀ-ի մի ռեժիմից այլ ռեժիմին անցման դիսկրետ պատահական գործընթացը դիտարկվում է որպես դրա գործունեության ձևայնացված գործընթաց նկարագրության երկրորդ մակարդակի վրա: Յուրաքանչյուր ՄՀ-ի գործունեությունը ձևայնացվում է մանրացման սարքավորումների խափանումների դեպքում ՄՀ-երի կառուցվածքի վերափոխման և աշխատանքային ռեժիմների ընտրության վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառերի տեսքով [54, 10, 111] (նկ. 3.4-3.13), որոնք, ըստ էության, վճիռների կայացման ավտոմատացված համակարգեր են:



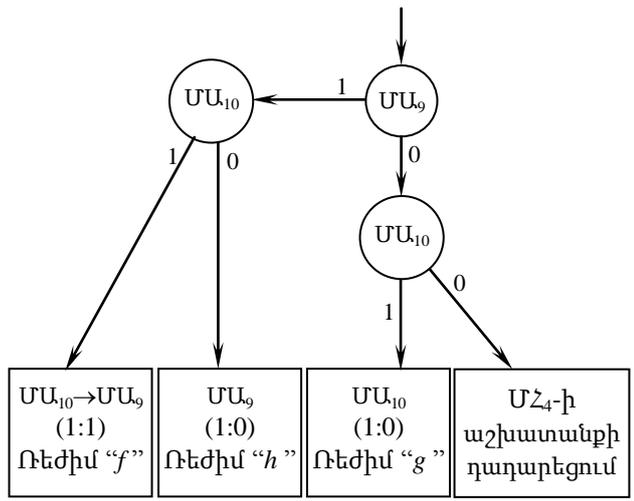
Նկ. 3.4. ՄՀ₁-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



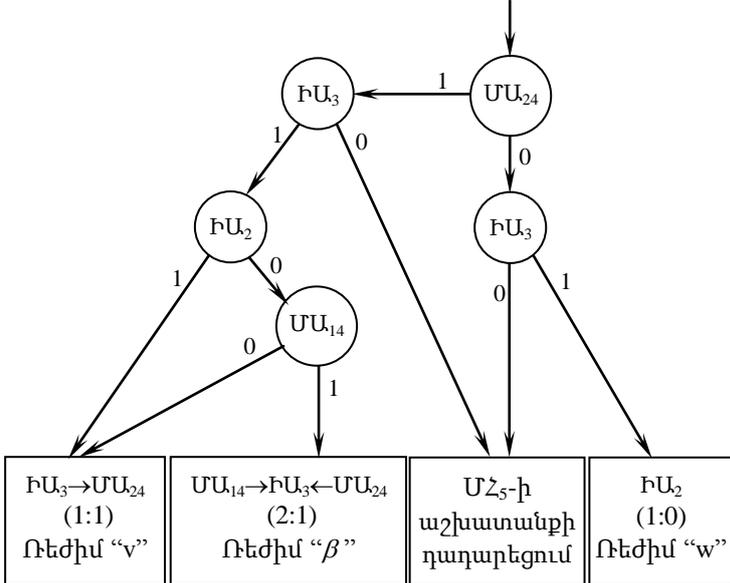
Նկ. 3.5. U_2 -ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



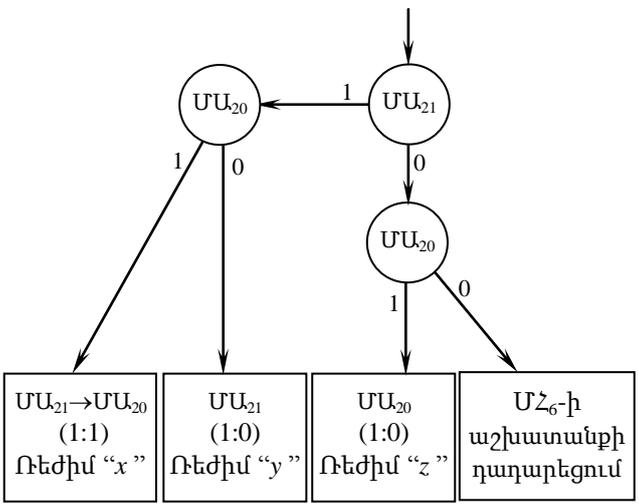
Նկ. 3.6. M_3 -ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



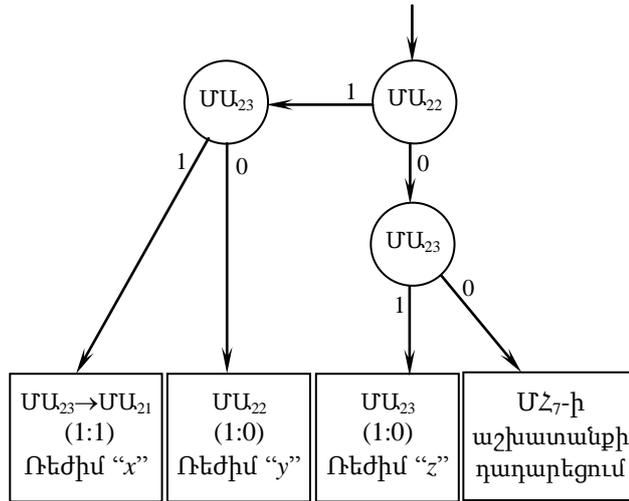
Նկ. 3.7. ՄՀ₄-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



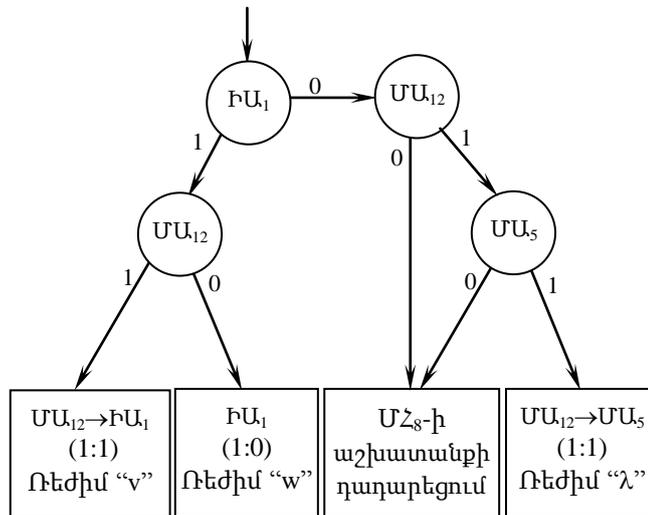
Նկ. 3.8. ՄՀ₅-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



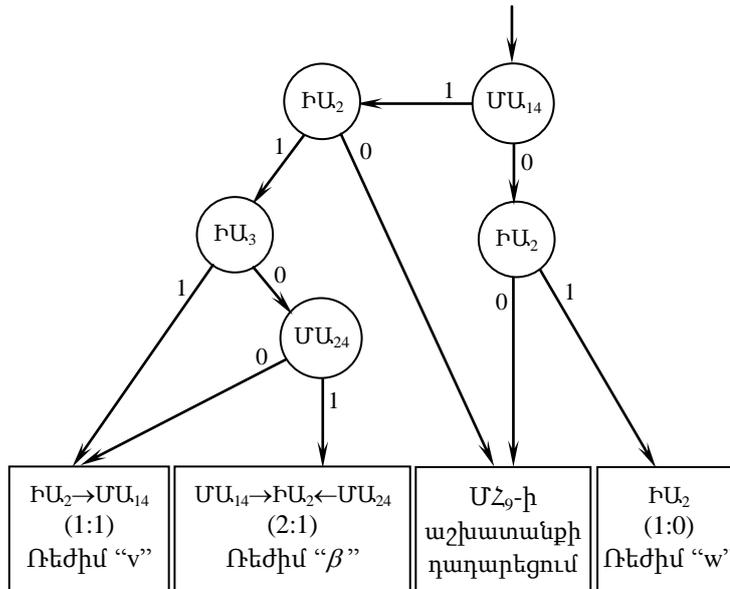
Նկ. 3.9. ՄՀ₆-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



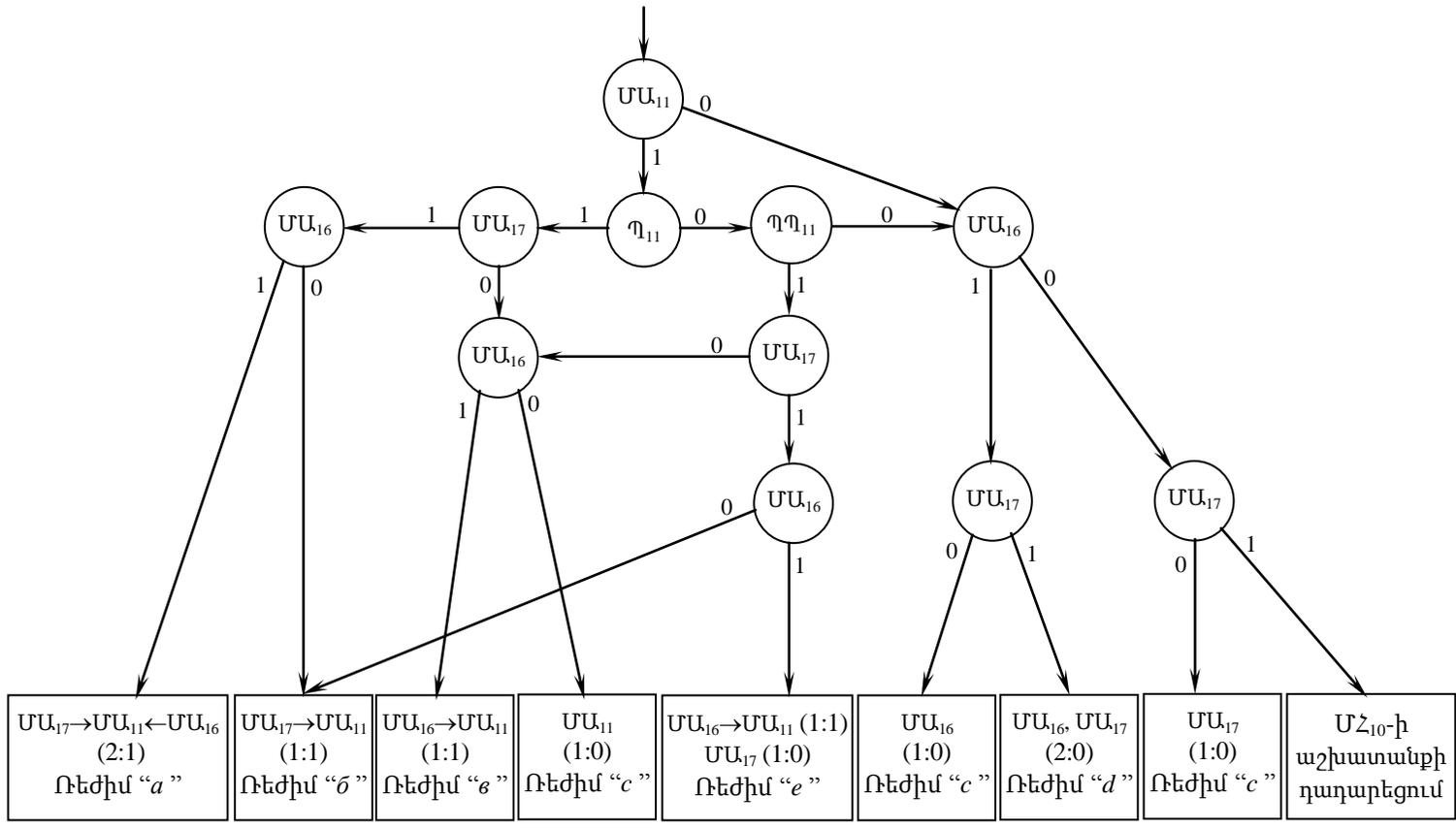
Նկ. 3.10. ՄՀ₇-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



Նկ. 3.11. ՄՀ₈-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



Նկ. 3.12. ՄՀ₉-ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը



Նկ. 3.13. $U_{Z_{10}}$ -ի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ծառը

Յուրաքանչյուր վճիռների կայացման ծառ տրված մուտքային ազդանշանին՝ ՄԱ-երի վիճակների վեկտորին, համադրում է համապատասխան ելքային ազդանշանը՝ ՄՀ-ի կառուցվածքի վերափոխման և ռեժիմի ընտրման վերաբերյալ կայացվող վճիռը (տես աղ. 3.7):

Այսպիսով, նկարագրության երկրորդ մակարդակի վրա ՀՄՏՀ-ի գործունեության ձևայնացված գործընթացն իրենից ներկայացնում է 10 ընդհատ պատահական գործընթացների կարգավորված համախումբ, որոնցից յուրաքանչյուրը նկարագրվում է համապատասխան վճիռների կայացման ծառով:

3) **Երրորդ, համակարգային մակարդակի վրա** ՀՄՏՀ-ն դիտարկվում է որպես մի օբյեկտ՝ խառնիչ, որի մուտքը ՄՀ-երի ելքային խյուսաթափվածքների համախումբն է, իսկ ելքը՝ ֆլոտացմանը տրվող միացյալ խյուսը: Տվյալ մակարդակի վրա ՀՄՏՀ-ի ձևական նկարագրությունը կապ է հաստատում ՀՄՏՀ-ի և ՄՀ-երի ելքային բնութագրերի միջև: Յուրաքանչյուր E_i^2 մանրացման համալիր ժամանակի t պահին բնութագրվում է արտադրողականությամբ (պնդի ծախսով)՝ $x_i^3(t)$, խյուսաթափվածքում <80 մկմ դասի պարունակությամբ՝ $x_{(i+10)}^3(t)$ և խյուսաթափվածքի խտությամբ՝ $x_{(i+20)}^3(t)$: Նշանակենք ՀՄՏՀ-ի համապատասխան բնութագրերը $y_1^3(t)$, $y_2^3(t)$, $y_3^3(t)$: [10, 111, 143, 144] աշխատություններում ցույց է տրված, որ ՀՄՏՀ-ի և ՄՀ-երի վերոնշյալ բնութագրերի միջև գոյություն ունեն հետևյալ առնչությունները.

$$y_1^3(t) = \sum_{i=1}^{10} x_i^3(t), \quad (3.6)$$

$$y_2^3(t) = \left[\sum_{i=1}^{10} x_i^3(t) \cdot x_{(i+10)}^3(t) \right] / \sum_{i=1}^{10} x_i^3(t), \quad (3.7)$$

$$y_3^3(t) = \left[\sum_{i=1}^{10} \frac{x_i^3(t) \cdot x_{(i+20)}^3(t)}{x_{(i+20)}^3(t) - 1000} \right] / \sum_{i=1}^{10} \frac{x_i^3(t)}{x_{(i+20)}^3(t) - 1000} : \quad (3.8)$$

Այսպիսով, ՄՀ-երի ելքային խյուսաթափվածքների $x_i^3(t)$, $x_{(i+10)}^3(t)$, $x_{(i+20)}^3(t)$ բնութագրերի փոփոխության հետևանքով ՀՄՏՀ-ի միացյալ ելքային խյուսի $y_1^3(t)$, $y_2^3(t)$, $y_3^3(t)$ բնութագրերի փոփոխության ընդհատ պատահական գործընթացը դիտարկվում է որպես ՀՄՏՀ-ի ձևայնացված գործընթաց՝ նկարագրության երրորդ մակարդակի վրա:

Եզրակացություններ գլուխ 3-ի վերաբերյալ

1. ԶՊՄԿ-ի մանրացման սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի հավանականությունների բաշխման օրենքների նույնականացման նպատակով ԶՊՄԿ-ի աշխատակիցների հետ համատեղ երեք տարվա ընթացքում հավաքվել են վիճակագրական տվյալներ մանրացման սարքավորումների հուսալիության վերաբերյալ:
2. Ուիլքոքսոնի և Կրուսկալ-Ուոլիսի ոչ պարամետրական չափանիշների կիրառությամբ միատիպ սարքավորումների համար ստուգվել են ընտրանքների համասեռության մասին հիպոթեզները: Հիդրոցիկլոնների, սնուցիչների և փոխադրիչների համեմատաբար բարձր հուսալիության պարագայում խափանումների ընդհանուր թիվը շահագործման երեք տարվա ժամանակահատվածում բավարար չէր ընտրանքների համասեռության մասին հիպոթեզների ստուգման և հավանականությունների բաշխման օրենքների նույնականացման համար, ինչի պատճառով ՀՄՏՀ-ի գործունեությունը մոդելավորելիս հիշյալ սարքավորումները համարվել են բացարձակ հուսալի:
3. Նույնականացվել են ԶՊՄԿ-ի ՀՄՏՀ-ի մանրացման սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման խտության ֆունկցիաները: Փորձական և տեսական բաշխումների համաձայնության ստուգման համար օգտագործվել է Պիրսոնի χ^2 չափանիշը, որն առավել հզոր է մեծածավալ ընտրանքների դեպքում: Մանրացման սարքավորումների հուսալիության վերաբերյալ վիճակագրական տվյալներով կառուցված հիստագրերի հիման վրա հիպոթեզներ են առաջադրվել դրանց բաշխման օրենքների մասին: Որպես բաշխման ենթադրյալ օրենքներ դիտարկվել են ցուցչային, լոգարիթմական-նորմալ, Վեյբուլի և Ռելեյի բաշխումները:
4. Որոշվել են բացահայտված բաշխման ֆունկցիաների պարամետրերի վիճակագրական գնահատականները, խափանումների միջև միջին աշխատաժամանակը, վերականգնման միջին ժամանակը և կառուցվել են դրանց վստահելի սահմանները:

5. ՀՏՄՀ-ի սարքավորումների խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի հավանականությունների բաշխման խտությունների ֆունկցիաների հիման վրա ճշհատուկ վիճակների սկզբունքի կիրառությամբ մշակվել է հանքաքարի մանրացման սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային մոդելը: Մոդելավորող ալգորիթմի կառուցումն իրականացվել է մոդուլային սկզբունքի և ռեգիստրային մեթոդի կիրառությամբ, ինչի շնորհիվ մոդելն օժտված է որոշակի ճկունությամբ և ունի վերսալությամբ:
6. ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի նմանակային մոդելը կառուցվել է պրոֆեսոր Ա.Շ. Բալասանյանի կողմից մշակված պրոբլեմակողմնորոշված ստրատիֆիկացված ձևայնացման մեթոդի և ընդհանրական մոդելի կիրառությամբ, ինչի շնորհիվ հաջողվել է հաղթահարել համակարգի հնարավոր վիճակների տարածության մեծ չափողականությունը: Այդ մոդելը վերարտադրում է սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի ազդեցության ներքո ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացը մանրացման ագրեգատների, մանրացման համալիրների և համակարգային մակարդակների վրա:

ԳԼՈՒԽ 4

ՊՂՆՁԱՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

4.1. Հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի ընդհանուր բնութագիրը

Գլուխ 2-ում մշակված ֆլոտացման գործընթացի հավանականային օպտիմալ կառավարման խնդրի (2.3) մաթեմատիկական մոդելը ներառում է ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելը, որն իրենից ներկայացնում է ստորև բերված մոդելների համախումբ.

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(u, x), \\ y_2 &= f_2(u, x), \\ y_3 &= f_3(u, x), \\ y_4 &= f_4(u, x), \\ y_5 &= f_5(u, x): \end{aligned} \tag{4.1}$$

Մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդով հանքանյութերի ֆլոտացման բարդ տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային օպտիմալ կառավարման խնդրի լուծման համար անհրաժեշտ է իրականացնել որոշ պարզեցումներ, քանի որ մոդելավորումն ինքնին ենթադրում է վերացարկման միջոցով իրականության պարզեցում: Բնականաբար, հարց է ծագում, թե ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալացման նպատակով ինչ աստիճանի կարելի է պարզեցնել նրա մոդելը: Տրամաբանական է, որ այդ հարցի պատասխանը կախված է խնդրի դրվածքից: Եթե անհրաժեշտ է իրականացնել հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի օպերատիվ (online ռեժիմում) կառավարում, ապա անհրաժեշտ է կառուցել բարդ դինամիկ բազմամակարդակ ֆիզիկաքիմիական մոդել [1,7]: Իսկ եթե ձևակերպվում է հարստացման արդյունավետության չափանիշի առավելարկման խնդիրը ռեագենտների ծախսի օպտիմալ արժեքների ընտրության ճանապարհով՝ կախված հանքաքարի բնութագրերից և հանքաքարի մանրացման գործընթացի ելքային բնութագրերից, ապա խնդրի այդպիսի դրվածքի դեպքում, բնականաբար,

հետազոտողին չի հետաքրքրում ոչ հանքաքարի վրա ռեագենտների ազդեցության մեխանիզմը, ոչ դրանց միջև փոխազդեցությունը, ոչ էլ հանքաքարի ֆլոտացման ժամանակ ֆիզիկաքիմիական գործընթացների դինամիկան: Վերացարկվելով այդ բարդություններից և ֆլոտացման ներքին էությունից՝ հետազոտվում է միայն ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգի արձագանքը մուտքային ազդեցության նկատմամբ՝ դիտարկելով այն որպես «սև արկղ» (մակրոմոդել): Մակրոմոդելը ցանկացած համակարգի պարզագույն մոդելն է, որի ներքին կառուցվածքը կարող է անհասանելի կամ շատ բարդ լինել հետազոտության համար: Ընդ որում հետազոտողի կողմից դրված խնդրի շրջանակներում, նրա վարքը միանգամայն համարժեք է իրական համակարգի վարքին [3, 25]:

Հաճախ արտադրական գործընթացների ուսումնասիրության ժամանակ մակրոմոդելավորումը գործնականում հետազոտման միակ հնարավոր մեթոդն է, քանի որ հազվադեպ է հաջողվում բավական խորը ուսումնասիրել համակարգի գործունեության մեխանիզմի ֆիզիկաքիմիական օրինաչափությունները և ներքին կառուցվածքը՝ չխախտելով գործընթացի բնականոն վիճակը: Այդ պատճառով արտադրական համակարգերի մակրոմոդելների կառուցման հիմնական մաթեմատիկական ապարատը համարվում է մաթեմատիկական վիճակագրությունը, ավելի ճշգրիտ՝ դիսպերսիոն, կորելյացիոն-ռեգրեսիոն վերլուծությունը՝ արտաքին միջավայրի նմանակային մոդելավորման համակցմամբ:

Ինչպես ցույց է տալիս վիճակագրական տվյալներով կառուցված պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի մոդելավորման գործնական փորձը, արգումենտների խմբային հաշվառման [146, 147], քայլային ռեգրեսիայի [130] և փափուկ հաշվողական մեթոդներով [9] (ՈՀՏ, ԱՆՑ, ԳԱ, ՎԿԾ) կառավարման նպատակով հաջողվել է կառուցել բավական բարձր դետերմինացման գործակցով ($R^2=0,8...0,93$) ֆլոտացման գործընթացի կառավարման մակրոմոդելներ [4-6, 50, 115, 119, 147, 148]:

Հաշվի առնելով վերոգրյալը և առաջադրված օպտիմալ կառավարման (2.3) խնդրի բնույթը՝ նպատակահարմար է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի մոդելի կառուցումն իրականացնել մակրոմոտեցման կիրառությամբ:

4.1.1. Մոդելի փոփոխականների նախնական կազմի որոշումը

Ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի կառուցման համար նախ և առաջ անհրաժեշտ է որոշել մուտքային, ելքային և կառավարող փոփոխականների կազմը: ԶՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգի նկարագրությունից (հավելված 2) հետևում է, որ այն բարդ տեխնիկական համակարգ է, որին բնորոշ են հետևյալ բնութագրական առանձնահատկությունները [1, 4, 9, 50, 148, 149]:

1. Փոխկապակցված տարրերի մեծ քանակությունը (ներկայումս ընդհանուր առմամբ ԶՊՄԿ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայում տեղադրված է տարբեր չափսի ՔՈՓ մակնիշի 315 ֆլոտացման խցիկ):
2. Ֆլոտացման գործընթացի վրա ազդող փոփոխականների մեծ թիվը. ըստ հրապարակումների տվյալների [28, 29] ֆլոտացման գործընթացի վրա տարբեր չափով ազդում է մոտ 100 փոփոխական:
3. Ֆլոտացման համակարգի վարքի անորոշությունը և անկանխատեսելիությունը, որոնք պայմանավորված են հետևյալով.
 - ֆլոտացման գործընթացի պարամետրերի արժեքների համակցությունների և գործողությունների բոլոր հնարավոր տարբերակների մեծ քանակը (պարզագույն դեպքում մինչև 10^{13}),
 - տարբեր տեխնիկական պատճառներով պարամետրերի անկառավարելի փոփոխությունները,
 - մասնիկների բաժանման գործընթացի հավանականային բնույթը:
4. Ֆլոտացման գործընթացում ինքնակարգավորման տարրերի և շրջանառվող խյուսահոսքերի օգնությամբ իրականացվող հետադարձ կապերի առկայությունը, ինչի շնորհիվ ապահովվում է խտանյութերի համեմատաբար կայուն կորզում և որակ նույնիսկ ռեագենտների ծախսի էական տատանումների դեպքում:
5. Ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգի գործունեության գործընթացի բազմաչափանիշայնությունը:

Այսպիսով, պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգը իրոք բարդ տեխնիկական համակարգ է, որը բնութագրվում է փոխկապակցված տարրերի մեծ թվով: Դրանց գործունեությունը ինքնակարգավորվում է հետադարձ կապերի օգնությամբ, մեծաթիվ փոխազդող, բազմաբնույթ գործոններով, այդ թվում պատահական, որոնց ազդեցության ներքո համակարգի գործունեությունը հավանականային բնույթ է կրում:

Ընդհանուր առմամբ, պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգը՝ որպես կառավարման օբյեկտ բնութագրվում է հետևյալ փոփոխականներով (պարամետրերով):

Մուտքային փոփոխականներ՝ $x = (x_1, x_2, \dots, x_\ell)$:

1. Սկզբնական հանքաքարի պարամետրերը (x_1, x_2, \dots, x_k) : Հանքաքարում ընդհանուր մոլիբդենի, մոլիբդենի օքսիդի, մոլիբդենի սուլֆիդի, ընդհանուր պղնձի, պղնձի սուլֆիդի, պղնձի օքսիդի, սերտաճվածքի, առաջնային շլամի, կաոլինի, գիպսի, լուծվող մետաղների պարունակությունները, խյուսի կլանման ընդունակությունը ըստ հավաքող ռեագենտների, կարծր մասի ստանդարտ մակակլանման ունակությունը:

2. Մանրացված հանքանյութի պարամետրերը՝ $(x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_\ell)$:

Կոլեկտիվ ֆլոտացման ցիկլ. Կոլեկտիվ ֆլոտացման տրվող հանքանյութի (խյուսի) հատիկաչափական բնութագիրը՝ խյուսում <80 մկմ դասի և >160 մկմ դասի պարունակությունները, խյուսի խտությունը, կարծր մասի ծախսը (արտադրողականությունը):

Սելեկտիվ (մոլիբդենի) ֆլոտացման ցիկլ. մոլիբդենային ֆլոտացման տրվող հանքանյութի հատիկաչափական բնութագիրը՝ խյուսում <80 մկմ դասի և >160 մկմ դասի պարունակությունները, խյուսի խտությունը, կարծր մասի ծախսը (արտադրողականությունը):

Ելքային փոփոխականներ՝ $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$:

Կոլեկտիվ ֆլոտացման ցիկլ. մոլիբդենի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում, պղնձի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում, մոլիբդենի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում, պղնձի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում, կոլեկտիվ խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի ելքը),

Մոլիբդենային ֆլուրացման ցիկլ. մոլիբդենի պարունակությունը և կորզումը մոլիբդենի խտանյութում, մոլիբդենի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի ելքը),

Պղնձի ֆլուրացման ցիկլ. պղնձի պարունակությունը և կորզումը պղնձի խտանյութում, պղնձի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի ելքը):

Կառավարող փոփոխականներ՝ $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$:

Կոլեկտիվ ֆլուրացման ցիկլ. կրի ծախսը, Na_2S -ի ծախսը, բութիլային քսանտոգենատի ծախսը, ՕՓՇԵ (T92) փրփրիչի ծախսը, մոդիֆիկատորի ծախսը, կալցիումական սոդայի ծախսը, խյուսի pH-ը, խյուսի օդահագեցման աստիճանը (օդի ծախսը), խյուսի ջերմաստիճանը ֆլոտամեքենայում, փրփուրի բարձրությունը ֆլոտամեքենայում, խյուսի մակարդակը ֆլոտամեքենայում, փրփուրի հանման արագությունը, լրամանրացված հանքանյութում (դասակարգչի խյուսաթափվածքում) <80 մկմ դասի պարունակությունը, խյուսի խտությունը (լրամանրացման հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքում):

Սելեկտիվ (մոլիբդենային) ֆլուրացման ցիկլ. շոգեհարման ջերմաստիճանը, շոգեհարման ժամանակը, <80 մկմ դասի պարունակությունը խյուսում (լրամանրացված հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքում), խյուսի խտությունը (լրամանրացված հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքում), Na_2S -ի ծախսը, կերոսինի ծախսը, կալցիումական սոդայի ծախսը, մոդիֆիկատորի (հեղուկ ապակու) ծախսը, խյուսի մակարդակը ֆլոտամեքենայում, փրփուրի բարձրությունը ֆլոտամեքենայում, փրփուրի հանման արագությունը, խյուսի ջերմաստիճանը ֆլոտամեքենայում:

4.1.2. Փորձագիտական գնահատման մեթոդով հանքաքարի ֆլոտացման մաթեմատիկական մոդելի էական փոփոխականների որոշումը

Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական համակարգի ուսումնասիրման ժամանակ ատենախոսական աշխատանքում դիտարկվել են 59 գործոն, որոնք կարող են ազդեցություն ունենալ ֆլոտացման արդյունավետության վրա: Մի կողմից, բոլոր էապես ազդող գործոնների ազդեցությունը շատ կարևոր է,

քանի որ օպտիմալ լուծումը կարող է ամենևին էլ օպտիմալ չլինել, եթե մեկ կամ մի քանի այդպիսի գործոններ հաշվի չեն առնվել: Մյուս կողմից, հետազոտվող օբյեկտի վրա ազդող բոլոր գործոնների դիտարկումը բարդեցնում է մոդելի կառուցումն ու օգտագործումը կապված դրա մեծ չափողականության հետ:

Պետք է նկատի ունենալ, որ տարբեր գործոնների ազդեցությունը ֆլուտացման գործընթացի վրա միևնույնը չէ. սովորաբար միայն մի քանի գործոն (ըստ [1, 5-7] մինչև 6) գործնականում էական ազդեցություն են թողնում ելքային մեծության վրա, իսկ մնացածի ազդեցությունը աննշան է (համաձայն Պարետոյի սկզբունքի [139], համակարգի հատկությունների 80%-ը պայմանավորված է միայն տարրերի ընդհանուր թվի 20%-ով):

Խնդիրն էական գործոնների ազդեցության հայտնաբերումն ու նույնականացումն է այլ գործոնների «գրոյական (շեմային)» ֆոնի վրա: Ընդ որում պետք է հաշվի առնել ազդող գործոնների (ռեագենտներ և այլն) ինչպես որակական, այնպես էլ քանակական բնութագրերը, քանի որ սահմանված տեխնոլոգիական տիրույթներից դուրս նույնիսկ էական գործոնները աննշան են ազդում գործընթացի ելքային բնութագրերի վրա, այսինքն էական գործոնի փոփոխման միջակայքի անհաջող ընտրության դեպքում այն կարող է նույնականացվել որպես ֆոն:

Մեծաթիվ փոփոխականների դեպքում ռեգրեսիոն մոդելի լավագույն մուտքային փոփոխականների ընտրության սովորական մեթոդները (ընդգրկման, բացառման, քայլային ռեգրեսիայի) խնդրի լուծման համար կիրառելի չեն, քանի որ գիտափորձերի վրա կատարված ծախսերը շատ մեծ են: Այդ պատճառով նպատակահարմար է էական փոփոխականները ընտրել առանց թանկարժեք գիտափորձերի անցկացման՝ ֆլուտացման տեխնոլոգիական համակարգի գործնական շահագործման նախնական վերլուծության, մասնագետների կարծիքների հարցման կամ հրապարակումների հիման վրա: Այդպիսի նախնական ինֆորմացիայի վիճակագրական վերլուծության նպատակով հաջողությամբ կիրառվում են փորձագիտական գնահատման տարբեր մեթոդներ [150-152]: Փորձագիտական մեթոդները կիրառվում են այն դեպքերում, երբ վճիռների ընդունումը, հիմնավորումը և ընդունված վճիռների հետևանքների գնահատումը հնարավոր չէ իրականացնել ճշգրիտ հաշվարկների օգնությամբ: Նման

իրավիճակները հատկանշական են հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման ավտոմատացված համակարգի նախագծման սկզբնական փուլերին, որոնց հիմնական խնդիրը կառավարման օբյեկտի հետազոտումը և դրա մաթեմատիկական մոդելի մշակումն է:

Հաշվի առնելով վերոգրյալը՝ ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի (4.1) մաթեմատիկական մոդելի կարևորագույն փոփոխականների ընտրումը իրականացվել է փորձագիտական գնահատման մեթոդով [150-153]:

Փորձագիտական հարցման արդյունքների հավաստիությունը և արդյունավետությունը էականորեն կախված են ձևակերպված խնդրի ճշգրտությունից և որոշակիությունից: Տվյալ դեպքում այդ խնդիրը կարելի է ձևակերպել հետևյալ կերպ. անհրաժեշտ է որոշել ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի մուտքային, ելքային և կառավարող փոփոխականների կարևորության գործակիցները ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետության վրա դրանց ազդեցության տեսակետից:

Փորձագիտական խմբի ձևավորումը: Համաձայն փորձաքննության անցկացման գոյություն ունեցող մեթոդիկայի [150-152] ստեղծվել է վերլուծաբանների խումբ, որոնց խնդիրն էր փորձագետների խմբի ձևավորումը, հարցման մեթոդի ընտրությունը, հարցման անցկացումը և արդյունքների մշակումը [151]:

Փորձագետների ընտրության ժամանակ հաշվի են առնվել նրանց կոմպետենտությունը (մասնագիտական կարողությունը, բանիմացությունը), օբյեկտիվությունը և հետաքրքրվածությունը հետազոտությունների արդյունքների նկատմամբ: Փորձաքննական հարցման ճշտությունը և հավաստիությունը կախված են ինչպես փորձագետների թվից, այնպես էլ խմբում տարբեր մասնագետների տոկոսային կազմից: Խումբը չպետք է բաղկացած լինի մի բնագավառի մասնագետներից, քանի որ այդ դեպքում նրանց կարծիքները կարող են միակողմանի լինել:

Հաշվի առնելով վերոնշյալը՝ ձևավորվել է փորձագետների խումբը (հավելված 3, աղ. < 3.1):

Փորձագիտական գնահատման մեթոդի ընտրությունը: Տարբերում են անհատական, խմբային, առերես (հարցազրույց) և հեռակա (հարցաթերթիկների լրացում) հարցման մեթոդներ: Անհատական մեթոդների հիմնական թերությունը փորձագետների փոխազդեցության և փոխգործողության բացակայությունն է: Սակայն փորձագետների անկախությունն այս դեպքում ապահովում է առավել հավաստի արդյունքներ խմբային մեթոդների հետ համեմատած, քանի որ «գերիշխող» փորձագետների ազդեցությունը և փորձաքննության գաղտնիության խախտումը կարող է հանգեցնել գնահատականների շեղմանը:

Հարցաթերթիկների լրացման միջոցով հեռակա հարցման գլխավոր դրական կողմերից է փորձաքննության գաղտնիության ապահովումը, էժանությունն ու պարզությունը:

Հաշվի առնելով վերը նշվածը, ֆլոտացման գործընթացի մոդելի էական փոփոխականների որոշման համար ընտրվել է հարցման հեռակա մեթոդը:

Հարցման արդյունքների մշակումն ընդգրկում է երկու փուլ. խմբային կարծիքի ձևավորման նպատակով փորձագետների անհատական գնահատականների ընդհանրացում և փորձագետների կարծիքների համաձայնեցվածության ստուգում:

Փորձագետներից ստացված ինֆորմացիայի մշակման եղանակի ընտրությունը կախված է փորձաքննական գնահատման մեթոդից: Տարբերում են փորձաքննական գնահատման հետևյալ մեթոդները. դասակարգում ըստ կարևորության աստիճանի, անմիջական գնահատում և զույգ առ զույգ համեմատում (հաջորդական նախապատվությունների մեթոդ): Հաշվի առնելով նշված մեթոդներից յուրաքանչյուրի առավելություններն ու թերությունները, ինչպես նաև դրանց գործնական կիրառման փորձը, ֆլոտացման մոդելի էական փոփոխականների որոշման համար՝ որպես փորձագիտական գնահատման մեթոդ ընտրվել է անմիջական գնահատման մեթոդը, որը հնարավորություն է տալիս առավել հստակ գնահատել առանձին փոփոխականների կարևորությունը:

Փորձագիտական հարցումը և դրա արդյունքների մշակումը: Ֆլոտացման գործընթացի մոդելի էական փոփոխականների որոշման նպատակով իրականացվել է փորձագետների խմբի հեռակա հարցում [151]: Ընդ որում փորձագետներին

առաջարկվել է 100 բալանոց սանդղակով գնահատել ֆլուտացման գործընթացի 59 պարամետրերից յուրաքանչյուրի կարևորությունը հանքանյութերի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության վրա դրանց ազդեցության աստիճանի տեսանկյունից:

Փորձագետների կողմից լրացված անհատական հարցաթերթիկները միավորվել են փորձագետների գնահատականների $\|d_{ij}\|$ ամփոփ մատրիցում, որը ներկայացված է աղյ. < 3.2-ում:

Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման արդյունքում (տես հավելված 3) որպես պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլուտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի էական փոփոխականներ ընտրվել են կարևորության գործակցի $\approx 2,6$ շեմային արժեքը գերազանցող հետևյալ մուտքային, կառավարող և ելքային փոփոխականները (փակագծերում նշված են փոփոխականների կարևորության գործակիցների արժեքները):

Մուտքային փոփոխականները

Սկզնական հանքաքարի պարամետրերը. մոլիբդենի ընդհանուր (3,482), մոլիբդենի սուլֆիդի (2,611), պղնձի ընդհանուր (3,482), պղնձի օքսիդի (2,653) միջին հերթափոխային պարունակությունները:

Կոլեկտիվ ֆլուտացման ենթարկվող խյուսի պարամետրերը. <80 մկմ դասի միջին հերթափոխային պարունակությունը (3,422), խյուսի միջին հերթափոխային խտությունը (3,303), հերթափոխի ընթացքում խյուսի պինդ մասի ծախսը (3,403):

Կառավարող փոփոխականները

Կոլեկտիվ ֆլուտացման ցիկլ. խյուսի pH-ը (3,374), լրամանրացված հանքանյութում <80 մկմ դասի պարունակությունը (հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքը) (3,09), խյուսի խտությունը (լրամանրացված հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքը) (2,836), կրի ծախսը (3,456), Na_2S -ի ծախսը (3,456), բուֆիլային քսանտոգենատի ծախսը (3,456), փրփրիչի ծախսը ОПСБ (Т 92) (3,307), օդի ծախսը (3,233), խյուսի ջերմաստիճանը ֆլուտամեքենայում (2,78, C^0):

Սելենիդ (*Mo*) ֆլուորացման ցիկլ. շոգեհարման ջերմաստիճանը (2,91, C⁰), խյուսի խտությունը (լրամանրացված հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքը) (3,115), Na₂S-ի ծախսը (3,456), կերոսինի ծախսը (3,352):

Սելենիդ (*Cu*) ֆլուորացման ցիկլ. օդի ծախսը (3,233), ռեագենտների ծախսը՝ կիր (3,456), Na₂S (3,456), բուֆիլային քսանտոգենատ (3,456), փրփրիչ ОПСБ (Т 92) (3,307):

Ելքային փոփոխականները

Սելենիդ (*Mo*) ֆլուորացման ցիկլ. մոլիբդենի խտանյութի զանգվածի ելքը (արտադրողականությունը) (3,482), մոլիբդենի պարունակությունը մոլիբդենի խտանյութում (3,482), մոլիբդենի կորզումը մոլիբդենի խտանյութում (3,482),

Սելենիդ (*Cu*) ֆլուորացման ցիկլ. պղնձի խտանյութի զանգվածի ելքը (արտադրողականությունը) (3,37) պղնձի պարունակությունը պղնձի խտանյութում (3,422), պղնձի կորզումը պղնձի խտանյութում (3,27):

Ինչպես ցույց է տալիս կոնկորդացիայի գործակցի վիճակագրական նշանակալիության մասին հիպոթեզի ստուգումը (հավելված 3), կոնկորդացիայի գործակցի հաշվարկված արժեքը ($W = 0,471$) վիճակագրորեն նշանակալի է $\alpha = 0,05$ նշանակալիության մակարդակի դեպքում, քանի որ $\hat{\chi}^2 = 355,2$ չափանիշի հաշվարկային արժեքը նշանակալիորեն գերազանցում է $\chi_{0,05}^2(12) = 28,3$ աղյուսակային արժեքը, այսինքն փորձագետների կարծիքները համաձայնեցված են և փորձաքննության արդյունքները համարվում են հավաստի: Այդ փաստն անուղղակիորեն հաստատվում է նաև փորձագետների կոմպետենտության գործակցիցների արժեքների աննշան տարբերությամբ:

Հաշվի առնելով փորձագիտական հարցումների արդյունքները, վիճակագրական տվյալների հավաքման իրական հնարավորությունը և կառավարող փոփոխականների բնույթը (իրական ժամանակի և հեռանկարային) 59 փոփոխականներից նախապես ընտրվել են հետևյալ առավել կարևորները.

Մոդելի մուտքային փոփոխականները

ՀՄՏՀ-ի պատրաստի արտադրանքի (խյուսի) բնութագրերը. մեկ հերթափոխի ընթացքում հանքաքարի ծախսը (x_1 , տոննա), պատրաստի արտադրանքում <80 մկմ դասի պարունակությունը (x_2 , %), խյուսի խտությունը (x_3 , գ/լ):

Սկզբնական հանքաքարի բնութագրերը. հանքաքարում ընդհանուր մոլիբդենի (x_4), մոլիբդենի սուլֆիդի (x_5), ընդհանուր պղնձի (x_6) և պղնձի օքսիդի (x_7) պարունակությունները (%-երով):

Մոդելի կառավարող (հեռանկարային) փոփոխականները

Կոլեկտորի ֆլուտացման ցիկլ. կրի ծախսը (u_1 , գ/տ), Na_2S -ի ծախսը (u_2 , գ/տ), բութիլային քսանտոգենատի ծախսը (u_3 , գ/տ), փրփրիչի ՕՍԵՅ (T 92) ծախսը (u_4 , գ/տ):

Սելեկտորի (Mo) ֆլուտացման ցիկլ. կերոսինի ծախսը (u_5 , գ/տ), Na_2S -ի ծախսը (u_6 , գ/տ):

Սելեկտորի (Cu) ֆլուտացման ցիկլ. կրի ծախսը (u_7 , գ/տ), բութիլային քսանտոգենատի ծախսը (u_8 , գ/տ):

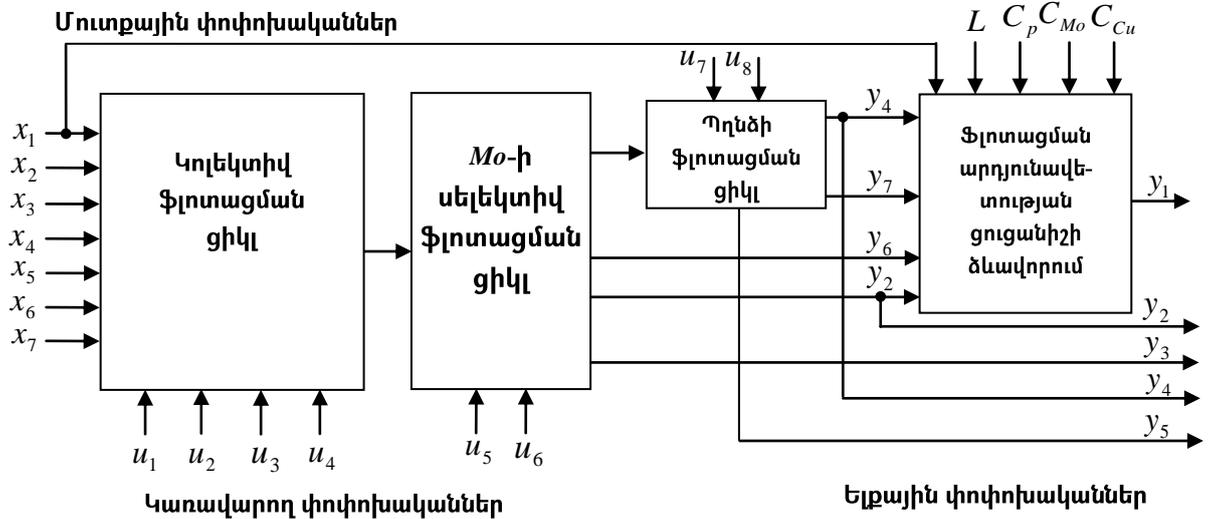
Մոդելի ելքային փոփոխականները

Մոլիբդենային խտանյութում մոլիբդենի միջին հերթափոխային պարունակությունը (y_2 , %) և կորզումը (y_3 , %), պղնձի խտանյութում պղնձի պարունակությունը (y_4 , %) և կորզումը (y_5 , %), մեկ հերթափոխում մոլիբդենի խտանյութի զանգվածի ելքը (y_6 , տ) և պղնձի խտանյութի զանգվածի ելքը (y_7 , տ): Մուտքային x_1 փոփոխականի և նշված ելքային փոփոխականների միջին հերթափոխային արժեքների հիման վրա յուրաքանչյուր հերթափոխի համար շահույթը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով.

$$y_1 = \frac{y_2 \cdot y_6}{100} \cdot C_{Mo} + \frac{y_4 \cdot y_7}{100} \cdot C_{Cu} - x_1 \cdot C_p - L, \quad (4.2)$$

որտեղ x_1 -ը, y_2 -ը, y_4 -ը, y_6 -ը, y_7 -ը համապատասխան փոփոխականների արժեքներն են, C_{Mo} -ը և C_{Cu} -ը - համապատասխանաբար մեկ տոննա մոլիբդենի և պղնձի շուկայական գներն են, C_p -ը մեկ տոննա հանքաքարի վերամշակման ծախսն է, L -ը մեկ հերթափոխի պայմանական հաստատուն ծախսն է:

Այսպիսով, փորձագիտական հարցման ստացված արդյունքների հիման վրա և (4.2) առնչության հաշվառմամբ ֆլոտացման ձևայնացված գործընթացը կարելի է ներկայացնել նկար 4.1-ում պատկերված տեսքով:



Նկ. 4.1. Ֆլոտացման գործընթացի ձևայնացված կառուցվածքային սխեման

4.2. Հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմպյուտերային մոդելի մշակումը

4.2.1. Հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քոմպյուտերային մոդել

Ինչպես նշել ենք 3.4.2-ում, ՀՄՏՀ-ի գործունեության որակը ժամանակի ցանկացած t պահին բնութագրվում է նրա $y^3(t) = (y_1^3(t), y_2^3(t), y_3^3(t))$ ելքային բնութագրերի արժեքների հավաքածուով, որտեղ $y_1^3(t)$ -ն համակարգի արտադրողականությունն է $(տ/ժ)$, $y_2^3(t)$ -ն <80 մկմ դասի տոկոսային պարունակությունն է մանրացված արտադրանքում, $y_3^3(t)$ -ն՝ ելքային խյուսի խտությունը (գ/լ): Ժամանակի ընթացքում մանրացման սարքավորումների խափանումների և վերականգնումների հետևանքով տեղի է ունենում ՀՄՏՀ-ի կառուցվածքի և մանրացման ագրեգատների աշխատանքի ռեժիմների փոփոխություն, ինչի հետևանքով փոփոխվում են համակարգի $y_1^3(t), y_2^3(t), y_3^3(t)$ ելքային բնութագրերը: Ձևականորեն ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացը մեկ հերթափոխի ընթացքում կարելի է ներկայացնել որպես նրա

տարրերի աշխատունակության փոփոխության հետևանքով համակարգի վիճակների պատահական հաջորդականություն, որը բնութագրվում է $y^3(t)$ վեկտորով:

Մանրացման գործընթացի ակնթարթային բնութագրերի հետ համատեղ, որպես ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրեր, ընտրվել են մեկ հերթափոխի ընթացքում մշակված հանքաքարի չոր զանգվածը (q_1) (տ), մանրացված արտադրանքում <80 մկմ դասի միջին հերթափոխային տոկոսային պարունակությունը (q_2), խյուսի միջին հերթափոխային խտությունը (q_3) (գ/լ): Համակարգի ելքային բնութագրերը, տվյալ հերթափոխի ընթացքում իրացված որոշակի $\{(t_j, y_j^3), j = \overline{1, m}\}$ ֆազային հետագծի համար հաշվարկվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$q_1 = \sum_{j=1}^{l+1} \tau_j \cdot y_{1j}^3; \quad q_2 = \sum_{j=1}^{l+1} \tau_j \cdot y_{1j}^3 \cdot y_{2j}^3 / q_1; \quad q_3 = \sum_{j=1}^{l+1} \tau_j \cdot y_{1j}^3 \cdot y_{3j}^3 / q_1, \quad (4.3)$$

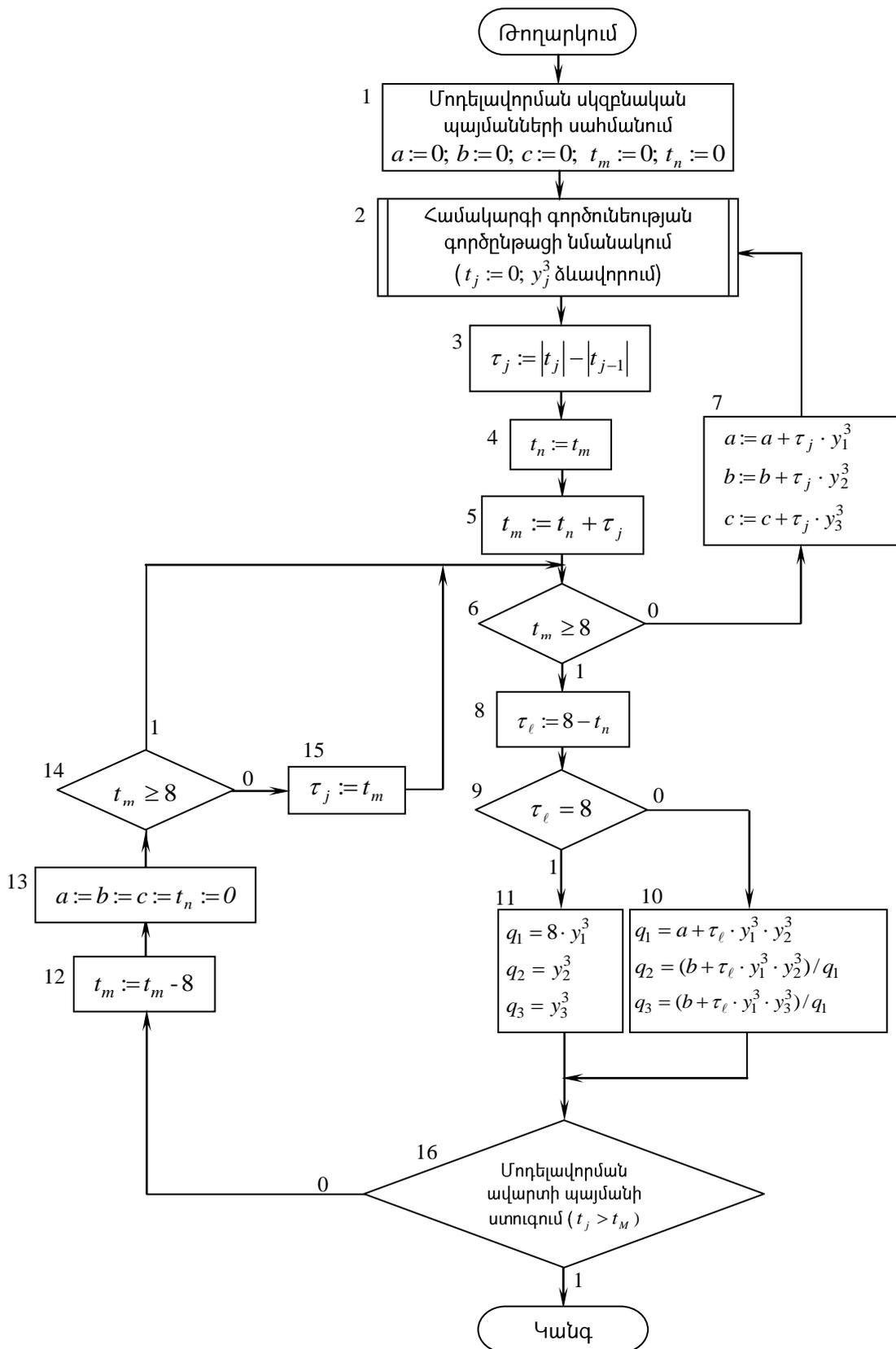
որտեղ $\tau_j = t_j - t_{j-1}$ -ն j -րդ վիճակում համակարգի գտնվելու պատահական ժամանակահատվածն է, որը բնութագրվում է $(y_{1j}^3, y_{2j}^3, y_{3j}^3)$ կոնկրետ հավաքածուով, m -ը տվյալ հերթափոխի ընթացքում համակարգի վիճակի փոփոխությունների քանակն է, $\tau_{l+1} = 8 - \sum_{j=1}^m \tau_j$ -ն տվյալ հերթափոխում համակարգի վերջին վիճակում գտնվելու ժամանակահատվածն է: Եթե մեկ կամ մի քանի հերթափոխի ընթացքում համակարգը մնում է միևնույն $y_j^3 = (y_{1j}^3, y_{2j}^3, y_{3j}^3)$ վիճակում, ապա ելքային միջակայքային բնութագրերը հաշվարկվում են հետևյալ բանաձևերով

$$q_1 = 8 \cdot y_{1j}^3; \quad q_2 = y_{2j}^3; \quad q_3 = y_{3j}^3: \quad (4.4)$$

(4.3) և (4.4) բանաձևերով համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման ալգորիթմի կառուցման համար անհրաժեշտ է առանձնացնել հետևյալ հիշողության բջիջները. t_m -ը՝ $\sum \tau_j$ գումարի ընթացիկ արժեքի պահպանման համար, t_n -ը՝ t_m -ի նախորդ արժեքի պահպանման համար, τ_l -ը՝ $8 - t_n$ տարբերության պահպանման համար, a -ն, b -ն, c -ն՝ համապատասխանաբար $\sum_{j=1}^{l+1} \tau_j \cdot y_{1j}^3$, $\sum_{j=1}^{l+1} \tau_j \cdot y_{1j}^3 \cdot y_{2j}^3$, $\sum_{j=1}^{l+1} \tau_j \cdot y_{1j}^3 \cdot y_{3j}^3$, գումարների պահպանման համար, q_1 -ը, q_2 -ը, q_3 -ը՝ ելքային միջակայքային բնութագրերի արժեքների պահպանման համար:

Քոմփյութերային մոդելը [154], որի բլոկ-սխեման բերված է նկ. 4.2-ում աշխատում է հետևյալ կերպ: Թողարկումից հետո թիվ 1 օպերատորը սահմանում է մոդելավորման սկզբնական պայմանները և կառավարումը փոխանցում է համակարգի գործունեության գործընթացի նմանակային մոդելին (թիվ 2 օպերատոր): Այստեղ ձևավորվում են համակարգի նոր վիճակին անցման պահերը և որոշվում են համակարգի ելքային բնութագրերի ակնթարթային արժեքները: Այնուհետև թիվ 3 օպերատորը որոշում է նախորդ վիճակում համակարգի գտնվելու τ_1 ժամանակահատվածը, որի հիման վրա թիվ 5 օպերատորը որոշում է համակարգի վիճակի փոփոխության t_m պահը:

Որից հետո թիվ 4 օպերատորը հիշում է համակարգի վիճակի նախորդ փոփոխության t_n պահը: Թիվ 6 օպերատորը ստուգում է t_m -ի դիտարկվող հերթափոխին պատկանելու պայմանը և այդ պայմանի կատարման դեպքում կառավարումը փոխանցում է թիվ 7 օպերատորին, որը հաշվարկում է համապատասխան գումարները և կուտակում դրանք a, b, c հիշողության բջիջներում: Այնուհետև կրկին գործում է համակարգի նմանակային մոդելը, որը ձևավորում է համակարգի հերթական նոր վիճակ անցնելու t_j պահը և որոշում է ելքային բնութագրերի նոր արժեքները: Նկարագրված գործընթացը կրկնվում է մինչև $t_m \geq 8$ պայմանի կատարումը, որից հետո որոշվում է տվյալ հերթափոխում համակարգի վերջին վիճակում մնալու τ_1 ժամանակահատվածը: Այնուհետև թիվ 9 օպերատորը ստուգում է $\tau_j = 8$ պայմանը (արդյոք փոխվում է համակարգի վիճակը տվյալ հերթափոխի ընթացքում) և ստուգման արդյունքից կախված կառավարումը փոխանցում է թիվ 10 կամ 11 օպերատորին, որոնք հաշվարկում են q_1, q_2, q_3 ելքային միջակայքային բնութագրերի արժեքները: Այնուհետև թիվ 16 օպերատորը ստուգում է մոդելավորման ավարտի պայմանը, թիվ 13 օպերատորն անցնում է հերթական հերթափոխի դիտարկմանը, իսկ թիվ 14 օպերատորը մաքրում է համապատասխան բջիջները՝ նոր հերթափոխի համար միջակայքային բնութագրերի հաշվարկման համար:



Նկ. 4.2. Քոմպյուտերային մոդելի բլոկ-սխեման

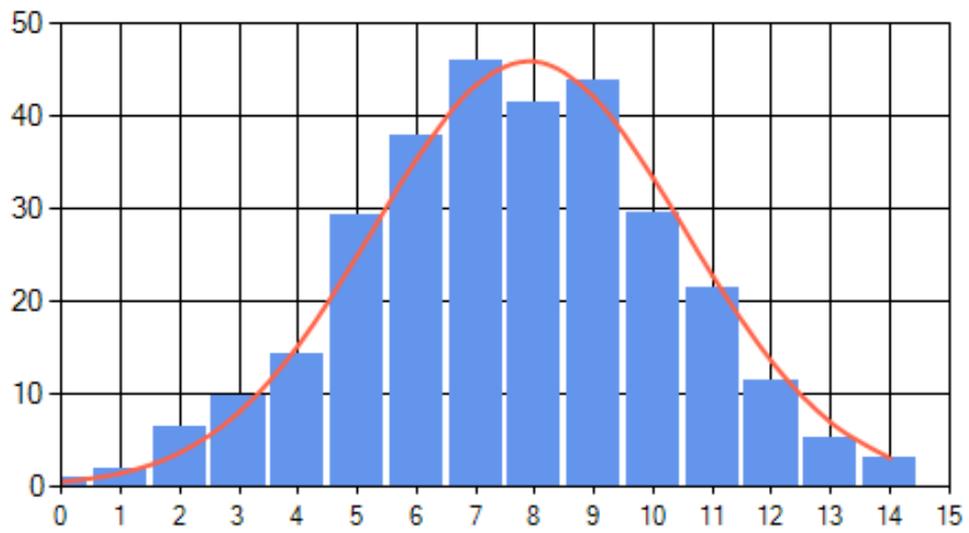
Դրանից հետո թիվ 15 օպերատորը ստուգում է t_m -ի պատկանելիությունը նոր հերթափոխին (ստուգվում է համակարգի վիճակի փոփոխության պայմանը հաջորդ հերթափոխի ընթացքում): Այս պայմանի ստուգման դեպքում t_m արժեքը դիտարկվում է որպես նոր հերթափոխի τ_1 ժամանակահատված և կրկին գործում են 6,7,2,3,4,5 ցիկլի օպերատորները: Հակառակ դեպքում ($t_m \geq 8$), կառավարումն անմիջականորեն փոխանցվում է թիվ 6 օպերատորին, որից հետո՝ թիվ 8 օպերատորին:

Նշենք, որ նկարագրված ալգորիթմը ապահովում է ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի արժեքների ձևավորումը նրա գործունեության բոլոր հնարավոր հետագծերի իրականացման և t_j ժամանակահատվածի ցանկացած սկզբնական արժեքների դեպքում:

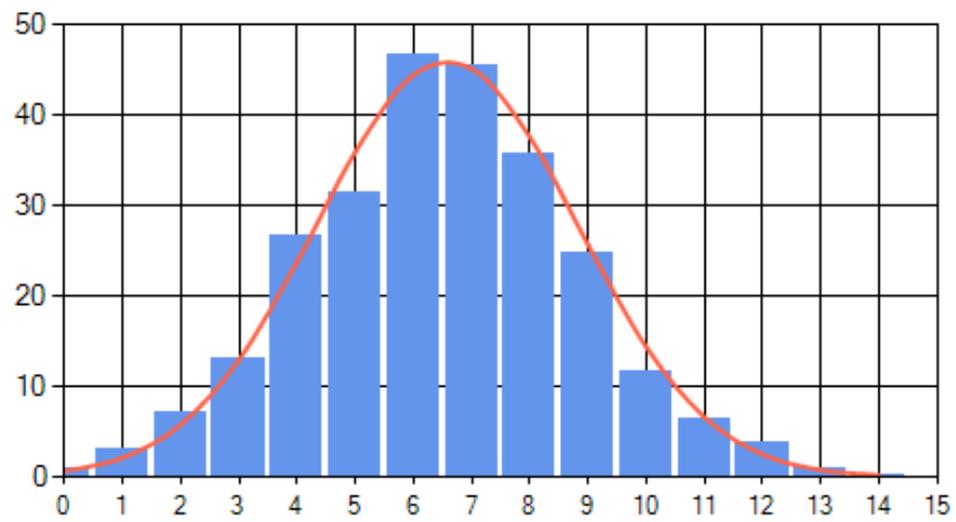
4.2.2. Սկզբնական պղնձամոլիբդենային հանքաքարի բնութագրերի հավանականությունների բաշխման օրենքների նույնականացումը

Համաձայն կետ 4.1.2-ում բերված փորձագիտական հարցման արդյունքների, սկզբնական հանքաքարի կարևորագույն բնութագրերը հետևյալն են. հանքաքարում մոլիբդենի ընդհանուր (x_4), մոլիբդենի սուլֆիդի (x_5), ընդհանուր պղնձի (x_6) և պղնձի օքսիդի (x_7) միջին հերթափոխային պարունակությունները (%-ով): Նշված բնութագրերի բաշխման օրենքները նույնականացվել են ԶՊՄԿ-ի տեխնիկական վերահսկողության կողմից կատարված նմուշարկման տվյալների հիման վրա: Նկ. 4.3-4.6-ում բերված են այդ տվյալների հիման վրա կառուցված սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի հիստագրերը, որոնցից ելնելով առաջադրվել են հիպոթեզներ դրանց հավանականությունների բաշխումների օրենքների վերաբերյալ:

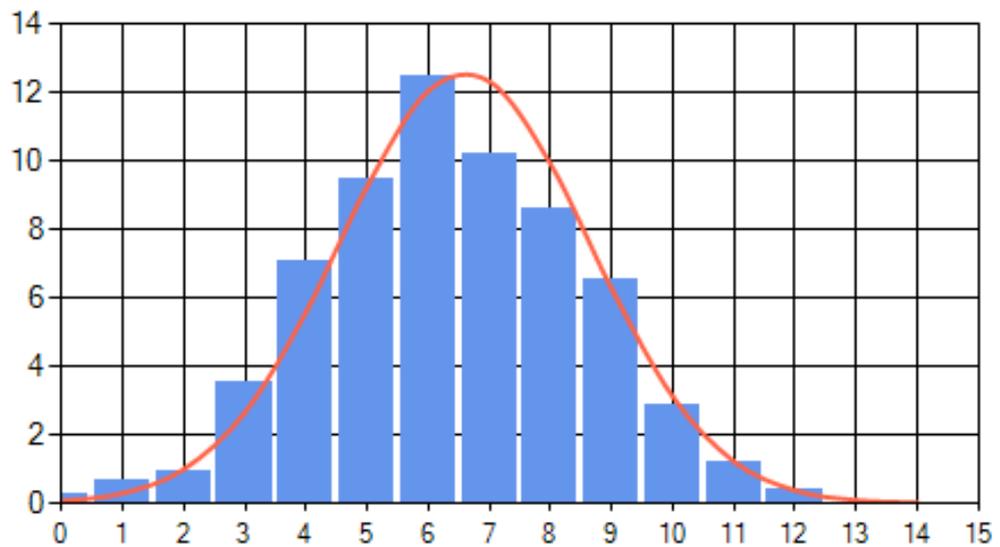
Վերոնշյալ բնութագրերի հավանականությունների բաշխման օրենքների նորմալության վերաբերյալ առաջադրված հիպոթեզները, որոնց ստուգումն իրականացվել է Պիրսոնի χ^2 չափանիշի [136-138] օգնությամբ, ընդունվել են $\alpha = 0,05$ նշանակալիության մակարդակի դեպքում:



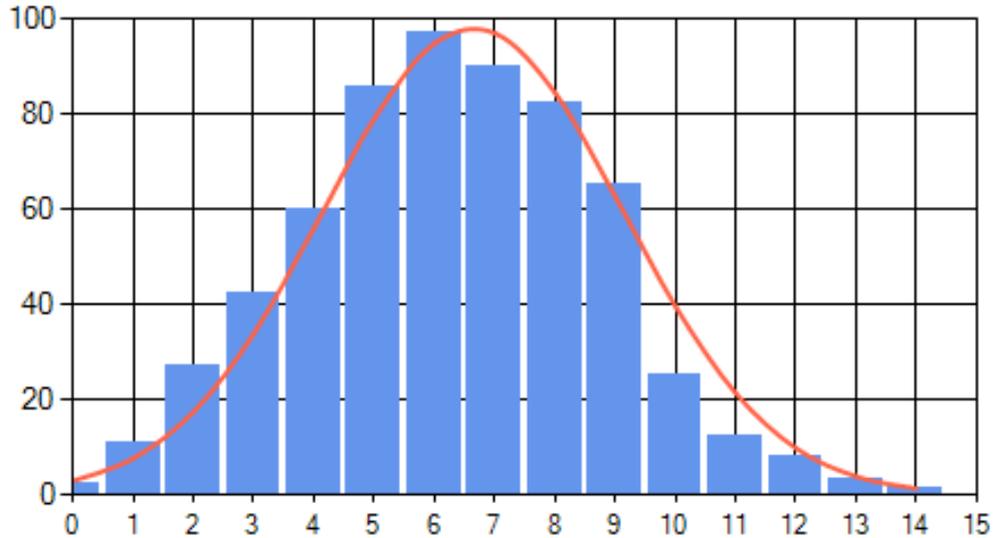
Նկ. 4.3. Հանրաքարում մոլիբդենի ընդհանուր պարունակության հիստագիրը



Նկ. 4.4. Հանրաքարում մոլիբդենի սուլֆիդի պարունակության հիստագիրը



Նկ. 4.5. Հանրաքարում պղնձի ընդհանուր պարունակության հիստագիրը



Նկ. 4.6. Հանքաքարում պղնձի օքսիդի պարունակության հիստագրը

Ստորև բերված են սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի հավանականությունների նորմալ բաշխման խտության ֆունկցիաների անալիտիկ արտահայտությունները.

1. մոլիբդենի ընդհանուր միջին հերթափոխային պարունակությունը (x_4),

$$f(x_4) = \exp\left(-\frac{(x_4 - \mu_4)^2}{2\sigma_4^2}\right) / \sigma_4 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_4 - 0,0325)^2}{2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-5}}\right) / 0,00866\sqrt{2\pi},$$

2. մոլիբդենի սուլֆիդի միջին հերթափոխային պարունակությունը (x_5),

$$f(x_5) = \exp\left(-\frac{(x_5 - \mu_5)^2}{2\sigma_5^2}\right) / \sigma_5 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_5 - 0,0315)^2}{2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-5}}\right) / 0,00866\sqrt{2\pi},$$

3. պղնձի ընդհանուր միջին հերթափոխային պարունակությունը (x_6),

$$f(x_6) = \exp\left(-\frac{(x_6 - \mu_6)^2}{2\sigma_6^2}\right) / \sigma_6 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_6 - 0,233)^2}{2 \cdot 10^{-2}}\right) / 0,0316\sqrt{2\pi},$$

4. պղնձի օքսիդի միջին հերթափոխային պարունակությունը (x_7)

$$f(x_7) = \exp\left(-\frac{(x_7 - \mu_7)^2}{2\sigma_7^2}\right) / \sigma_7 \sqrt{2\pi} = \exp\left(-\frac{(x_7 - 0,0234)^2}{2 \cdot 1,65 \cdot 10^{-5}}\right) / 0,0041\sqrt{2\pi} :$$

Հանքաքարի բնութագրերի միջև $R = \|r_{ij}\|, (i, j = \overline{4,7})$ կորելյացիայի մատրիցն ունի հետևյալ տեսքը.

	x_4	x_5	x_6	x_7
x_4	1	0,9999	-0,4427	0,1310
$R = x_5$	0,9999	1	-0,4424	0,1326
x_6	-0,4427	-0,4424	1	0,3592
x_7	0,1310	0,1326	0,3592	1

Քոմփյուտերային մոդելավորման ընթացքում $\tilde{x} = (\tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6, \tilde{x}_7)$ պատահական վեկտորի հնարավոր իրացումների ձևավորումը իրականացվում է չվերասերված բազմաչափ նորմալ բաշխման մեթոդով [131, 132], նկ. 2.2-ում պատկերված մոդելավորող ալգորիթմով:

4.2.3. Պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելը

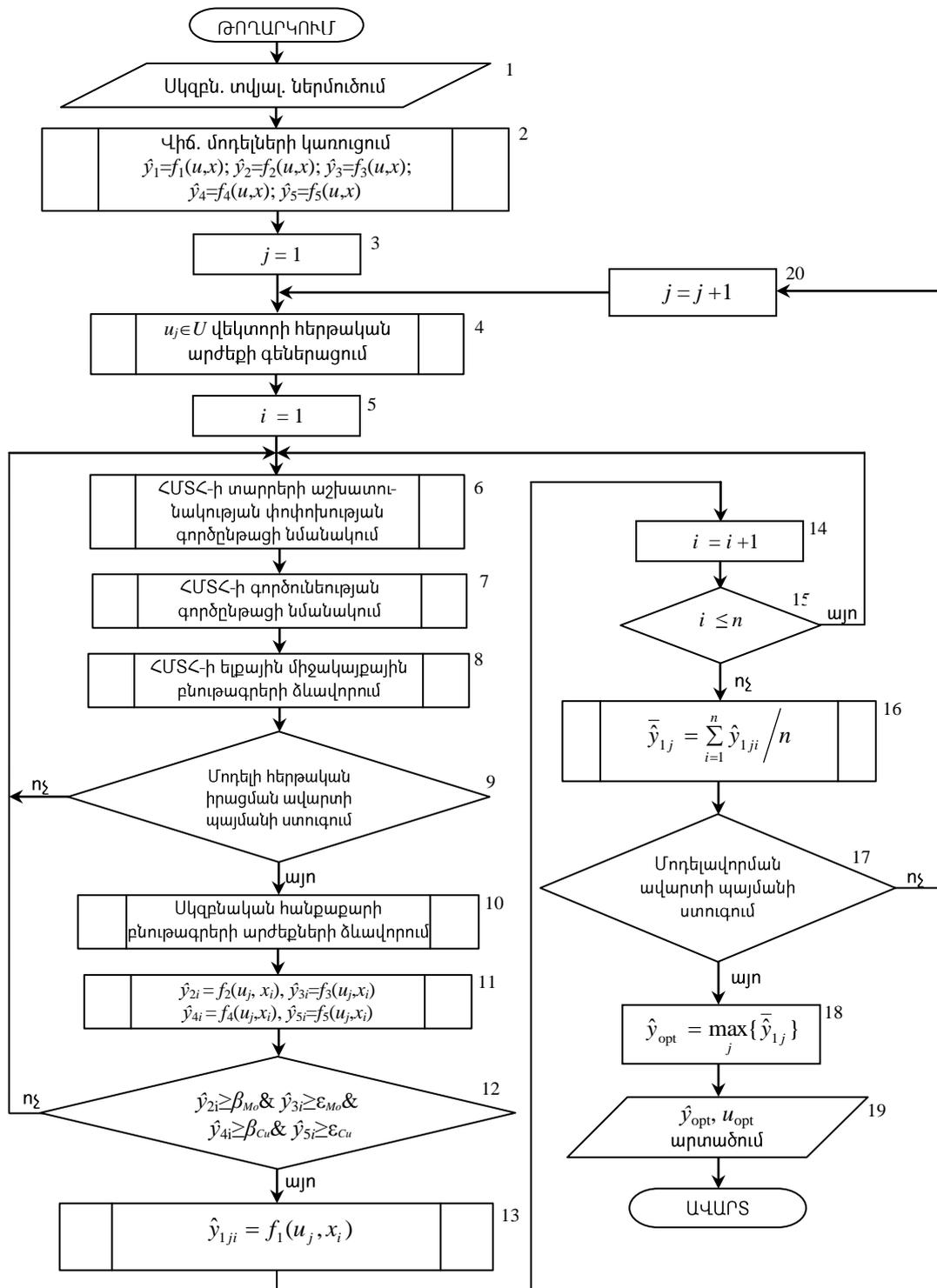
Ինչպես նշվել է գլուխ 2-ում, ելնելով առաջադրված (2.3) խնդրի բարդությունից՝ այն նպատակահարմար է լուծել նմանակային մոդելավորման միջոցով: Հանքաքարի մանրացման սարքավորման հուսալիության հաշվառմամբ ֆլոտացման գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելը [112, 122], որի խոշորացված բլոկ-սխեման բերված է նկ. 4.7-ում, ներառում է հետևյալ մոդելները.

- ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի հավանականային նմանակային մոդելը,
- ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի դետերմինացված քոմփյուտերային մոդելը,
- ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման դետերմինացված քոմփյուտերային մոդելը,
- սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը,:

Մոդելավորող ալգորիթմը գործում է հետևյալ կերպ:

Նմանակային ծրագրի թողարկումից հետո բլոկ 1-ն իրականացնում է մոդելավորման ելակետային տվյալների ներմուծումը (ֆլոտացման գործընթացի վերաբերյալ վիճակագրական տվյալներ, հանքաքարի բնութագրերի բաշխումների պարամետրերի արժեքներ և մոդելավորման սկզբնական տվյալներ), որոնց հիման վրա բլոկ 2-ում էմպիրիկ մոդելների կառուցման ընտրված մեթոդով (քայլային

նեգրեսիայի, ԱԽՀՄ, ՓՀՄ) կառուցվում են $\hat{y}_1 = f_1(u, x)$, $\hat{y}_2 = f_2(u, x)$, $\hat{y}_3 = f_3(u, x)$,
 $\hat{y}_4 = f_4(u, x)$, $\hat{y}_5 = f_5(u, x)$ վիճակագրական մոդելները:



Նկ. 4.7. Հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման քունկությունների մոդելի խոշորացված բլոկ-սխեման

Այնուհետև բլոկ 3-ը սահմանում է $u_j = (u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{mj})$ վեկտորի արժեքների հաշվիչ-օպերատորի սկզբնական վիճակը: Որից հետո բլոկ 4-ը քոմփյուտերային գիտափորձի պլանին համապատասխան գեներացնում է u_j վեկտորի հերթական հնարավոր արժեքը, իսկ բլոկ 5-ը սահմանում է մոդելի իրացումների հաշվիչ-օպերատորի սկզբնական արժեքը: Դրանից հետո գործում է ՀՄՏՀ-ի քոմփյուտերային մոդելը, որը ներառում է դրա տարրերի աշխատունակության փոփոխության մոդելը (բլոկ 6) և գործունեության եռամակարդակ հիերարխիկ մոդելը (բլոկ 7): Այն ՀՄՏՀ-ի ընթացիկ հատուկ վիճակի (տարրի խափանում կամ վերականգնում) համար ձևավորում է նրա ելքային բնութագրերի ակնթարթային x_1^*, x_2^*, x_3^* արժեքները, որոնց և i -րդ հերթափոխում ՀՄՏՀ-ի հատուկ վիճակներում գտնվելու տևողությունների հիման վրա բլոկ 8-ը ձևավորում է համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի x_{1i}, x_{2i}, x_{3i} արժեքները՝ տվյալ հերթափոխի ընթացքում նրա գործունեության գործընթացի իրացված հետագծի համար: Հերթական իրացման ավարտի պայմանի ստուգումից հետո (բլոկ 9), գործում է բլոկ 10-ը, որը հանքաքարի նորմալ բաշխված $\tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6, \tilde{x}_7$ բնութագրերի տրված $\mu_i, \sigma_i (i = \overline{1,7})$ պարամետրերին և $\|r_{ij}\| (i, j = \overline{1,7})$ կորելյացիոն մատրիցին համապատասխան ձևավորում է $x_{4i}, x_{5i}, x_{6i}, x_{7i}$ հնարավոր արժեքները: Այնուհետև u_j և $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{7i})$ փոփոխականների ձևավորված արժեքների համար (7.4) մաթեմատիկական մոդելների օգնությամբ հաշվարկվում են $\hat{y}_{2i}, \hat{y}_{3i}, \hat{y}_{4i}, \hat{y}_{5i}$ տեխնոլոգիական ցուցանիշների արժեքները (բլոկ 11) և ստուգվում է սահմանափակումների կատարման $\hat{y}_{2i} \geq \beta_{Mo} \& \hat{y}_{3i} \geq \varepsilon_{Mo} \& \hat{y}_{4i} \geq \beta_{Cu} \& \hat{y}_{5i} \geq \beta_{Cu}$ պայմանը (բլոկ 12): Եթե պայմանը չի կատարվում, 6,7 բլոկները նմանակում են ութամյա ժամանակահատվածում ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի նոր իրացում, բլոկ 8-ը ձևավորում է նրա ելքային միջակայքային բնութագրերի նոր արժեքներ, իսկ բլոկ 10-ը ձևավորում է հանքաքարի բնութագրերի նոր արժեքներ: Սահմանափակումների պայմանի կատարման դեպքում բլոկ 13-ը u_j և x_i վեկտորների տրված արժեքների դեպքում (2.3) մաթեմատիկական մոդելի օգնությամբ հաշվարկում է նպատակային ֆունկցիայի \hat{y}_{1ji} արժեքը, որը ստացվում է i -րդ հերթափոխի ընթացքում խտանյութերի արտադրությունից: Այնուհետև հաշվիչ օպերատորը (բլոկ 14)

ավելացնում է մոդելի իրացումների քանակը մեկով, իսկ բլոկ 15-ը ստուգում է իրացումների հերթական խմբաքանակի ավարտի պայմանը, որը ներառում է n ընտրանքային կետ (մոդելի իրացումներ ութամյա ժամանակահատվածում): Պայմանի կատարման դեպքում ($i \leq n$) նմանակման գործընթացը շարունակվում է հաջորդ հերթափոխի համար: Այլապես կառավարումը փոխանցվում է բլոկ 16-ին, որը կառավարող փոփոխականների u_j վեկտորի հերթական արժեքի և ութամյա ժամանակահատվածում մոդելի n իրացումներ ներառող փորձարկումների խմբաքանակի համար հաշվարկում է նպատակային ֆունկցիայի մաթեմատիկական սպասման \bar{y}_{1j} վիճակագրական գնահատականը: Դրանից հետո բլոկ 17-ը ստուգում է մոդելավորման ավարտի պայմանը, որի չկատարման դեպքում կառավարումը փոխանցվում է հաշվիչ-օպերատորին (բլոկ 20): Այն ավելացնում է u վեկտորի արժեքների հաշվիչի պարունակությունը մեկով և կառավարումը փոխանցում է բլոկ 4-ին, որը գեներացնում է u վեկտորի հերթական արժեքը: Մոդելավորման ավարտի դեպքում բլոկ 18-ը ստացված $\{\bar{y}_j\}$ արժեքներից ընտրում է առավելագույնը՝ \bar{y}_{opt} և դրան համապատասխան u վեկտորի u_{opt} արժեքը: Որից հետո բլոկ 19-ը արտաձում է մոդելավորման նշված արդյունքները և մոդելավորումն ավարտվում է: Սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի $\tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6, \tilde{x}_7$ վեկտորի հնարավոր իրացումները բլոկ 10-ում ձևավորվում են չվերասերված բազմաչափ նորմալ բաշխման մեթոդով, որը լայն տարածում է ստացել շնորհիվ ծրագրային իրականացման համեմատական պարզության, ունիվերսալության և բարձր համարժեքության ապահովման հնարավորության [131, 132]:

Անհրաժեշտ է նկատել, որ դիտարկվող քոմփյուտերային մոդելը նախատեսված է ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի ոչ թե օպերատիվ (on-line), այլ հեռանկարային կառավարման համար: Ուստի ֆլոտացման գործընթացի (4.1) մոդելը պարբերաբար պետք է նորացվի շահագործման ընթացքում կուտակված վիճակագրական տվյալների հիման վրա՝ կիրառելով քոմփյուտերային մոդելի կազմում նախատեսված մոդելների կառուցման տարբեր մեթոդների (քայլային ռեգրեսիայի, ԱԽՀՄ [130, 146]), ինչպես նաև ԶՊՄԿ-ում ներկայումս օգտագործվող Data Mining [155]

ծրագրային փաթեթում ներառված փափուկ հաշվողական մեթոդների [9] կիրառական ծրագրերը:

Կառավարող փոփոխականների u վեկտորի հնարավոր u_j արժեքների գեներացումը կարող է իրականացվել ինչպես քոմփյուտերային էքստրեմալ պլանավորմանը համապատասխան, հնարավոր տարբերակների դիտարկման, պատահական որոնման մեթոդներով, այնպես էլ օպտիմալացման ծրագրային փաթեթների, մասնավորապես, լայնորեն տարածված OptQuest, PROMODEL, WITNESS Optimizer և այլ ծրագրային փաթեթների [141] օգտագործմամբ, որոնք ապահովում են ոչ գծային ծրագրավորման խնդիրների գլոբալ լուծումներ:

Մշակված քոմփյուտերային մոդելի նմանակային ծրագիրը կազմվել է LabVIEW միջավայրում, որը, շնորհիվ նմանակման ծրագրի մոդուլային կառուցվածքի, ապահովել է գրաֆիկական ծրագրավորման հնարավորությունների արդյունավետ օգտագործումը:

4.3. Մշակված քոմփյուտերային մոդելի հետազոտում

Մաթեմատիկական մոդելների համարժեքության գնահատումը և հիմնավորումը բավական բարդ խնդիր է, որի լուծման նպատակով ներկայումս կիրառվում են ռացիոնալիստական, էմպիրիստական, պրագմատիստական և ուտիլիտար [139-142, 156] մոտեցումների վրա հիմնված վալիդացման (համարժեքության ստուգման) և վերիֆիկացման (հավաստիության ստուգման) մեթոդները: Դրանցից առավել ունիվերսալ և կիրառական է ուտիլիտար մոտեցումը, որն ինչ-որ չափով ընդգրկում է մյուս նշված մոտեցումների տեսակետները: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը, ինչպես նաև կառուցված քոմփյուտերային մոդելի առանձնահատկությունները, դրա համարժեքության և հավաստիության գնահատման համար ընտրվել է ուտիլիտար մոտեցումը:

4.3.1. Քրոմփյութերային մոդելի համարժեքության գնահատում

Ուտիլիտար մոտեցման համաձայն մոդելի համարժեքության գնահատման և հիմնավորման ընթացակարգը ներառում է հետևյալ փուլերը.

- համակարգի բաղադրիչների գործունեության և դրանց փոխգործողության վերաբերյալ հիպոթեզների կառուցում նախնական ինֆորմացիայի հիման վրա,
- վիճակագրական չափանիշների օգնությամբ հիպոթեզների և ընդունված ենթադրությունների հիմնավորում կամ ստուգում (երբ դա հնարավոր է),
- ամբողջությամբ վերցրած մոդելի համարժեքության գնահատում մոդելավորվող համակարգի և մոդելի գործառույթների համեմատման միջոցով:

ՀՄՏՀ-ի քրոմփյութերային մոդելի ստուգման և հիմնավորման առաջին փուլը նախատեսում է հետևյալ հիպոթեզների կառուցումը համակարգի մասին նախնական (ապրիոր) ինֆորմացիայի հիման վրա, որն ընդգրկում է հարցման և հետազոտության արդյունքները, նախորդ հետազոտությունների փորձը, համապատասխան տեսությունը, առողջ դատողությունը և բանականությունը.

1. հիպոթեզ այն մասին, որ մոդելն ընդգրկում է միայն էական տարրերը,
2. հիպոթեզ համակարգի տարրերի խափանումների փոխադարձ անկախության մասին,
3. հիպոթեզներ համակարգի միատեսակ տարրերի խափանման և վերականգնման վերաբերյալ վիճակագրական տվյալների համասեռության մասին,
4. հիպոթեզներ համակարգի տարրերի հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների վերաբերյալ,
5. հիպոթեզներ տարբեր մակարդակի ենթահամակարգերի գործունեության և դրանց փոխգործողության վերաբերյալ,

Երկրորդ փուլը կապված է նմանակային մոդելի ներքին կառուցվածքի հիմնավորման հետ և հնարավորության դեպքում ընդգրկում է վերը թվարկված հիպոթեզների էմպիրիկ ստուգումը:

1-ին հիպոթեզի ստուգումը հիմնվում է հետևյալի վրա. մոդելի սկզբնական կազմից բացառվել են այն տարրերը, որոնք վիճակագրական ինֆորմացիայի հավաքման ժամանակահատվածում այնքան հազվադեպ են խափանվել, որ հավաքված վիճակագրական տվյալների սակավաթվության պատճառով հնարավոր չէր ստուգել նույնիսկ առանձին ընտրանքների համասեռության վերաբերյալ հիպոթեզները:

2-րդ հիպոթեզի իսկության ակնհայտությունը անմիջականորեն բխում է մանրացման համակարգի ագրեգատների խափանման դեպքում համակարգի գործունեության նկարագրությունից: Սակայն վստահության ապահովման նպատակով համակարգի առավել «կասկածելի» երկու տարրերի համար (երկփուլ մանրացման համալիրի (2:1) կազմի մեջ մտնող առաջին փուլի մանրացման ագրեգատի և հիմնական գրունտային պոմպի համար) վիճակագրորեն ստուգվել է դրանց խափանումների անկախությունը: Առաջադրված հիպոթեզի ստուգումը Ստյուդենտի չափանիշի օգնությամբ հաստատել է նշված տարրերի խափանումների միջև վիճակագրորեն նշանակալի կապի բացակայությունը ($\alpha = 0,05$ նշանակալիության մակարդակի դեպքում):

Միատիպ, նույն ռեժիմներում աշխատող տարրերի խափանումների և վերականգնումների վերաբերյալ վիճակագրական տվյալների համասեռության մասին հիպոթեզների ստուգումն իրականացվել է Ուիլքոքսոնի և Կրուսկալ-Ուոլիսի ոչ պարամետրական չափանիշների օգնությամբ: Ստուգումն հաստատել է 3-րդ հիպոթեզի իսկությունը բոլոր խմբերի միատիպ տարրերի համար:

ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման օրենքների վերաբերյալ հիպոթեզների իսկությունը հաստատվել է Պիրսոնի չափանիշի օգնությամբ:

Առաջին մակարդակի ենթահամակարգերի աշխատունակության տրամաբանական ֆունկցիաների և երկրորդ մակարդակի ենթամակարդակների գործունեության համապատասխանության ստուգումն իրականացվել է հանքաքարի մանրացման համակարգը շահագործող մասնագետների հետ համատեղ: Ստուգման արդյունքում սահմանվել է կառուցված առաջին և երկրորդ մակարդակների ենթահամակարգերի մոդելների և դրանց միջև կապերի կառուցվածքի համարժեքությունը: Նկատենք որ,

որպես համակարգի մոդելի համարժեքության գնահատման փորձագետ, համակարգը շահագործող մասնագետների օգտագործումը ներկայումս դասվում է մոդելների համարժեքության ու աշխատունակության գնահատման արդյունավետ և հավաստի միջոցների շարքին: Այդ կապակցությամբ տեղին է հիշել Ռ. Շենոնի հետևյալ խոսքերը [139, 146]. «Անձամբ ես համոզված եմ, որ մասնագետի կողմից մոդելի մասնագիտական գնահատումը, ով լավ գիտի մոդելավորվող համակարգը, ավելին արժե, քան գոյություն ունեցող վիճակագրական չափանիշներից որևէ մեկով գնահատումը»:

Երրորդ մակարդակում ներկայացված ՀՄՏՀ-ի մոդելի համարժեքությունը կասկած չի հարուցում, քանի որ մոդելը կառուցված է անալիտիկ եղանակով՝ ֆիզիկայի հայտնի օրենքների և հավասարումների հիման վրա:

Երրորդ փուլում վալիդացման և վերիֆիկացման մեթոդների կիրառությամբ գնահատվել է կառուցված քոմպյութերային մոդելի համարժեքությունը, աշխատունակությունը և պիտանիությունը ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման նպատակով օգտագործման տեսանկյունից:

4.3.2. Քոմպյութերային մոդելի վալիդացում, վերիֆիկացում և աշխատունակության ստուգում

Կառուցված քոմպյութերային մոդելի դիսկրետ-իրադարձային բնույթը և մոդուլային կառուցվածքը թույլ են տվել հեշտությամբ կիրառել վերիֆիկացման ամենաարդյունավետ մեթոդներից մեկը՝ տրասավորումը [141, 156]: Այդ մեթոդի կիրառման դեպքում մոդելավորման ընթացքում ծագած յուրաքանչյուր համակարգային իրադարձության դեպքում ՀՄՏՀ-ի վիճակի բնութագրերի արժեքները արտածվել են մոնիթորի էկրանին և համեմատվել տեսական արդյունքների հետ:

Կառուցված քոմպյութերային մոդելի վերջնական վալիդացման և վերիֆիկացման նպատակով իրականացվել է նմանակային գիտափորձ ֆլոտացման գործընթացի հետևյալ ստուգիչ մոդելի կիրառությամբ.

$$\begin{cases} \tilde{y}_1 = -4,5u_1^2 + u_1u_2 - 1,5u_2^2 + (28u_1 + 10u_2 - 2) \cdot \tilde{\varepsilon}, \\ \tilde{y}_2 = 2u_1 - u_2 + \tilde{\varepsilon} \geq 1, \\ \tilde{y}_3 = u_1 + u_2 + \tilde{\varepsilon} \geq 5, \\ 2 \leq u_1 \leq 5, \\ 3 \leq u_2 \leq 7. \end{cases}$$

որտեղ u_1, u_2 -ը գործընթացի կառավարող փոփոխականներն են, իսկ $\tilde{\varepsilon}$ -ը՝ ($M[\tilde{\varepsilon}] = 1, \sigma_{\tilde{\varepsilon}} = 0,1$) պարամետրերով նորմալ բաշխված պատահական մեծություն է, որը նմանակում է սկզբնական և մանրացված հանքաքարի բնութագրերի պատահական փոփոխությունները:

Այս մոդելի օգտագործման դեպքում դետերմինացված կառավարման խնդիրը հանգում է հետևյալին.

$$\begin{cases} -4,5u_1^2 + u_1u_2 - 1,5u_2^2 + 28u_1 + 10u_2 - 2 \rightarrow \max_{u_1, u_2}, \\ 2u_1 - u_2 \geq 1, \\ u_1 + u_2 \geq 5, \\ 2 \leq u_1 \leq 5, \\ 3 \leq u_2 \leq 7. \end{cases}$$

Լուծելով դրված խնդիրը կստանանք՝ $u_{1onm}^* = 3,62; u_{2onm}^* = 4,54; \hat{y}_{1max}^* = 71,15$:

Հավանականային կառավարման խնդիրը հանգում է նպատակային ֆունկցիայի մաթեմատիկական սպասման առավելարկմանը u_1 -ի և u_2 -ի վրա դրված սահմանափակումների դեպքում.

$$\begin{cases} M[-4,5u_1^2 + u_1u_2 - 1,5u_2^2 + (28u_1 + 10u_2 - 2) \cdot \tilde{\varepsilon}] \rightarrow \max_{u_1, u_2}, \\ 2u_1 - u_2 + \tilde{\varepsilon} \geq 1, \\ u_1 + u_2 + \tilde{\varepsilon} \geq 5, \\ 2 \leq u_1 \leq 5, \\ 3 \leq u_2 \leq 7. \end{cases}$$

Նմանակային գիտափորձի արդյունքում որոշվել են u_1 -ի, u_2 -ի և նպատակային ֆունկցիայի արժեքները՝ $u_{1onm} = 3,15; u_{2onm} = 5,26; \hat{y}_{1max} = 72,95$:

Ինչպես երևում է, նմանակային գիտափորձի արդյունքում ստացված լուծումը նկատելիորեն (12%) տարբերվում է դետերմինացված խնդրի լուծումից, այն դեպքում երբ վերջինիս լուծումը քոմփյուտերային մոդելով պատահական որոնման մեթոդով՝

առանց պատահական գործոնների հաշվառման բավական մոտ է դետերմինացված խնդրի լուծմանը՝ $u_{1onm} = 3,6$; $u_{2onm} = 4,61$; $\hat{y}_{1max.} = 71,08$:

Այսպիսով վալիդացման և վերիֆիկացման արդյունքում հաստատվել է մշակված քոմփյուտերային մոդելի համարժեքությունը և պիտանիությունը պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացին հավանականային կառավարման համար: Իրոք, ստացված արդյունքից հետևում է, որ հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդելի համարժեքությունը զգալիորեն (առնվազն 10%-ով) գերազանցում է ավանդաբար օգտագործվող դետերմինացված կառավարման մոդելի համարժեքությանը: Ուստի այդ մոդելի օգտագործումը հնարավորություն կընձեռի հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման ճշգրտության բարձրացման միջոցով նկատելիորեն բարելավել ֆլոտացման գործընթացի արդյունավետությունը: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ առաջարկվել է մշակված քոմփյուտերային մոդելն օգտագործել ԶՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի օպտիմալ հեռանկարային կառավարման նպատակով: Համաձայն ներդրման ակտի (հավելված 4), մշակված քոմփյուտերային մոդելի օգտագործումը թույլ կտա բարձրացնել պղնձամոլիբդենային հանքաքարի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման խնդրի լուծման ճշգրտությունը, ապահովելով շուրջ 1,5%-ով տարեկան շահույթի սպասվելիք աճ՝ ի հաշիվ ֆլոտացման արդյունավետության բարձրացման:

Եզրակացություններ 4-րդ գլխի վերաբերյալ

1. LabVIEW ծրագրային միջավայրում մշակվել է փորձագիտական գնահատման մեթոդով մաթեմատիկական մոդելի փոփոխականների կարևորության գործակիցների որոշման ծրագիր («EXPERT»), որը թույլ է տալիս անմիջական գնահատման եղանակով անցկացված փորձագիտական հարցումների արդյունքների հիման վրա ընտրել մոդելի մուտքային և ելքային էական փոփոխականները:

2. Փորձագետների խմբի հարցումների տվյալները «EXPERT» ծրագրով մշակման արդյունքում ՁՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի 59 դիտարկված փոփոխականներից ընտրվել են 31-ը, որոնցից, ելնելով առաջադրված կառավարման խնդրի բնույթից՝ ընտրվել են 7 մուտքային, 8 կառավարող (հեռանկարային) և 5 ելքային կարևորագույն փոփոխականներ:
3. ՁՊՄԿ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի շահագործման ընթացքում հավաքված վիճակագրական տվյալների հիման վրա Պիրսոնի չափանիշի կիրառությամբ նույնականացվել են պղնձամոլիբդենային հանքաքարի բնութագրերի՝ մոլիբդենի ընդհանուր, մոլիբդենի սուլֆիդի, ընդհանուր պղնձի և պղնձի օքսիդի միջին հերթափոխային պարունակությունների հավանականությունների բաշխման ֆունկցիաները (հաստատվել է, որ դրանք բաշխված են նորմալ օրենքով): Որոշվել են նշված բնութագրերի բաշխումների պարամետրերի և կորելյացիայի գործակիցների վիճակագրական գնահատականները, որոնց հիման վրա կառուցվել է հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը:
4. Կառուցվել է ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քոմփյուտերային մոդելը, որը թույլ է տալիս ութժամյա ժամանակահատվածում ՀՄՏՀ-ի գործունեության հավանականային գործընթացի իրացումների հիման վրա ձևավորել համակարգի միջակայքային բնութագրերի արժեքները:
5. Կառավարման խնդրի առաջարկված ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելի կիրառությամբ LabVIEW ծրագրային միջավայրում մշակվել է ՁՊՄԿ-ի ֆլոտացման գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդել, որը ներառում է սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը, ՀՄՏՀ-ի տարրերի աշխատունակության փոփոխության գործընթացի հավանականային նմանակային մոդելը, ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի դետերմինացված քոմփյուտերային մոդելը և մանրացման համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման դետերմինացված քոմփյուտերային մոդելը:

6. Մշակված քումիյութերային մոդելի վալիդացման և վերիֆիկացման արդյունքում հաստատվել է նրա համարժեքությունը և ստուգիչ օրինակով ցույց է տրվել մոդելի աշխատունակությունը և գործնական պիտանիությունը հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հեռանկարային կառավարման համար:
7. Մանրացման սարքավորումների խափանումները հաշվի առնող ՀՄՏՀ-ի նմանակային մոդելի օգտագործումը հանքանյութերի հավանականային կառավարման քումիյութերային մոդելի կազմում թույլ է տալիս զգալիորեն բարձրացնել նրա համարժեքությունը՝ հնարավորություն ընձեռելով ստանալ ֆլոտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդրի առավել ճշգրիտ լուծումներ:
8. Մշակված կառավարման քումիյութերային մոդելը և ֆլոտացման մաթեմատիկական մոդելի փոփոխականների կարևորության գործակիցների որոշման «EXPERT» ծրագիրը ընդգրկվել է ԶՊՄԿ-ի տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատացված կառավարման համակարգի հատուկ մաթեմատիկական ապահովման կազմում: Մոդելի ներդրման արդյունքում սպասվող տնտեսական արդյունքը, համաձայն ներդրման ակտի, կազմում է կոմբինատի տարեկան շահույթի շուրջ 1,5%-ը՝ շնորհիվ պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման կառավարման որակի բարելավման միջոցով ֆլոտացման արդյունավետության բարձրացման:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄՆԵՐԸ

Ատենախոսության նպատակը պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատացված կառավարման քոմպյութերային մոդելի մշակումը, հետազոտումը և գործնական կիրառումն է՝ հաշվի առնելով ֆլոտացման արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ու հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի սարքավորումների խափանումների հետևանքով նրա ելքային բնութագրերի փոփոխության ազդեցությունը:

1. Հիմնավորվել է հանքանյութերի ֆլոտացման օպտիմալ կառավարման խնդիրը որպես հավանականային ծրագրավորման խնդիր դիտարկելու նպատակահարմարությունը, ցույց է տրված այդ խնդրի լուծման դեպքում հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի փոփոխությունների ազդեցությունը հաշվի առնելու անհրաժեշտությունը [112, 122]:
2. Մշակվել է պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման խնդրի ընդհանրական մաթեմատիկական մոդել, որը, շնորհիվ ֆլոտացման արդյունավետության վրա սկզբնական հանքաքարի և ՀՄՏՀ-ի ելքային բնութագրերի պատահական փոփոխությունների ազդեցության հաշվառման, դետերմինացված խնդրի մոդելի համեմատ օժտված է ավելի բարձր համարժեքությամբ [112, 122] :
3. Առաջարկվել է վիրտուալ օբյեկտի նմանակային մոդել, որը հնարավորություն է ընձեռում քոմպյութերային գիտափորձերի միջոցով գնահատել մոդելավորման մրցակցող մեթոդների արդյունավետությունը՝ մոդելավորվող օբյեկտի ֆիզիկական ու համակարգային օրինաչափությունների արտացոլման հնարավորության տեսանկյունից [123, 127- 129, 124] :
4. Եռամյա ժամանակահատվածում հանքաքարի մանրացման սարքավորումների հուսալիության վերաբերյալ հավաքված վիճակագրական տվյալների հիման վրա

նույնականացվել են ՋՊՄԿ-ի ՀՄՏՀ-ի մանրացման սարքավորումների հարևան խափանումների միջև աշխատաժամանակի և վերականգնման ժամանակի բաշխման խտության ֆունկցիաները [134], որոնց օգտագործմամբ մշակվել է ՀՄՏՀ-ի սարքավորումների աշխատունակության փոփոխության գործընթացի նմանակային մոդելը [135]: Շնորհիվ մոդելավորող ալգորիթմի կառուցման մոդուլային սկզբունքի և ռեգիստրային մեթոդի կիրառության, նմանակային մոդելն օժտված է որոշակի ճկունությամբ և ունի վերսալությամբ:

5. Պրորբլեմակողմնորոշված ստրատիֆիկացված ձևայնացման մեթոդի կիրառությամբ մշակվել է ՀՄՏՀ-ի գործունեության գործընթացի եռամակարդակ հիերարխիկ քոմփյուտերային մոդելը [112, 144], ինչի շնորհիվ հաջողվել է հաղթահարել համակարգի հնարավոր վիճակների տարածության մեծ չափողականությունը:
6. Անմիջական գնահատման եղանակով անցկացված փորձագիտական հարցումների արդյունքների հիման վրա LabVIEW միջավայրում մշակված «EXPERT» ծրագրային փաթեթի օգնությամբ ՋՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի 59 դիտարկված փոփոխականներից ընտրվել են 20-ը [153]:
7. Կառուցվել է ՀՄՏՀ-ի ելքային միջակայքային բնութագրերի ձևավորման քոմփյուտերային մոդելը, որը թույլ է տալիս ութժամյա ժամանակահատվածում ՀՄՏՀ-ի գործունեության հավանականային գործընթացի իրացումների հիման վրա ձևավորել համակարգի ելքային միջակայքային բնութագրերի արժեքները [154]:
8. Կառավարման խնդրի առաջարկված ընդհանրական մաթեմատիկական մոդելի կիրառությամբ LabVIEW ծրագրային միջավայրում մշակվել է ՋՊՄԿ-ի պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլոտացման գործընթացի հավանականային կառավարման քոմփյուտերային մոդել, որը, ի տարբերություն գոյություն ունեցող համանման մոդելների, ներառում է սկզբնական հանքաքարի բնութագրերի ձևավորման նմանակային մոդելը և սարքավորումների խափանումները հաշվի առնող ՀՄՏՀ-ի գործունեության քոմփյուտերային

մոդելը: Դրա շնորհիվ հաջողվել է զգալիորեն բարձրացնել կառավարման մոդելի համարժեքությունը՝ հնարավորություն ընձեռելով ստանալ ֆլուտացման գործընթացի օպտիմալ կառավարման խնդրի առավել ճշգրիտ լուծումներ [112, 122]:

9. Մշակված կառավարման քոմպյուտերային մոդելը և ֆլուտացման մաթեմատիկական մոդելի փոփոխականների կարևորության գործակիցների որոշման «EXPERT» ծրագիրն ընդգրկվել են ԶՊՄԿ-ի տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատացված կառավարման համակարգի հատուկ ծրագրային ապահովման կազմում: Մոդելի ներդրման արդյունքում սպասվող տնտեսական արդյունքը, համաձայն ներդրման ակտի, կազմում է կոմբինատի տարեկան շահույթի շուրջ 1,5%-ը՝ շնորհիվ պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի ֆլուտացման կառավարման որակի բարելավման միջոցով նրա արդյունավետության բարձրացման:

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Морозов В.В., Юшина Т.И., Столяров В.Ф., Дэлгэрбат Л. Совершенствование систем автоматического регулирования флотационного процесса с применением методов компьютерного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ, Москва, 2007. – С. 306-313.
2. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Том 1. Обогачительные процессы. – М.: Изд-во «Горная книга», 2014. – 417 с.
3. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра, 1978. –380с.
4. Барский Л.А., Рубинштейн Ю.Б. Кибернетические методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1978.-380с.
5. Дэлгэрбат Л., Авдохин В.М. Моделирование и системные исследования коллективной медно-молибденовой флотации // Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ, Москва, 2003. – № 1. – С. 58-63.
6. Морозов В.В. Применение компьютерных моделей для оптимизации систем автоматического регулирования флотационного процесса // ГИАБ, 2006. – С. 332–338.
7. Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я., Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л. Разработка и применение АСУ процессами обогащения полезных ископаемых. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
8. King R. P. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems, 2nd Edition. – Boston: Butterworth–Heinemann, 2015. – 416 p.
9. I. Jovanović, I. Miljanović, T. Jovanović Soft computing–based modeling of flotation processes – a Review // Minerals Engineering. – 2015. – Vol. 84. – P. 34–63.
10. Баласанян С.Ш. Стратифицированное моделирование сложных технологических систем. – Саарбрукен, Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2016. – 380 с.
11. I. Jovanović, I. Miljanović Modelling of Flotation Processes by Classical Mathematical Methods – a Review // Arch. Min. Sci. – 2015. – Vol. 60, № 4. – P. 905–919.
12. Garcia Zuñiga H. The efficiency obtained by flotation is an exponential function of time // Boletín Minero, Sociedad Nacional de Minería, Santiago, Chile, 1935. – Vol. 47, p. 83–86.
13. Schumann R. Flotation Kinetics. Part 1. Methods for Steady–State Study of Flotation Problems // Journal of Physical Chemistry. –1942. – Vol. 46, p. 891–902.
14. Lynch A.J., Johnson N.W., Manlapig E.V., Thorne C.G. Mineral and Coal Flotation Circuits – Their simulation and Control. Publisher: Elsevier, 1981. – 290 p.

15. Zhang J.G. Factors affecting the kinetics of froth flotation: PhD thesis, Department of Mining and Mineral Engineering, University of Leeds, Great Britain. – 1989. – 41 p.
16. Yianatos J.B. Column flotation: modeling and technology // In Proceedings of International Colloquium: Developments in Froth Flotation. – Cape Town, South Africa 1989, August 3–4. – Vol. 2, №. – P. 1–30.
17. Polat M., Chander S. First-order flotation kinetics models and methods for estimation of the true distribution of flotation rate constants // International Journal of Mineral Processing. – 2000. – Vol. 58. – P.145–166.
18. Sherrell I.M. Development of a Flotation Rate Equation from First Principles under Turbulent Flow Conditions. PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2004. – 95 p.
19. Yianatos J.B. Fluid flow and kinetic modelling in flotation related processes columns and mechanically agitated cells – a review // Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design. – 2007. – Vol. 85 (A12). – P.1591–1603.
20. Saleh A.M. A study on the performance of second order models and two phase models in iron ore flotation // Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2010. – Vol. 44. – P. 215–230.
21. Moolman D.W., Aldrich C., Van Deventer J.S.J. The monitoring of froth surfaces on industrial flotation plants using connectionist image processing techniques // Minerals Engineering. – 1995. – Vol. 8, №1–2. – P. 23–30.
22. 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.
23. I. Jovanović, I. Miljanović Contemporary advanced control techniques for flotation plants with mechanical flotation cells – A review // Minerals Engineering. – 2015. – Vol. 70. – P. 228–249.
24. Походзей Б.Б., Машевский Г.Н. Применение регрессионного анализа по главным компонентам для исследования взаимосвязей параметров процесса флотации медно-никелевых руд // Изв. Вузов, Горный журнал. – 1979. – № 1. – С. 181–185.
25. Умеров А.Н., Шуршев В.Ф. Методы и программные средства аппроксимации экспериментальных данных // Вестник АГТУ. – 2005. – № 1 (24). – С. 97–104.
26. Casali A., Gonzalez G., Agosto H., Vallebuona G. Dynamic simulator of a rougher flotation circuit for a copper sulphide ore // Minerals Engineering. – 2002. – № 15. – P. 253–262.

27. Rojas D., Cipriano A. Model based predictive control of a rougher flotation circuit considering grade estimation in intermediate cells // *Dyna*. – 2011. – Vol. 78, № 166, p. 29–37.
28. Laurila H., Karesvuori J., Tiili O. Strategies for Instrumentation and Control of Flotation Circuits // *Mineral Processing Plant Design. Practice and Control*. – 2002. – Vol. 2 (Edited by A.L. Mular, D.N. Halbe and D.J. Barrat). – P. 2174–2195.
29. Harris M.C., Runge K.C., Whiten W.J., Morrison R.D. JKSimFloat as a practical tool for flotation process design and optimization // *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control*. – 2002. – Vol. 1 (Edited by A.L. Mular, D.N. Halbe and D.J. Barrat). – P. 461–478.
30. Hodouin D. Methods for automatic control, observation, and optimization in mineral processing plants // *Journal of Process Control*. – 2011. – № 21. – P. 211–225.
31. Miljanović I. Fazi logičko upravljanje procesima u pripremi mineralnih sirovina. Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, 2008. –161 p.
32. Rath S.S., Sahoo H., Das B. Optimization of flotation variables for the recovery of hematite particles from BHQ ore // *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. – 2013. – Vol. 20, № 7. – P. 605–611.
33. Yianatos J., Bergh L., Vinnett L., Contreras F., Díaz F. Flotation rate distribution in the collection zone of industrial cells // *Minerals Engineering*. – 2010. – № 23. – P. 1030–1035.
34. Yianatos J.B., Henríquez F.D. Short-cut method for flotation rates modelling of industrial flotation banks // *Minerals Engineering*. – 2006. – № 19. – P. 1336–1340.
35. Runge K.C., Franzidis J.P., Manlapig E.V. A study of the flotation characteristics of different mineralogical classes in different streams of an industrial circuit // *Proceedings of XXII International Mineral Processing Congress*. – Cape Town, South Africa, 2003, 29 September – 3 October. – P. 962–972.
36. Ferreira J.P., Loveday B.K. An improved model for simulation of flotation circuits // *Minerals Engineering*. – 2000. – Vol. 13, № 14–15. – P. 1441–1453.
37. Kelsall D.F. Application of probability in the assessment of flotation systems // *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*. – 1961. – Vol. 70. – P. 191–204.
38. Hay M.P. Optimising froth condition and recovery for a nickel ore // *Minerals Engineering*. – 2008. – № 21. – P. 861–872.
39. Kalinowski K., Kaula R. Verification of flotation kinetics model for triangular distribution of density function of flotability of coal particles // *Archives of Mining Sciences*. – 2013. – Vol. 58, № 4. –P. 1279–1287.

40. Yianatos J., Carrasco C., Bergh L., Vinnett L., Torres C. Modelling and simulation of rougher flotation circuits // *International Journal of Mineral Processing*. – 2012. – Vol. 112–113. – P. 63–70.
41. 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.
42. Herbst J.A., Flintoff B. Recent Advances in Modeling, Simulation, and Control of Mineral Processing Operations. In: *Separation Technologies for Minerals, Coal, and Earth Resources* (Edited by C.A. Young and G.H. Luttrell), Publisher: SME, 2012. – P. 667–680.
43. Pérez–Correa R., González G., Casali A., Cipriano A., Barrer R., Zavala E. Dynamic modelling and advanced multivariable control of conventional flotation circuits // *Minerals Engineering*. – 1998. – Vol. 11, № 4. – P. 333–346.
44. Sbarbaro D., Maldonado M., Cipriano A. A two level hierarchical control structure for optimizing a rougher flotation circuit // *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*. – Seoul, Korea, 2008. – July 6–11. – P. 11018–11022.
45. Schulze H.J., Stöckelhuber W. Flotation as a Heterocoagulation Process: Possibilities of Calculating the Probability of the Microprocesses, Rupture of the Intervening Thin Liquid Film, and Progress in Modeling of the Overall Process. In: *Coagulation and Flocculation* (Edited by H. Stechemesser and B. Dobiáš). – 2005. – P. 455–517.
46. Schulze H.J. Flotation as a heterocoagulation process: Possibilities of calculating the probability of flotation. In: *Coagulation and Flocculation: Theory and Applications* (Edited by B. Dobiáš). – 1993. – P. 321–353.
47. Bloom F., Heindel T.J. Mathematical Modelling of the Flotation Deinking Process // *Mathematical and Computer Modelling*. – 1997. – Vol. 25, № 5. – P. 13–58.
48. Koh P.T.L., Schwarz M.P. CFD modelling of bubble–particle attachments in flotation cells // *Minerals Engineering*. – 2006. – № 19. – P. 619–626.
49. Kirjavainen V.M. Application of a probability model for the entrainment of hydrophilic particles in froth flotation // *International Journal of Mineral Processing*. – 1989. – Vol. 27, Iss. 1–2. – P. 63–74.
50. Ali S. Mathematical Models for the Efficiency of Flotation Process for North Waziristan Copper. PhD Thesis. University of Education Lahore, Pakistan, 2007. – 167 p.

51. Tsatouhas G., Grano S.R., Vera M. Case studies on the performance and characterisation of the froth phase in industrial flotation circuits // *Minerals Engineering*. – 2006. – № 19. – P. 774–783.
52. Yianatos J., Contreras F. Particle entrainment model for industrial flotation cells // *Powder Technology*. – 2010. – № 197. – P. 260–267.
53. Bakker C.W., Meyer C.J., Deglon D.A. The development of a cavern model for mechanical flotation cells // *Minerals Engineering*. – 2010. – № 23. – P. 968–972.
54. Maimon O., Rokach L. Introduction to soft computing for knowledge discovery and data mining. In: Maimon O., Rokach L. (Eds.), *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. Springer, 2008. – P. 1–16.
55. Karray F., De Silva C. *Soft Computing and Intelligent Systems Design*. Pearson Education, 2004. – 560 p.
56. Çilek E.C. Application of neural networks to predict locked cycle flotation test results // *Miner. Eng.* – 2002. – № 15. – P. 1095–1104.
57. Nakhaei F., Mosavi M.R., Sam A., Vaghei Y. Recovery and grade accurate prediction of pilot plant flotation column concentrate: neural network and statistical techniques // *Int. J. Miner. Process.* – 2012. – № 110–111. – P. 140–154.
58. Nakhaei F., Irannajad M. Comparison between neural networks and multiple regression methods in metallurgical performance modeling of flotation column // *Physicochemical Problems Mineral Process.* – 2013. – № 49 (1). – P. 255–266.
59. Nakhaei F., Irannajad M. Forecasting grade and recovery of flotation column concentrate using radial basis function and layer recurrent neural networks // *AWERProcedia Inf. Technol. Comput. Sci.* – 2013. – № 04. – P. 454–473.
60. Massinaei M., Sedaghati M.R., Rezvani R., Mohammadzadeh A.A. Using data mining to assess and model the metallurgical efficiency of a copper concentrator // *Chem. Eng. Commun.* – 2014. – № 201 (10). – P. 1314–1326.
61. Jahedsaravani A., Marhaban M.H., Massinaei M. Application of statistical and intelligent techniques for modeling of metallurgical performance of a batch flotation process // *Chem. Eng. Commun.* – 2016. – Vol. 203, Iss. 2. – P. 151–160.
62. Aldrich C., Marais C., Shean B.J., Cilliers J.J. Online monitoring and control of froth flotation systems with machine vision: a review. *Int. J. Miner. Process.* – 2010. – № 96. – P. 1–13.
63. Estrada-Ruiz R.H., Pérez-Garibay R. Neural networks to estimate bubble diameter and bubble size distribution of flotation froth surfaces // *J. S. Afr. Inst. Mining Metall.* – 2009. – № 109. – P. 441–446.

64. Jahedsaravani A., Marhaban M.H., Massinaei M. Prediction of the metallurgical performances of a batch flotation system by image analysis and neural networks // *Miner. Eng.* – 2014. – № 69. – P. 137–145.
65. Hosseini M.R., Haji Amin Shirazi H., Massinaei M., Mehrshad N. Modeling the relationship between froth bubble size and flotation performance using image analysis and neural networks. *Chem. Eng. Commun.* –2015. – № 202 (7). – P. 911–919.
66. Zadeh L. Fuzzy sets // *Information and Control.* – 1965. – № 8 (3). – P. 338–353.
67. Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N. *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.* Springer. –2007. – 430 p.
68. 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.
69. Gegov A., Petrov N., Vatchova B., Sanders D. Advanced modeling of complex processes by fuzzy networks // *WSEAS Trans. Circ. Syst.* – 2011. – № 10 (10). – P. 319–330.
70. Carvalho M.T., Durão F. Control of a flotation column using fuzzy logic inference // *Fuzzy Sets Syst.* –2002. – № 125. – P. 121–133.
71. Vieira S.M., Sousa J.M.C., Durão F.O. Fuzzy modeling strategies applied to a column flotation process // *Miner. Eng.* – 2005. – № 18. – P. 725–729.
72. Vieira S.M., Sousa J.M.C., Durão F.O. Real-time fuzzy predictive control of a column flotation process // *Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2007).* – London, UK, 2007, July 23–26. – P. 1–6.
73. Gonzalez G.D., Orchard M., Cerda J.L., Casali A., Vallebuona G. Local models for soft-sensors in a rougher flotation bank // *Miner. Eng.* – 2003. – №16. – P. 441–453.
74. Holland J. N. *Adaptation in Natural and Artificial Systems.* Ann Arbor, Michigan: Univ. of Michigan Press, 1975. – 183 p.
75. Mitchell M. *An Introduction to Genetic Algorithms.* – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1998. – 221 p.
76. Kenneth A. De Jong *Evolutionary Computation: A Unified Approach.* – The MIT Press, 2006. – 268 p.
77. Ghobadi P., Yahyaei M., Banisi S. Optimization of the performance of flotation circuits using a genetic algorithm oriented by process-based rules // *Int. J. Miner. Process.* – 2011. – № 98. – P. 174–181.
78. Pirouzan D., Yahyaei M., Banisi S. Pareto based optimization of flotation cells configuration using an oriented genetic algorithm // *Int. J. Miner. Process.* – 2014. – № 126. – P. 107–116.

79. Mendez D.A., Gálvez E.D., Cisternas L.A. State of the art in the conceptual design of flotation circuits // *Int. J. Miner. Process.* – 2009. – № 90. – P. 1–15.
80. Hu W., Hadler K., Neethling S.J., Cilliers J.J. Determining flotation circuit layout using genetic algorithms with pulp and froth models // *Chem. Eng. Sci.* – 2013. – № 102. – P. 32–41.
81. Bharadway A., Minz S. Discretization based support vector machines for classification // *J. Indian Soc. Agric. Statist.* – 2009. – № 63 (2). – P. 189–197.
82. Raj K.J., Sathya S.S. SVM and random forest classification of satellite image with NDVI as an additional attribute to the dataset // *Proceedings of the Third International Conference on Soft Computing for Problem Solving (SocProS 2013), Roorkee, India, 2013, December 26–28.* – Vol. 1. – P. 95–108.
83. Suganyadevi M.V., Babulal C.K. Fast assessment of voltage stability margin of a power system // *J. Electr. Syst.* – 2014. – № 10 (3). – P. 305–316.
84. Ren C., Yang J., Liang C. Estimation of copper concentrate grade based on color features and least-squares support vector regression // *Physicochem. Problems Mineral Process.* – 2015. – № 51(1). – P. 163–172.
85. He M., Yang C., Wang X., Gui W., Wei L. Nonparametric density estimation of froth colour texture distribution for monitoring sulphur flotation process // *Miner. Eng.* – 2013. – № 53. – P. 203–212.
86. Quinlan J.R. *C4.5: Programs for Machine Learning.* – Morgan Kaufmann Publishers, 1993. – 302 p.
87. Huang Y., Lan Y., Thomson S.J., Fang A., Hoffmann W.C., Lacey R.E. Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering // *Comput. Electron. Agric.* – 2010. – № 71. – P. 107–127.
88. Rokach L., Maimon O. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook (2nd edition).* – Springer, 2010. – 1306 p.
89. Ritika M. Research on data mining classification // *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.* – 2014. – №4 (4). – P. 329–332.
90. Gouws F.S., Aldrich C. Rule-based characterization of industrial flotation processes with inductive techniques and genetic algorithms // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 1996. – № 35. – P. 4119–4127.
91. Marais C., Aldrich C. Estimation of platinum flotation grades from froth image data // *Miner. Eng.* – 2011. – № 24. – P. 433–441.

92. Auret L., Aldrich C. Interpretation of nonlinear relationships between process variables by use of random forests // *Miner. Eng.* – 2012. – №35. – P. 27–42.
93. Auret L., Aldrich C. Monitoring of mineral processing operations based on multivariate similarity indices // *Preprints of the 18th IFAC World Congress.* – Milano (Italy), 2011, August 28–September 2. – P. 9923–9928.
94. Cubillos F.A., Lima E.L. Adaptive hybrid neural models for process control // *Comput. Chem. Eng.* – 1998. – № 22 (Suppl.). – P. 989–992.
95. Xiaoping Y., Aldrich C. Optimizing control of coal flotation by neuroimmune algorithm // *Int. J. Mining Sci. Technol.* – 2013. – № 23. – P. 407–413.
96. Tahmasebi P., Hezarkhani A. A hybrid neural networks-fuzzy logic-genetic algorithm for grade estimation // *Comput. Geosci.* – 2012. – № 42. – P. 18–27.
97. Shahbazi B., Rezai B., Chehreh Chelgani S., Javad Koleini S.M., Noaparast M. Estimation of diameter and surface area flux of bubbles based on operational gas dispersion parameters by using regression and ANFIS // *Int. J. Mining Sci. Technol.* – 2013. – № 23 (3). – P. 343–348.
98. Li H., Chai T., Fu J., Wang H. Adaptive decoupling control of pulp levels in flotation cells // *Asian J. Control.* – 2013. – № 15 (5). – P. 1434–1447.
99. Wang J.-S., Zhang Y. Application of the soft sensing model based on the adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) to the flotation process // *J. Hefei Univ. Technol.* – 2006. – № 29 (11). – P. 1365–1369.
100. Chuk O.D., Ciribeni V., Gutierrez, L.V. Froth collapse in column flotation: a prevention method using froth density estimation and fuzzy expert systems // *Miner. Eng.* – 2005. – № 18. – P. 495–504.
101. Chai T., Geng Z.-X., Yue H., Wang H., Su C.-Y. A hybrid intelligent optimal control method for complex flotation process // *Int. J. Syst. Sci.* – 2009. – № 40 (9). – P. 945–960.
102. Núñez F., Tapia L., Cipriano A. Hierarchical hybrid fuzzy strategy for column flotation control // *Miner. Eng.* – 2010. – № 23. – P. 117–124.
103. Mendonça L.F., Vieira S.M., Sousa J.M.C. Decision tree search methods in fuzzy modeling and classification // *J. Approx. Reason.* – 2007. – № 44. – P. 106–123.
104. Zhu J., Gui W., Yang C., Xu H., Wang X. Probability density function of bubble size based reagent dosage predictive control for copper roughing flotation // *Control Eng. Pract.* – 2013. – № 29. – P. 1–12.
105. Cao B., Xie Y., Gui W., Wei L., Yang C. Integrated prediction model of bauxite concentrate grade based on distributed machine vision // *Miner. Eng.* – 2013. – № 53. – P. 31–38.

106. Zhang Y., Zhu J., Liu T., The research of the flotation recovery prediction methods based on advanced LS-SVM // *Appl. Mech. Mater.* – 2012. – № 130–134. – P. 1854–1857.
107. Vieira S.M., Sousa J.M.C., Durão F.O. Combination of fuzzy identification algorithms applied to a column flotation process // *Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems.* – Budapest, Hungary, 2004, July 25–29. – P. 421–426.
108. Chuk O.D., Kuchen, B.R. Supervisory control of flotation columns using multiobjective optimization. *Miner. Eng.* – 2011. – № 24. – P. 1545–1555.
109. Yang F., Sun W., Hu Y. QSAR analysis of selectivity in flotation of chalcopyrite from pyrite for xanthate derivatives: Xanthogen formates and thionocarbamates // *Miner. Eng.* – 2012. – № 39. – P. 140–148.
110. Shean B.J., Cilliers J.J. A review of froth flotation control // *Int. J. Miner. Process.* – 2011. – № 100. – P. 57–71.
111. Баласянян С.Ш. Разработка основ стратифицированного моделирования сложных автоматизированных технологических систем с учетом надежности: дис. д-ра техн. наук. – Ереван, 2015. – 392 с.
112. Баласянян С.Ш., Симонян С.О., Геворгян Э.М. Компьютерная модель для стохастического управления технологическим процессом флотации руды с учетом надежности измельчительного оборудования // *Известия Томского политехнического университета.* – Томск, 2013. – Т. 323, № 5. – С. 50–57.
113. Баласянян С.Ш. Компьютерная модель процесса возникновения отказов и восстановления оборудования системы измельчения руды // *Цветные металлы.* – 2012. – № 7. – С. 82–86.
114. Боярских Г.А. Надежность горных машин и оборудования. – Екатеринбург: УГТУ, 2009. – 116 с.
115. Кюрегян С.Г., Мамиконян Б., Абгарян С.В., Баласянян С.Ш., Кюрегян Г.С. Оптимизация управления технологическим процессом флотации молибденовой руды // *Моделирование, оптимизация, управление: Сб. научных трудов ГИУА.* – Ереван, 2003. – Вып. 6, № 1. – С. 86–93.
116. Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л., Кузнецов А.Ф., Дуда О.М. Оптимизация процесса измельчения на основе применения алгоритма взаимосвязанного регулирования производительности и водных режимов // *Горный журнал.* – 2011. – № 10. – С.79-82.
117. Баласянян С.Ш. Стратифицированная модель для оценки и анализа эффективности функционирования сложных технологических систем со многими состояниями // *Известия Томского политехнического университета.* – 2011. – Т. 318, № 5. – С. 25–30.

118. Стяжкина Е., Антропова И., Хантургаева Г. Пути повышения показателей коллективной медно-молибденовой флотации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 62–65.
119. Кюрегян С.Г., Мамиконян Б.М., Шмелев В.К., Абгарян С.В., Баласанян С.Ш. К вопросу об управлении флотационным процессом обогащения молибденовой руды // Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН. – 2003. – Т. LVI, № 1. – С. 107–113.
120. Ермольев Ю. Методы стохастического программирования. – М.: Наука, 1976. – 340 с.
121. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования. – М.: КРАСАНД, 2010. – 392 с.
122. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Разработка и исследование компьютерной модели для управления технологическим процессом флотации руды с учетом случайных факторов // Вестник НПУА: Сборник научных статей. – Ереван, 2016. – Часть 1. – С.127–132.
123. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Сравнительный анализ эффективности применения регрессионных методов и метода группового учета аргументов при моделировании технологических процессов // Вестник ГИУА: Сборник научных статей. – Ереван, 2011. – Том 3, № 1. – С. 271–277.
124. 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.
125. Herzberg A.M., Tsukanov A.V. The Monte–Carlo Comparison of two Criteria for the Selection of Models // J. Statist. Comput. Simul. – 1985. – Vol. 22. – P. 113–126.
126. Ефименко С.Н., Степашко В.С. Имитационный эксперимент как средство исследования эффективности методов моделирования по данным наблюдений // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 1. – С. 69–78.
127. Balasanyan S.SH., Gevorgyan H.M. The Construction of Statistical Model of a Virtual Object in the LabVIEW Environment // Proceedings of 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2014. – Porto, 2014, 26–28 Feb. – P. 291–293.
128. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Построение статистической модели виртуального объекта в среде LABVIEW // Вестник ГИУА: Сборник научных и методических статей. – Ереван, 2015. – Часть 1. – С. 124–130.
129. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Применение имитационного моделирования для оценки эффективности методов построения статистических моделей // Вестник НПУА. Серия «Информационные технологии, электроника, радиотехника». – 2016. – № 1. – С. 34–46.

130. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. – 912 с.
131. Ермаков С.М. Метод Монте–Карло и смежные вопросы, 2-е издание. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1975. – 472 с.
132. Ермаков С.М. Метод Монте–Карло в вычислительной математике. Вводный курс. – СПб.: Невский диалект, 2009. – 192 с.
133. Goharriz M., Marandi S.M. An Optimized Neuro-Fuzzy GMDH System Based on Gravitational Search Algorithm for Evaluation of Lateral Ground // Int. J. Optim. Civil Eng. – 2016. – № 6(3). – P. 385–403.
134. Геворгян Э.М. Идентификация законов распределения времени работы и времени восстановления измельчительного оборудования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2016. – Т. 327, № 3. – С. 6–15.
135. Баласаян С.Ш., Геворгян Э.М. Имитационная модель процесса изменения работоспособности измельчительного оборудования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2016. – Т. 327, № 2. – С. 21–34
136. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
137. Браунли К. Статистическая теория и методология в науке и технике. – М.: Наука, 1974. – 408 с.
138. Кузнецова О.С. Теория вероятности и математическая статистика. Краткий курс. – М.: Изд-во Окей-книга, 2013. – 191 с.
139. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
140. Fishman G. Discrete – Event Simulation Modeling, Programming, and Analysis. – Springer, 2001. – 537 p.
141. Averill M. Law, W. David Kelton Simulation Modeling and Analysis, Fourth Edition. – Boston: McGraw–Hill, 2007. – 768 p.
142. Zio E. The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis. – Springer Series in Reliability Engineering, 2013. – 198 p.
143. Баласаян С.Ш. Метод стратифицированной формализации сложных технологических систем со многими состояниями // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2016. – Т. 327, № 1. – С. 6–18.

144. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Иерархическая трехуровневая компьютерная модель технологической системы измельчения руды // Вестник ГИУА: Сборник научных статей. – Ереван, 2014. – Часть 1. – С. 127–134.
145. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем: математические основы. – М.: Наука, 1978. – 311 с.
146. Степашко В.С., Булгакова А.С. Обобщенный итерационный алгоритм метода группового учета аргументов // Управ. системы и машины. – 2013. – № 2. – С. 9–26.
147. С. Кюрегян, Б. Мамиконян, С. Абгарян, С. Баласанян и др. Итерационный метод группового учета аргументов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2004. – Т. LVII, № 3. – С. 495–499.
148. Мэргэнбаатар Н. Повышение эффективности флотации медно-молибденовых руд регулированием реагентного режима в условиях применения многокомпонентных собирателей: дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2005. – 143 с.
149. Сирота А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем. – М.: Техносфера, 2006. – 280 с.
150. Миркин Б. Проблемы группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256 с.
151. Литвак Б. Разработка управленческого решения, 6-ое издание. – М.: Изд-во «Дело», 2006. – 406 с.
152. Ларичев О. Теория и методы принятия решений. – М.: Университетская книга. – Логос, 2006. – 392 с.
153. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М., Агагулян М.А., Григорян С.Р. Оценка важности переменных модели технологической системы флотации медно-молибденовой руды // Вестник ГИУА: Сборник научных статей. – Ереван, 2013. – Часть 1. – С. 219–225.
154. Геворгян Э.М. Компьютерная модель формирования выходных интервальных характеристик технологической системы измельчения руды // Вестник инженерной академии Армении. – Ереван, 2015. – Т. 12, № 4. – С.748–753.
155. Witten I.H., Frank E., Hall M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 3-rd Edition. – Morgan Kaufmann, 2011. – 664 p.
156. Robert G. Sargent Verification and validation of simulation models // Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC). – Austin, 2009. – P. 162–176.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

ԶՊՄԿ-ի հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգը (նկ. Հ 1.1, Հ 1.2) բաղկացած է 21 գնդաղացից, 3 ինքնաղացից, 6 երկսպիրալ 2KCH-2,4 տիպի դասակարգչից, 10 միասպիրալ KCH-2,0 տիպի դասակարգչից, 11 \varnothing 750 մմ հիդրոցիկլոնների բլոկից, 12 ութ դյույմանոց ԴրԱԿ 350/40 տիպի գրունտային պոմպից, 10 տասներկու դյույմանոց ԴրԱԿ 1600/50 տիպի գրունտային պոմպից, 24 աղացների յուղման համակարգից: Գնդաղացների ցիկլը ներառում է ՄՄՊ-3200x3100 մմ տիպի առաջին փուլի մեկ գնդաղաց ($Ա_1$), ՄՄՊ-3200x3100 մմ տիպի ստանդարտ չափի երկրորդ փուլի երկու գնդաղաց ($Ա_5$ և $Ա_6$) և 18 ՄՄՊ-3200x3800 տիպի երկարացված գնդաղաց:

Աղացներն իրենց յուղման համակարգերով և դասակարգիչներով (կամ հիդրոցիկլոնների բլոկներով) կազմում են մանրացման ագրեգատներ (ՄԱ), որոնք երկրորդ փուլի աղացների, գրունտային պոմպերի, հիդրոցիկլոնների բլոկների հետ միասին կազմում են մանրացման համալիրներ (ՄՀ): Դրանք աշխատում են մանրացման երկփուլ ռեժիմում՝ մանրացման ագրեգատների 2:1 կամ 1:1 լծորդման սխեմայով:

ՄԱ-երի 2:1 սխեմայով լծորդման դեպքում ՄԱ₁, ՄԱ₂, ՄԱ₃, ՄԱ₄, ՄԱ₅, ՄԱ₆, ՄԱ₇, ՄԱ₈, ՄԱ₁₁, ՄԱ₁₃, ՄԱ₁₆, ՄԱ₁₇ ագրեգատներն աշխատում են երկփուլ մանրացման սխեմայով, այսինքն առաջին փուլի երկու ՄԱ-ն աշխատում են երկրորդ փուլի մեկ ՄԱ-ի հետ՝ կազմելով ՄՀ-եր՝ ՄԱ₁-ը և ՄԱ₁₃-ը ՄԱ₁₅-ի հետ (ՄՀ₁), ՄԱ₃-ը և ՄԱ₂-ը ՄԱ₆-ի հետ (ՄՀ₂), ՄԱ₄-ը և ՄԱ₈-ը ՄԱ₇-ի հետ (ՄՀ₃), ՄԱ₁₆-ը և ՄԱ₁₇-ը ՄԱ₁₁-ի հետ (ՄՀ₁₀):

ՄԱ₉, ՄԱ₁₀, ՄԱ₁₄, ՄԱ₁₂, ՄԱ₂₀, ՄԱ₂₁, ՄԱ₂₂, ՄԱ₂₃, ՄԱ₂₄ գնդաղացները 1:1 լծորդման դեպքում աշխատում են երկփուլ մանրացման սխեմայով՝ ՄԱ₁₀-ը ՄԱ₉-ի հետ (ՄՀ₄), ԻԱ₁ ինքնաղաց ագրեգատը ՄԱ₁₂ ագրեգատի հետ (ՄՀ₈), ԻԱ₂ ագրեգատը ՄԱ₁₄-ի հետ (ՄՀ₉), ՄԱ₂₁-ը ՄԱ₂₀-ի հետ (ՄՀ₆), ՄԱ₂₂-ը ՄԱ₂₃-ի հետ (ՄՀ₇), ԻԱ₃ ագրեգատը Ա₂₄ -ի հետ (ՄՀ₅):

Հանքաքարը պարաբոլական և մանրացված հանքաքարի բունկերներից <16 մմ խոշորությամբ, ժապավենային սնուցիչ-փոխադրիչներով տրվում է թեք կոնվեյերներին, որոնցով հանքաքարը տրվում է մանրացման առաջին փուլի ագրեգատներին: Ա₁, Ա₂, Ա₃, Ա₄, Ա₈, Ա₁₀ աղացների բեռնաթափվածքը տրվում է Ø 2400 մմ երկսպիրալ դասակարգիչներին, իսկ առաջին փուլի Ա₁₇, Ա₁₆, Ա₂₁, Ա₂₂ և երկրորդ փուլի Ա₉, Ա₁₀ աղացների բեռնաթափվածքը՝ Ø 2000 մմ միասպիրալ դասակարգչին: Ա₁₃ աղաց, ի տարբերություն առաջին փուլի մյուս աղացների, աշխատում է պահուստավորված 8 դյույմանոց գրունտային պոմպերի հետ, Ø 750 մմ հիդրոցիկլոնով, փակ ցիկլով: Երկրորդ փուլի բոլոր գնդաղացներն աշխատում են փակ ցիկլով՝ գրունտային պոմպերով և հիդրոցիկլոնների մարտկոցներով, ընդ որում մանրացման երկրորդ փուլի Ա₉, Ա₁₁, Ա₂₀, Ա₂₃ աղացները միաժամանակ սնուցվում են ջարդված հանքաքարի բունկերից, ինչը թույլ է տալիս առաջին փուլի աղացների խափանման դեպքում աշխատել միափուլ ռեժիմում, (1:0) լծորդման սխեմայով:

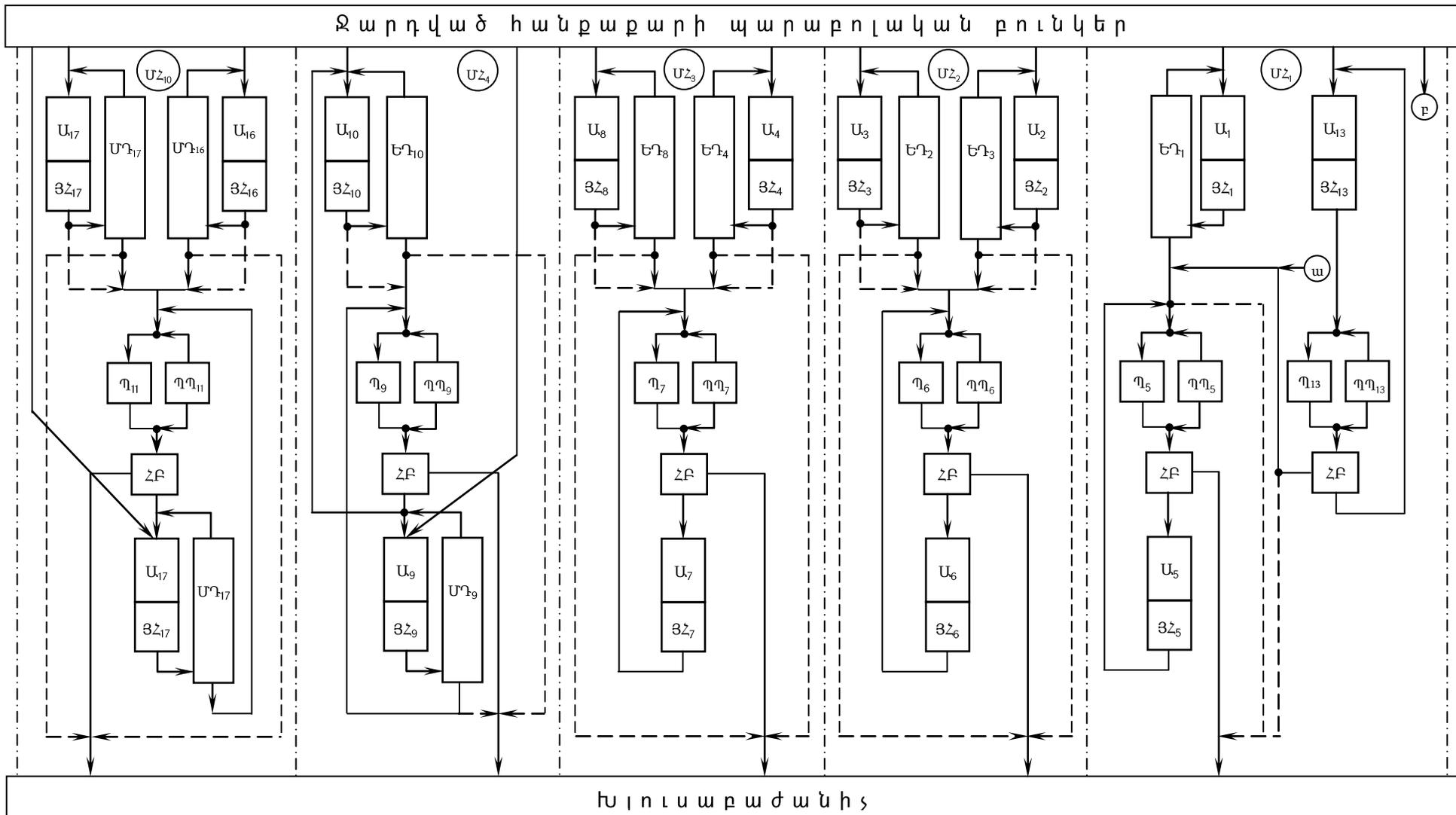
Դասակարգիչների ավազները վերադառնում են աղացներ՝ որպես շրջանառվող բեռնվածք, որը կազմում է 50...100%: Դասակարգիչների խյուսաթափվածքը և երկրորդ փուլի աղացի բեռնաթափվածքը միավորվում և տրվում են մանրացման երկրորդ փուլի հիդրոցիկլոնների գրունտային պոմպերի խյուսափոսին: Դասակարգիչների նորոգման դեպքում հնարավորություն կա աղացների բեռնաթափվածքը անմիջականորեն մատուցելու մանրացման երկրորդ փուլի հիդրոցիկլոնների խյուսափոս: Ընդ որում բեռնաթափվածքը դեպի համապատասխան աղաց նվազեցվում է՝ նորմալ չափի աղացվածք ապահովելու համար:

Մանրացման համալիրներում, որոնք աշխատում են 2:1 լծորդման սխեմայով (ՄՀ₁...ՄՀ₃, ՄՀ₁₀) տեղակայված են 12 դյույմանոց ԴրԱԿ 1600/50 տիպի գրունտային պոմպեր՝ փոխարինման մեթոդով պահուստավորված 8 դյույմանոց ԴրԱԿ 350/40 տիպի պոմպերով (ՊՊ), որոնք կարող են ապահովել ՄՀ-երի աշխատանքը 1:1 լծորդման սխեմայով 12 դյույմանոց հիմնական պոմպի խափանման դեպքում: 1:1 լծորդման սխեմայով աշխատող ՄՀ-երում (ՄՀ₄, ՄՀ₆, ՄՀ₇) տեղադրված են 8 դյույմանոց գրունտային պոմպեր, որոնք փոխարինման մեթոդով պահուստավորված են նույնատիպ պոմպերով: Հիդրոցիկլոնների ավազները 14...16% -80 միկրոն (մկմ)

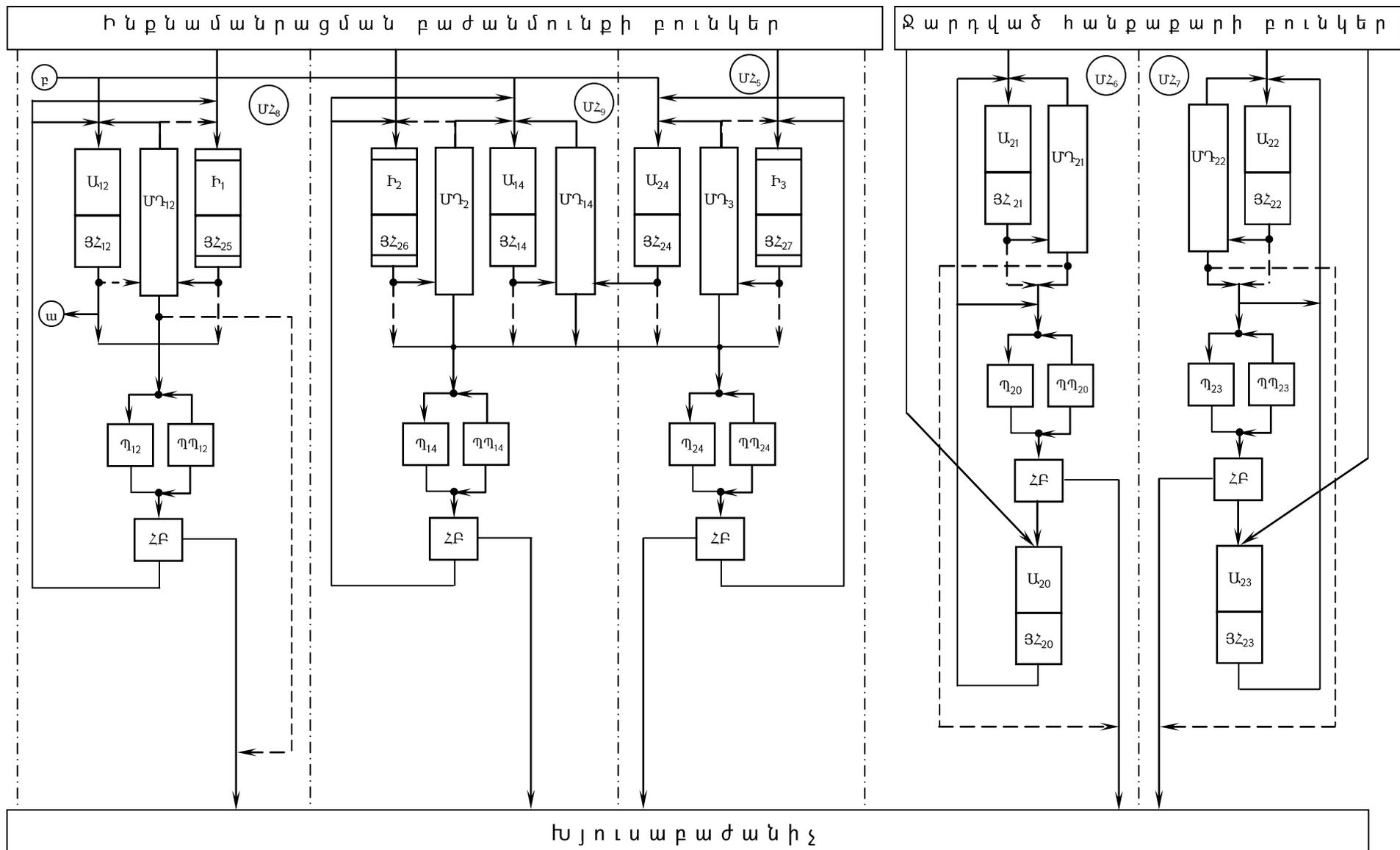
դասի տրվում են կենտրոնական բեռնաթափվածքով աղացներին: Հանքաքարի ինքնամանրացման ցիկլն ընդգրկում է երեք MMC 70-23 տիպի ինքնաղաց (h_1, h_2, h_3), որոնք աշխատում են 1:1 լծորդման սխեմայով՝ համապատասխանաբար U_{12} , U_{14} և U_{24} գնդաղացների հետ:

Ինքնամանրացման բաժանմունքի բունկերից 70...300 մմ չափի հանքաքարը թիթեղաձև սնուցիչներով տրվում է թեք կոնվեյերներին, որոնց օգնությամբ՝ ինքնաղացներին:

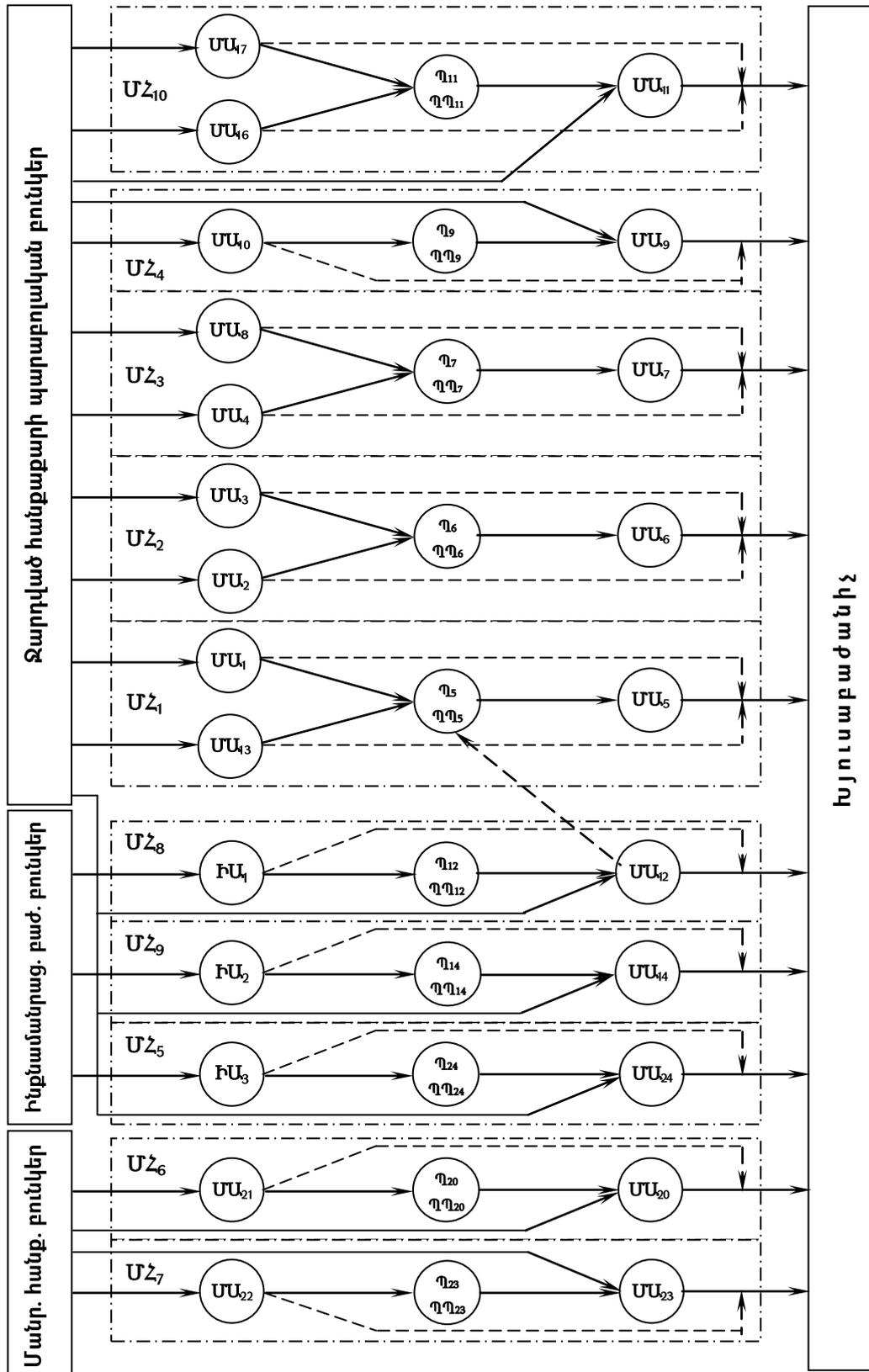
Ինքնաղացների բեռնաթափվածքն անցնում է թմբկամաղի միջով՝ դասակարգվելով ըստ 15 մմ դասի: Հանքախիճը (>15 մմ չափի) տրվում է երկրորդ փուլի գնդաղաց: Նախատեսված է դեպի ինքնաղաց հանքախճի վերադարձի հնարավորությունը կոնվեյերների համակարգի օգնությամբ: Թմբկամաղերի ենթացանցային արտադրանքն տրվում է $\varnothing 2000$ մմ միասալիրալ դասակարգիչներին, որոնց ավազները ճոռով տրվում են գնդաղացներին, որոնք միաժամանակ սնվում են նաև մանրացված հանքաքարի բունկերից: Դասակարգիչների խյուսաթափվածքն տրվում է նույնատիպ պոմպերով փոխարինման մեթոդով պահուստավորված 12 դյույմանոց գրունտային պոմպերի խյուսափոս, որտեղից էլ մղվում են հիդրոցիկլոնների բլոկներ: Հիդրոցիկլոնների ավազները կարող են տրվել ինչպես երկրորդ փուլի գնդաղացներին, այնպես էլ ինքնամանրացման աղացներին:



Նկ. < 1.1. ՀԱՏՀ-ի կառուցվածքային սխեման



Նկ. < 1.1. ՀՄՏՀ-ի կառուցվածքային սխեման (շարունակություն)



Նկ. < 1.2. ՀՍՀ-ի խոշորացված կառուցվածքային սխեման

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2

ՊՂՆՁԱՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հ 2.1. Ընդհանուր տեղեկություններ ԶՊՄԿ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի վերաբերյալ

«ԶՊՄԿ» ՓԲ ընկերության հարստացուցիչ ֆաբրիկան գտնվում է Քաջարան քաղաքում, Ողջի գետի ձախ ափին, ծովի մակարդակից 1800մ բարձրության վրա: Ֆաբրիկան վերամշակում է կենտրոնական տեղամասի պղնձամոլիբդենային հանքաքարը, որը տեղադրված է Ողջի գետի աջ ափին, մոտ 2000մ բարձրության վրա:

Հանքաքարը ժապավենային փոխադրիչով հասցվում է հանքաքարի ջարդման և տեղափոխման արտադրամաս, այդտեղից էլ հիմնական մասնաշենք՝ որտեղ իրականացվում է հանքաքարի մանրացումը և հարստացումը: Խոշոր, միջին և մանր ջարդման հանգույցները և հանքաքարի տեղափոխման ամբողջ շղթան՝ հանքից մինչև ֆաբրիկա առանձնացված են որպես մի ինքնուրույն արտադրամաս: Հարստացուցիչ ֆաբրիկայի կազմի մեջ են մտնում նաև խտանյութերի խտացման, ֆիլտրման և չորացման արտադրամասերը:

Ֆաբրիկան շահագործման է հանձնվել 1952թ: Հետագա տարիների ընթացքում տեխնոլոգիաների կատարելագործման համար ֆաբրիկան բազմիցս ենթարկվել է վերակառուցման և ընդլայնման: Տեխնոլոգիաների կատարելագործմանն ուղղված աշխատանքներն իրականացվել են «ՊՈՅԿ» ԳԱՄ-ի և «Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի կողմից՝ սերտորեն համագործակցելով կոմբինատի հետ:

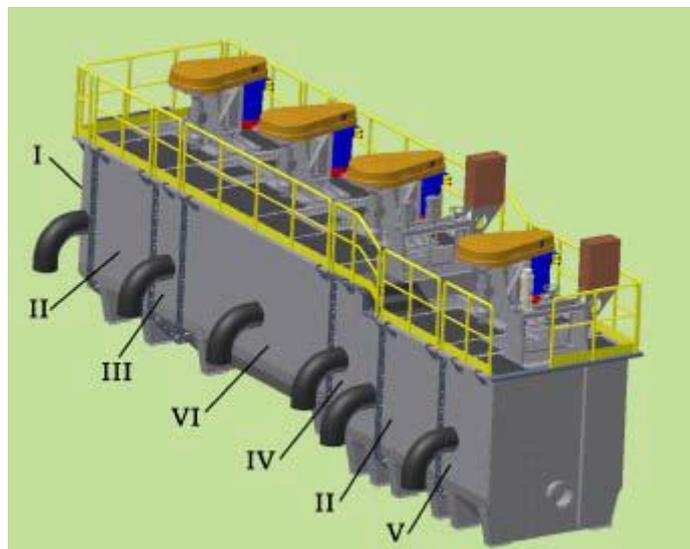
1978թ. հաստատված տեխնիկական նախագծի համաձայն ֆաբրիկայի հզորությունը հասցվեց 8,5 մլն. տ/տարի: Նախագծի շտկումից հետո հզորությունը հասցվեց 9,1 մլն տ/տարի: Ամերիկյան արտադրության երկու հզոր ինքնադաշտերի տեղադրումից հետո (2016թ.) ԶՊՄԿ-ի հզորությունը կազմում է 21 մլն տ/տարի: Ներկայումս ֆաբրիկան վերամշակում է 0,0325% մոլիբդենի և 0,23% պղնձի միջին

պարունակությամբ հանքաքար: *Mo*-ի պարունակությունը մոլիբդենի խտանյութում կազմում է 48-51%, իսկ պղնձի պարունակությունը համանուն խտանյութում՝ 26-28%:

ԶՊՄԿ-ի հանքաքարի հարստացման ընդհանուր տեխնոլոգիական սխեման ներառում է կոլեկտիվ, մոլիբդենի և պղնձի սելեկտիվ ֆլոտացման ցիկլերը:

Հ 2.2. Պնևմամեխանիկական ֆլոտամեքենաներ

«ՐԻՅՇ» ԳԱՄ-ի արտադրության ՐԻՓ տիպի պնևմամեխանիկական ֆլոտամեքենաները նախատեսված են հանքաքարի փրփրային հարստացման համար: Դրանք ունեն մոդուլային կառուցվածք, որը բերված է նկար Հ 2.1-ում:



Նկ. Հ 2.1. Պնևմամեխանիկական ֆլոտամեքենա

ՐԻՓ մեքենաները բաղկացած են հետևյալ հիմնական սեկցիաներից (մոդուլներից).

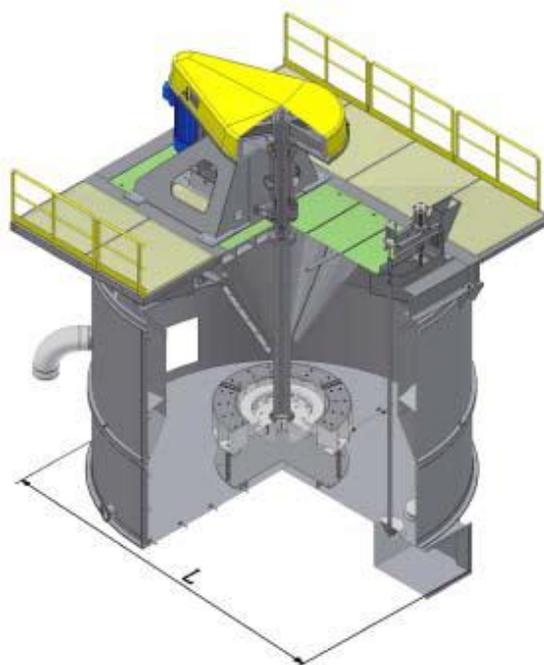
- ընդունման գրպանի սեկցիաներ (I մոդուլ),
- խցիկների սեկցիաներ (II մոդուլ),
- փրփրային գոգերի սեկցիաներ (III մոդուլ),
- միջանկյալ գրպանի սեկցիաներ (IV մոդուլ),
- բեռնաթափման գրպանի սեկցիաներ (V մոդուլ),
- կրկնակի խցիկի սեկցիաներ (VI մոդուլ):

ԶՊՄԿ ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի վերակառուցված ֆլոտացման արտադրամասը պատկերված է նկար < 2.2-ում:



Նկ. < 2.2. «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի ֆլոտացման արտադրամասը

Իսցիկի ստորին հատվածի կենտրոնում տեղադրվում է օդամղման P110 համալիրը, որը կազմված է ստատորից, իմպելերից և հոսքերի ձևավորիչից: Ֆլոտամեքենայի ներքին տեսքը բերված է նկար < 2.3-ում:



Նկ. < 2.3. Ֆլոտամեքենայի ներքին տեսքը

Ֆլոտախցիկի ստորին հատվածը մեխանիկական մաշվածությունից պաշտպանված է ռետինե շերտով: Ֆլոտամեքենան հագեցած է տրված միջակայքում խյուսի մակարդակի և օդի ծախսի ավտոմատ ապահովման համակարգով: Փրփրային արգասիքի հեռացումը կառավարելու նպատակով տեղադրված են փրփրահեռացման տվիչներ: ՔՄՓ 25 ֆլոտամեքենայի հիմնական տեխնիկական պարամետրերը բերված են աղյուսակ < 2.1-ում:

Աղյուսակ < 2.1

ՔՄՓ 25 ֆլոտամեքենայի հիմնական տեխնիկական պարամետրերը

Հիմնական պարամետրի անվանումը և չափողականությունը	Չափը
Խցիկի տարողությունը, մ ³	25 ± 1,2
Արտադրողականությունն ըստ ապարախյուսի հոսքի, մ ³ /ր, ոչ ավելի	20,0
Իմպելերի հզորությունը, կՎտ	37/45/55
պտտման հաճախությունը, պտույտ/րոպե	1000
սնուցման լարումը, Վ	380
Խցիկի ծավալի 1 մ ³ -ի վրա ծախսվող սահմանային հզորությունը, կՎտ/մ ³ , ոչ ավելի	0,85
Խցիկի մակերեսի մ ² -ու վրա օդի սահմանային ծախսը, մ ³ /ր/մ ²	1,0
Երկխցիկ մեքենայի զանգվածը, կգ	21000

< 2.3. Կոլեկտիվ ֆլոտացման ցիկլը

Հանքաքարի պղնձամոլիբդենային կոլեկտիվ ֆլոտացումն ներառում է 6 կիսահոսք (կիսասեկցիա), որոնք բաղկացած են ՔՄՓ 25 և ՔՄՓ 45 տիպի պնևմամեխանիկական ֆլոտամեքենաներից:

Հանքաքարի մանրացման վերջնական փուլում հիդրոցիկլոնների խյուսաթափվածքը (գնդաղացների և ինքնաղացների ելքային արտադրանքը) միջինում 55...60% <80 մկմ դասի պարունակությամբ և 30...33% (1110...1220 գ/լ) խյուսի պնդի խտությամբ ինքնահոս կերպով տրվում է երկու խյուսաբաժանիչներին, որտեղ նոսրացվում են մինչև 28,5...30% (1050...1110 գ/լ) և բաշխվում կոլեկտիվ ֆլոտացման 6

հոսքերով: Ընդ որում ինքնադացների հիդրոցիկլոնների խյուսաթափվածքը (թիվ 5 և թիվ 6 աղացներ) տրվում է առաջին խյուսաբաժանիչին, իսկ մնացած աղացների հիդրոցիկլոններին՝ երկրորդ խյուսաբաժանիչին: Հիմնական կոլեկտիվ ֆլուտացման պոչերն ինքնահոս կերպով տրվում են ստուգիչ ֆլուտացման, որի արտադրանքը՝ փրփուրը, 8 դյույմանոց պոմպերով ուղարկվում է 6 հոսքից բաղկացած հիմնական ֆլուտացման գլխամաս: Ստուգիչ ֆլուտացման վերջնական պոչերը պարունակում են մոտ 0,007...0,008% մոլիբդեն և 0,05% պղինձ: Հիմնական ֆլուտացման կոլեկտիվ պղնձամոլիբդենային խտանյութը տրվում է լրամանրացման և վերամաքման ցիկլ, որը բաղկացած է երկու զուգահեռ աշխատող հոսքերից: Սկզբնական պղնձամոլիբդենային կոլեկտիվ խտանյութի լրամանրացումն իրականացվում է ավտոմատացված պոմպ-հիդրոցիկլոնային մարտկոցով MՎԼ-3200x3100 տիպի երկու աղացներով՝ հագեցված «PIBC» ԳԱՄ-ի արտադրության հիդրոցիկլոններով: Առաջին մոլիբդենային վերամաքման խտանյութի լրամանրացումն իրականացվում է VTM-6 (Vertimile) աղացով: Հիդրոցիկլոնների խյուսաթափվածքը մոտ <80 մկմ դասի 80% պարունակությամբ տրվում է խտանյութի եռակի վերամաքման: Վերամաքրումն իրականացվում է ՔՄՓ 8,5 պնևմոմեխանիկական ֆլոտոմեքենաներում:

Կոլեկտիվ խտանյութի առաջին վերամաքման պոչերն ընդունվում են տեխնոլոգիական ֆլուտացման, որն իրականացվում է երեք ՔՄՓ 8,5 եռախոց ֆլոտամեքենաներում: Վերջին ֆլոտամեքենայի խցիկային արտադրանքը (վերջնական պոչերը) տրվում է կոլեկտիվ ցիկլի ընդհանուր պոչագուռին: Առաջին մեքենայի խտանյութը գնում է լրամանրացման և այնուհետև կոլեկտիվ խտանյութի առաջին վերամաքման, իսկ լրաֆլուտացման երկրորդ և երրորդ մեքենաների խտանյութերը ստուգիչ կոլեկտիվ ֆլուտացումից հետո վերադարձվում են հիմնական ֆլուտացման գլխամաս՝ խյուսաբաժանիչ: Առաջին վերամաքման փրփրային արտադրանքը տրվում է երկրորդ վերամաքման, որի պոչերն ինքնահոս կերպով տրվում են առաջին վերամաքման: Երկրորդ ստուգիչ վերամաքման խտանյութն ընդունվում է երրորդ կոլեկտիվ վերամաքման, որի պոչերը վերադառնում են երկրորդ վերամաքման: Վերջնական կոլեկտիվ պղնձամոլիբդենային խտանյութը տրվում է մոլիբդենային ֆլուտացման:

Հ 2.4. Մոլիբդենային ֆլոտացման ցիկլը

Կոլեկտիվ ֆլոտացման վերջնական արտադրանքը՝ կոլեկտիվ խտանյութը, ֆաբրիկայի երկու կեսերից ինքնահոս կերպով տրվում է հիմնական մոլիբդենային ֆլոտացում իրականացնող (սելեկցիայի) հատուկ կոնտակտային КЧ 40 РИФ և КЧ 25 РИФ չաներին: Այստեղ ֆլոտացումից առաջ իրականացվում է խյուսի օդակարգավորում և շոգեմաքրում 40...55°C-ի պայմաններում, որտեղից պոմպով մղվում է վեցխցանի РИФ 3,5 ֆլոտամեքենա՝ հիմնական մոլիբդենային ֆլոտացման: Հիմնական և ստուգիչ մոլիբդենային ֆլոտացումը բաղկացած են երկու հոսքերից՝ աշխատանքային և պահուստային:

Հիմնական սելեկցիայի պոչերն ուղղվում են առաջին ստուգիչ սելեկցիայի: Առաջին ստուգիչ ֆլոտացման պոչերն ինքնահոս կերպով տրվում են երկրորդ ստուգիչ ֆլոտացման: Երկրորդ ստուգիչ ֆլոտացման պոչերն ինքնահոս տրվում են երրորդ ստուգիչ ֆլոտացման, որտեղ ստացվում են մոլիբդենային սելեկցիայի վերջնական պոչերը՝ կոշտ պղնձի խտանյութը՝ մոտ 0,12% մոլիբդենի և 11,8% պղնձի պարունակությամբ:

Առաջին, 2-րդ ու 3-րդ ստուգիչ սելեկցիաների փրփրային արտադրանքն ինքնահոս կերպով տրվում է հիմնական սելեկցիայի խառնիչ չան: Հիմնական սելեկցիայի փրփրային արտադրանքը (նախնական մոլիբդենային խտանյութը) ինքնահոս տրվում է մոլիբդենային վերամաքրման բաշխիչ տուփ, որը բաղկացած է երկու զուգահեռ հոսքերից (աշխատանքային և պահուստային): Յուրաքանչյուր հոսք ներառում է մոլիբդենի խտանյութի 7 վերամաքրում: Առաջին վերամաքրումն իրականացվում է РИФ 3,5 երկխցանոց ֆլոտամեքենայում: Այդ վերամաքրման պոչերն ընդունվում են РИФ 3,2 երկխցանոց ֆլոտամեքենա՝ լրացուցիչ ֆլոտացման համար: Լրացուցիչ ֆլոտացման պոչերը ПРВ 300 տիպի պոմպերով տրվում են հիմնական սելեկցիայի խառնիչ չան, իսկ փրփրային արտադրանքը՝ առաջին մոլիբդենային վերամաքրման գլխամաս:

Առաջին մոլիբդենային վերամաքրման փրփրային արտադրանքը պոմպով ուղղվում է լրամանրացման МШР1500x1500 մմ գնդաղաց, որն աշխատում է փակ ցիկլով՝

սպիրալային դասակարգչով: Դասակարգչի խյուսաթափվածքը երկրորդ վերամաքումից առաջ պոմպով մղվում է բաշխիչ տուփ: Առաջին վերամաքման խտանյութն առանց լրամանրացման տրվում է երկրորդ վերամաքման, որն իրականացվում է հինգխցանոց ՔՄՓ 0,5 ֆլոտոմեքենայում: Պոչերը վերադառնում են առաջին վերամաքման, իսկ խտանյութն ընդունվում է երրորդ վերամաքման, որն իրականացվում է եռախցիկ ՔՄՓ 0,5 ֆլոտոմեքենայում: Երրորդ վերամաքման պոչերը վերադառնում են երկրորդ վերամաքման, իսկ խտանյութն տրվում է չորրորդ վերամաքման: Չորրորդ վերամաքման պոչերը վերադառնում են երրորդ վերամաքման, իսկ խտանյութն ընդունվում է հինգերորդ վերամաքման: Հինգերորդ վերամաքման պոչերը վերադառնում են չորրորդ վերամաքման, իսկ խտանյութն ընդունվում է վեցերորդ վերամաքման: Վեցերորդ վերամաքման պոչերը վերադառնում են հինգերորդ վերամաքման, իսկ խտանյութն ընդունվում է յոթերորդ վերամաքման: Յոթերորդ վերամաքման պոչերը վերադառնում են վեցերորդ վերամաքման: Յոթերորդ վերամաքման խտանյութը պատրաստի մոլիբդենային խտանյութ է $\geq 50\%$ մոլիբդենի և 0,4...0,6% պղնձի պարունակությամբ:

Մոլիբդենային ֆլոտացման գործընթացի օպերատիվ կարգավորման նպատակով իրականացվում են մոլիբդենի, պղնձի և վերջնական մոլիբդենային խտանյութում չլուծված մնացորդային պարունակության էքսպրես անալիզներ և չափում են վեցերորդ մոլիբդենային վերամաքման և վերջին ստուգիչ ֆլոտացման նատրիումի սուլֆիդի մնացորդային խտությունները:

Բոլոր տեսակի ՔՄՓ ֆլոտամեքենաները հագեցված են АССУП-РВ (автоматическая система стабилизации уровня пульпы и расхода воздуха) համակարգով՝ ֆլոտախցերում ավտոմատ կարգավորման, խյուսի մակարդակի և օդի ծախսի կայունացման համար:

Մոլիբդենի խտանյութը յոթերորդ վերամաքումից հետո մինչև 45% պնդի խտությամբ պոմպով ընդունվում է մոլիբդենային խտանյութի զտման և չորացման արտադրամաս: Թաց բովախառնումից հետո խտանյութը տրվում է ժապավենային վակուումային զտիչներին (մեկը՝ աշխատանքային, մյուսը՝ պահուստային), որտեղ տաք ջրի միջոցով նվազեցվում է ալկալիական մետաղների ազդեցությունը:

Ֆիլտրված խտանյութը հոսաճեղքով ընդունվում է չորացման թմբուկավոր չորանոց: Չորացումից հետո պատրաստի մոլիբդենի խտանյութը փաթեթավորվում է և ուղարկվում սպառողներին:

Հ 2.5. Պղնձի ֆլոտացման ցիկլը

Երրորդ ստուգիչ սելեկցիայի պոչերը 11,8% պղնձի պարունակությամբ (կոշտ մոլիբդենի խտանյութ) օդավորումից (աերացիայից) հետո ընդունվում են առաջին դասակարգման \varnothing 350 մմ հիդրոցիկլոն: Հիդրոցիկլոնի ավազներն ինքնահոս կերպով տրվում են միասպիրալ \varnothing 1000 մմ դասակարգչին՝ ջրով լվացման և համար: Դասակարգչի խյուսաթափվածքը 3ԴՄ-8 տիպի պոմպով մղվում է \varnothing 250 մմ հիդրոցիկլոն (մեկը՝ աշխատանքային, մյուսը՝ պահուստային)՝ երկրորդ դասակարգման և լվացման:

Առաջին և երկրորդ դասակարգման հիդրոցիկլոնների խյուսաթափվածքը ինքնահոս տրվում է զուգահեռ միացված №1 և №2 թանձրիչներին: Հիդրոցիկլոնի ավազները տրվում են \varnothing 1000 մմ դասակարգչին: Երկու թանձրիչի խտացված արտադրանքը տրվում է շլամային պղնձի ֆլոտացման, իսկ թանձրիչների խյուսաթափվածքը՝ պղնձի խտանյութի թանձրացման արտադրամասի \varnothing 18 մմ երրորդ թանձրիչ՝ նուրբ մասնիկների հավաքման համար:

\varnothing 1000 մմ դասակարգչի ավազները 1800 գ/լ խտությամբ ՄԻՊ-1500x1600 մմ աղացում լրամանրացումից հետո 2ԴՄ-6ԼԻԲՄ տիպի պոմպերով տրվում են երեք հաջորդաբար աշխատող խառնիչ չաներին՝ աերացիայի և ագիտացիայի համար, որից հետո նոսրացվում են մինչև 30...35% պնդությամբ և ընդունվում հիմնական պղնձի ֆլոտացման:

Հիմնական պղնձաավազային ֆլոտացված խտանյութը միջինում 22% պղնձի պարունակությամբ ենթարկվում է վերամաքման: Վերամաքրված խտանյութը պատրաստի պղնձի խտանյութ է 26...28% պղնձի պարունակությամբ:

Հիմնական ավազային ֆլուտացման պոչերը մոտ 3,35% պղնձի պարունակությամբ տրվում են առաջին ստուգիչ ֆլուտացման, որի խտանյութը ենթարկվում է հիմնական ֆլուտացման, իսկ պոչերը՝ երկրորդ ստուգիչ ֆլուտացման:

Երկրորդ ստուգիչ ֆլուտացման պոչերը տրվում են երկրորդ շլամային ֆլուտացման, իսկ փրփրային արտադրանքն ուղղվում է ստուգիչ ֆլուտացման խտանյութի վերամաքման: Վերամաքրված խտանյութը լրամանրացումից հետո կոլեկտիվ խտանյութի հետ համատեղ տրվում է վերամաքման, իսկ 0,4...0,8% պղնձի պարունակությամբ պոչերը ենթարկվում են երկրորդ ստուգիչ ֆլուտացման:

N^o1 և N^o2 թանձրիչների խտացված արտադրանքը՝ 18%-ից ոչ պակաս պնդի խտությամբ, պոմպով մղվում է շլամային պղնձի ֆլուտացման: Աերացիայից և ագիտացիայից հետո արտադրանքը տրվում է պղնձի առաջին հիմնական շլամային ֆլուտացման:

Շլամային ֆլուտացման պղնձի խտանյութը 18...20% պղնձի պարունակությամբ տրվում է միախուց РИФ 8,5 ֆլուտամեքենային՝ առաջին վերամաքման, որի խտանյութն այնուհետև ենթարկվում է երկրորդ վերամաքման: Վերամաքրված խտանյութը աերացիայից և ագիտացիայից հետո տրվում է հիմնական ավազային ֆլուտացման, իսկ պոչերը՝ առաջին շլամային վերամաքման: Առաջին վերամաքման պոչերը տրվում են հիմնական շլամային ֆլուտացման, իսկ երկրորդ վերամաքման պոչերը վերադարձվում են առաջին ստուգիչ վերամաքման: Հիմնական ֆլուտացման պոչերը՝ 1,8% պղնձի պարունակությամբ, միավորվում են պղնձաավազային ֆլուտացման պոչերի հետ և ընդունվում երկրորդ հիմնական շլամային ֆլուտացման: Երկրորդ հիմնական շլամային ֆլուտացման խտանյութը վերամաքումից հետո միավորվում է Ø 1000 մմ դասակարգչի ավազների հետ: Պոչերը տրվում են ստուգիչ շլամային ֆլուտացման:

Ֆլուտացման խտանյութը վերամաքումից հետո տրվում է ստուգիչ շլամային ֆլուտացման գլխամաս, իսկ պոչերը միավորվելով այլ պոչերի հետ՝ կազմում են ընդհանուր թափոնային պոչեր՝ մոտ 0,1...0,14% մոլիբդենի և 0,35...0,5% պղնձի պարունակությամբ: Ստուգիչ շլամային ֆլուտացման պոչերը տրվում են երկրորդ հիմնական շլամային ֆլուտացման:

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 3

ՓՈՐՁԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՐՑՄԱՆ ԱՐԴՅՈՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՖԼՈՏԱՑՄԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ԿԱՐԵՎՈՐԱԳՈՒՅՆ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆՆԵՐԻ ԿԱԶՄԻ ՈՐՈՇՈՒՄ

Աղյուսակ Հ 3.1

Փորձագիտական խմբի կազմը

	Փորձագետներ	Զբաղեցրած պաշտոնը	Գիտական աստիճան, կոչում
1	Փորձագետ թիվ 1	«Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի ազնիվ մետաղների հանքանյութի հարստացման և մետալուրգիայի լաբորատորիայի վարիչ	տ.գ.թ.
2	Փորձագետ թիվ 2	«Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ» ՓԲԸ-ի ազնիվ մետաղների հանքանյութի հարստացման և մետալուրգիայի լաբորատորիայի առաջատար գիտաշխատող	տ.գ.թ.
3	Փորձագետ թիվ 3	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի ավագ տեխնոլոգ	
4	Փորձագետ թիվ 4	ՀՊՃՀ-ի Կապանի մասնաճյուղի ընդերքաբանության և մետալուրգիայի ամբիոնի ավագ դասախոս	
5	Փորձագետ թիվ 5	«Ագարակի ՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի գլխավոր տեխնոլոգ	
6	Փորձագետ թիվ 6	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հերթափոխի վարպետ	
7	Փորձագետ թիվ 7	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի տեխնոլոգի օգնական	
8	Փորձագետ թիվ 8	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի հերթափոխի վարպետ	
9	Փորձագետ թիվ 9	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի հարստացուցիչ ֆաբրիկայի գլխավոր մասնաշենքի պետ	
10	Փորձագետ թիվ 10	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի գլխավոր ճարտարագետ	
11	Փորձագետ թիվ 11	«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի տեխնիկական տնօրեն	տ.գ.թ.
12	Փորձագետ թիվ 12	ՀՊՃՀ-ի Կապանի մասնաճյուղի ընդերքաբանության և մետալուրգիայի ամբիոնի դոցենտ	տ.գ.թ., դոցենտ

Հ 3.1. Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման ալգորիթմը

Անմիջական գնահատման մեթոդի էությունն այն է, որ յուրաքանչյուր j -րդ փորձագետ գնահատում է i -րդ օբյեկտի հարաբերական կարևորությունը որոշակի միջակայքին պատկանող (օրինակ $[1, 100]$) d_{ij} թվով՝ ինչ-որ հատկությամբ օբյեկտի օժտվածության համապատասխան $[150-152]$: Ըստ որում, յուրաքանչյուր փորձագետի թույլատրվում է որակապես տարբեր օբյեկտներին տալ միևնույն գնահատականը: Տվյալ մեթոդով խմբային գնահատականի ստացման համար d_{ij} գնահատականները սովորաբար չափակարգվում են ըստ պահանջվող L միավորանի սանդղակի հետևյալ բանաձևով

$$x_{ij} = L \cdot d_{ij} / \sum_{i=1}^k d_{ij} : \quad (\text{Հ } 3.1)$$

(Հ 3.1) բանաձևից հետևում է, որ $\sum_{i=1}^k x_{ij} = L$.

Այնուհետև յուրաքանչյուր i օբյեկտի համար x_{ij} ($i = \overline{1, K}; j = \overline{1, N}$) չափակարգված գնահատականների միջինացման արդյունքում հաշվարկվում է a_i խմբային փորձագիտական գնահատականը: Եթե բոլոր N փորձագետների կոմպետենտությունը նույնն է, ապա a_i գնահատականը որոշվում է որպես x_{ij} ($j = \overline{1, N}$) գնահատականների միջին թվաբանական

$$a_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} : \quad (\text{Հ } 3.2)$$

Իսկ եթե յուրաքանչյուր j փորձագետի կոմպետենտությունը գնահատվում է b_j ($\sum_{j=1}^N b_j = 1$) ցուցանիշով, ապա a_i -ն որոշվում է հետևյալ բանաձևով:

$$a_i = \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot b_j . \quad (\text{Հ } 3.3)$$

(Հ 3.3) բանաձևի օգտագործման համար անհրաժեշտ է ունենալ փորձագետների կոմպետենտության ցուցանիշները: Սովորաբար այդ ցուցանիշները հաշվարկվում են փորձագիտական խմբի անդամների ինքնագնահատման կամ փոխադարձ գնահատման միջոցով, կամ էլ փորձաքննության ընթացքում փորձագետների կողմից

օբյեկտներին տրված գնահատականների վերլուծության արդյունքում: Վերջին դեպքում փորձագետի կոմպետենտությունը հաճախ գնահատվում է ելնելով նրանից, թե որքանով են նրա կողմից տրված գնահատականները համաձայնեցված մեծամասնության գնահատականների հետ:

Փորձագիտական գնահատականների $(K \times N)$ չափողականության $\|x_{ij}\|$ մատրիցի դեպքում K օբյեկտների $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ խմբային գնահատականների վեկտորի և N փորձագետների $b = (b_1, b_2, \dots, b_N)$ կոմպետենտության ցուցանիշների վեկտորի հաշվարկման բանաձևերը կարելի է ներկայացնել քոմփյուտերային իրականացման տեսակետից հարմար տեսքով.

$$a_i^{(\ell)} = \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot b_j^{(\ell-1)}, \quad (< 3.4)$$

$$c^{(\ell)} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot a_i^{(\ell)}, \quad (< 3.5)$$

$$b_j^{(\ell)} = \frac{1}{c^{(\ell)}} \sum_{i=1}^K x_{ij} \cdot a_i^{(\ell)}, \quad (< 3.6)$$

որտեղ $a_i^{(\ell)}$ և $b_j^{(\ell)}$ համապատասխանաբար խմբային գնահատականի և կոմպետենտության ցուցանիշի արժեքներն են հաշվողական ընթացակարգի ℓ -րդ քայլում:

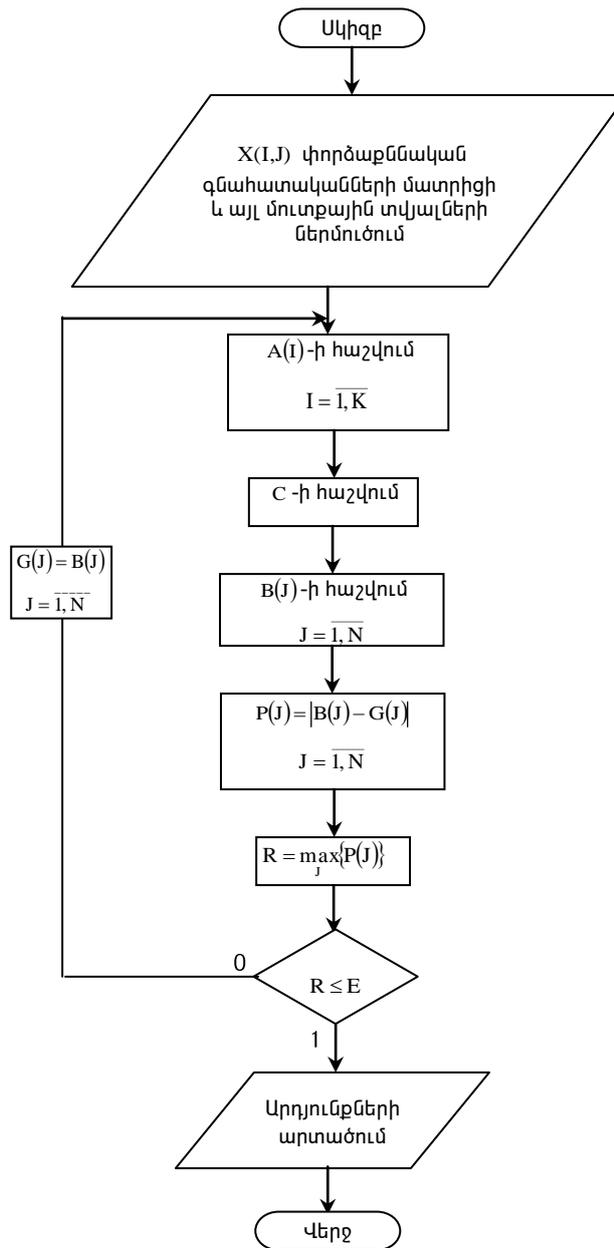
Նկարագրված ընթացակարգը քոմփյուտերով իրագործման դեպքում, որպես հաշվումների ավարտի պայման, կարելի է օգտագործել հետևյալ անհավասարությունը.

$$\max_j \left\{ \left| b_j^{(\ell)} - b_j^{(\ell-1)} \right| : j = \overline{1, N} \right\} \leq \varepsilon, \quad (< 3.7)$$

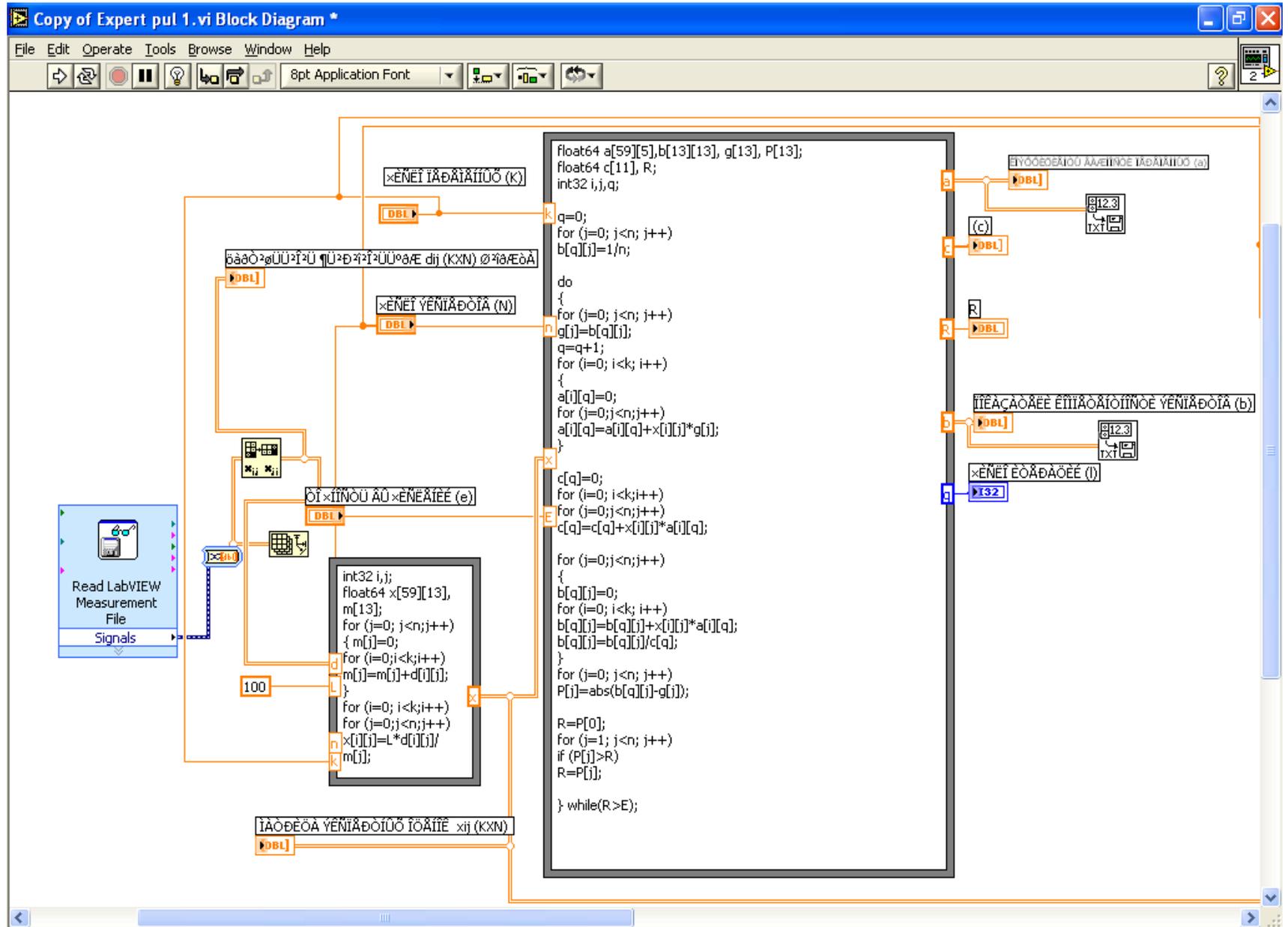
որտեղ ε -ը կոմպետենտության ցուցանիշների որոշման տրված ճշգրտությունն է:

Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման վերը շարադրված ալգորիթմը, որի բլոկ-սխեման բերված է նկ. < 3.1-ում, իրականացվել է LabVIEW ծրագրային միջավայրում: Ալգորիթմի աշխատանքը բավական պարզ է և հատուկ բացատրություն չի պահանջում:

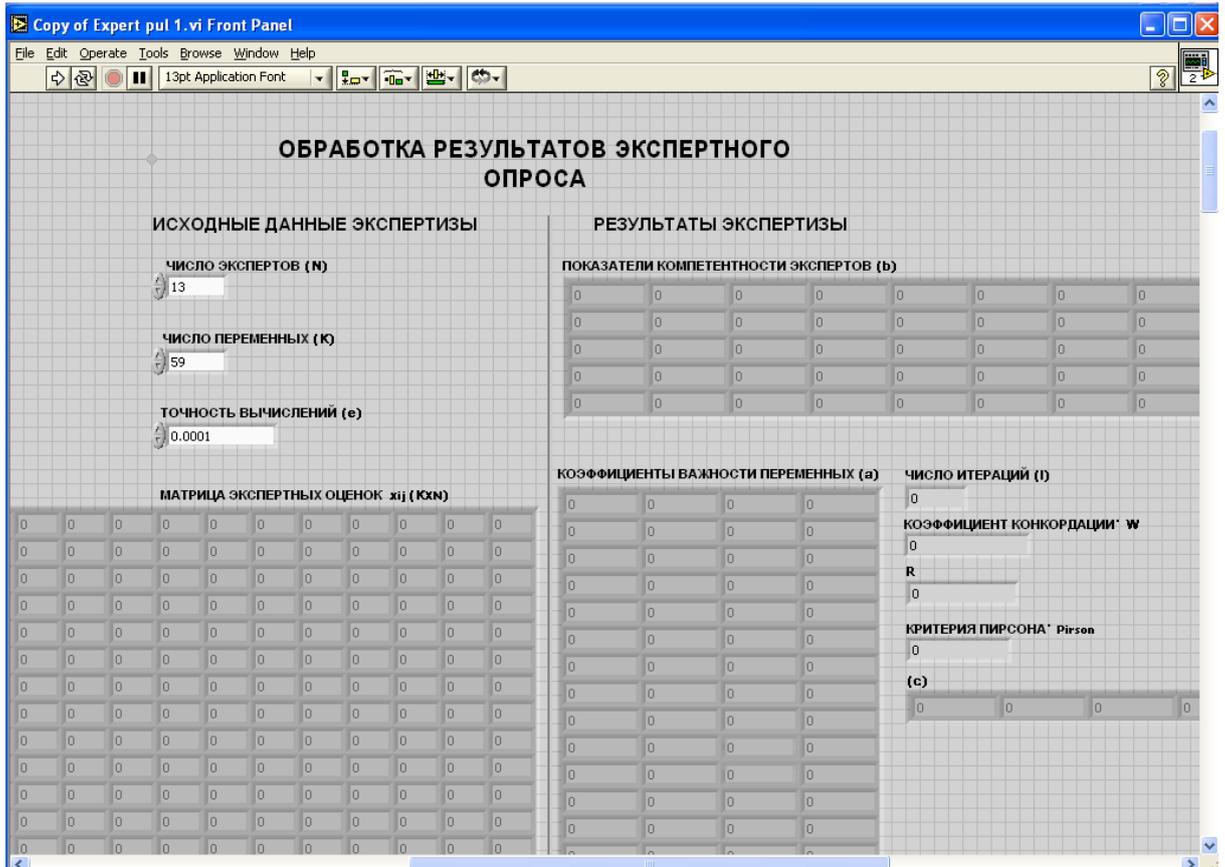
Ալգորիթմի հիման վրա կազմված “EXPERT” ծրագրային փաթեթի բլոկ-դիագրամը բերված է նկ. < 3.2-ում:



Նկ. < 3.1. Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման ալգորիթմի բլոկ-սխեմա



Նկ. < 3.2. Փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման ալգորիթմի բլոկ-դիագրամը



Նկ. < 3.3. “EXPERT” ծրագրային փաթեթի դիմային վահանակը

< 3.2. Փորձագետների կարծիքների համաձայնեցվածության աստիճանի և փորձաքննության արդյունքների հավաստիության գնահատումը

Անմիջական գնահատման մեթոդի օգտագործման դեպքում j -րդ փորձագետից ստացված և նվազման կարգով դասավորված յուրաքանչյուր x_{ij} գնահատականին համադրվում է համապատասխան r_{ij} կարգաթիվը, այսինքն այն տեղի թիվը, որը զբաղեցրել է i -րդ օբյեկտը տվյալ փորձագետի դասակարգման մեջ: Արդյունքում ձևավորվում է $\|r_{ij}\|$ մատրիցը, որի հիման վրա հաշվարկվում է փորձագետների կարծիքների համաձայնեցվածության աստիճանը գնահատող W կոնկորդացիայի գործակիցը [150, 152] հետևյալ բանաձևով.

$$W = \frac{12S}{N^2(K^3 - K) - N \sum_{j=1}^N T_j}, \quad (< 3.8)$$

որտեղ $S = \sum_{i=1}^K \left[\sum_{j=1}^N r_{ij} - \frac{1}{2} N(K+1) \right]^2$, $T_j = \sum_{\ell_j=1}^K (t_{\ell_j}^3 - t_{\ell_j})$: Այստեղ t_{ℓ_j} -ն դասակարգման մեջ

միմյանց հետ համընկած կարգաթվերի քանակն է:

Կոնկորդացիայի գործակցի վիճակագրական նշանակալիության ստուգումը $N \geq 3$ և $K \geq 5$ դեպքում իրականացվում է Պիրսոնի χ^2 չափանիշի օգնությամբ: Կարգաթվերի համընկնման դեպքում χ^2 արժեքը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով [152].

$$\hat{\chi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2} NK(K+1) - \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^N T_j} \quad (< 3.9)$$

Եթե $\hat{\chi}^2 > \chi_p^2(K-1)$, ապա փորձագետների կարծիքները համարվում են համաձայնեցված $p = 1 - \alpha$ վստահելի հավանականությամբ (α -ն $H_0 : W = 0$ հիպոթեզի նշանակալիության ստուգման մակարդակն է): Այլապես ընդունվում է որոշում փորձագետների կարծիքների անհամաձայնեցվածության մասին:

< 3.3. Փորձագիտական հարցման արդյունքների ներմուծումը և մշակումը «EXPERT» ծրագրային փաթեթի միջոցով

«EXPERT» ծրագրային փաթեթի դիմային վահանակի օգնությամբ ներմուծվում են փորձագիտական հարցման հետևյալ ելակետային տվյալները.

- փորձագետների թիվը ($N = 12$),
- դիտարկվող փոփոխականների թիվը ($K = 59$),
- հաշվարկների պահանջվող ճշգրտությունը ($\varepsilon = 0,001$),
- 59×12 չափողականության $\|d_{ij}\|$ փորձագիտական գնահատականների մատրիցը

(աղյ. < 3.2):

Այնուհետև «RUN» ստեղնի սեղմումով թողարկվում է «EXPERT» ծրագիրը, որի օգնությամբ նախ (< 3.1) բանաձևի համաձայն $\|d_{ij}\|$ մատրիցի տարրերը չափակարգվում են 100 միավորանոց սանդղակով, որից հետո արդյունքում ստացված

$\|x_{ij}\|$ մատրիցի հիման վրա, (< 3.2) - (< 3.9) բանաձևերի միջոցով հաշվարկվում և դիմային վահանակի վրա են արտաձևվում փորձաքննության հետևյալ արդյունքները.

- փոփոխականների ($a_i : i = 1, 59$) կարևորության գործակիցների ընթացիկ և վերջնական արժեքները (աղյ. < 3.2),
- փորձագետների ($b_j : j = \overline{1, 12}$) ցուցանիշների կոմպետենտության ընթացիկ և վերջնական արժեքները (աղյ. < 3.2),
- քայլերի քանակը (l),
- կոնկորդացիայի գործակցի արժեքը (W);
- Պիրսոնի չափանիշի արժեքը (χ^2):

Կոնկորդացիայի գործակցի հաշվարկված արժեքը՝ $W = 0,471$ վիճակագրորեն նշանակալի է $\alpha = 0,05$ նշանակալիության մակարդակի դեպքում, քանի որ Պիրսոնի չափանիշի հաշվարկային արժեքը՝ $\hat{\chi}^2 = 355,2$ զգալիորեն գերազանցում է $\chi_{0,05}^2(12) = 28,3$ աղյուսակային արժեքը: Ուստի փորձագետների կարծիքները համաձայնեցված են և փորձաքննության արդյունքները հավաստի են: Այդ փաստը անուղղակիորեն հաստատվում է նաև փորձագետների կոմպետենտության ցուցանիշների արժեքների աննշան տարբերություններով ($0.079, 0.079, 0.076, 0.078, 0.078, 0.76, 0.076, 0.076, 0.076, 0.076, 0.076, 0.076, 0.076$):

Մոդելի կարևորագույն փոփոխականների առանձնացման համար անհրաժեշտ է շեմային արժեքը ընտրվել է $1,5$ ՝ ելնելով այն դատողությունից, որ էական փոփոխականների կարևորության գործակիցները պետք է գերազանցեն կարևորության ցուցանիշի միջին արժեքի առնվազն 90% -ը՝ ($100/60 \cdot 0,9 = 1,49$):

Նշված շեմային արժեքի դեպքում 59 դիտարկված փոփոխականներից ընտրվել են 36 առավել էականները (աղյ. < 3.3):

Այնուհետև, փորձաքննության արդյունքների հետագա բարելավման նպատակով ընտրված փոփոխականների փորձագիտական գնահատականները նկարագրված ալգորիթմին համապատասխան ենթարկվել են կրկնակի մշակման: Ստացված արդյունքներից կարևորության գործակցի $2,6$ -ին հավասար շեմային գործակցի դեպքում ընտրվել են 31 առավել կարևոր փոփոխականները (աղյ. < 3.4):

Փորձագիտական գնահատականների սկզբնական մատրիցի մշակման արդյունքները

Փորձագետների կոմպետենտության ցուցանիշները		0.083	0.083	0.077	0.076	0.076	0.080	0.076	0.076	0.079	0.079	0.079	0.065	Պարամետրը չափվում է	Օբյեկտի կարևորության գործակիցը
	Սկզբնական հանքաքարի և ֆլոտացման գործընթացի բնութագրերը (պարամետրերը)	Փ Ո Ր Չ Ա Գ Ե Տ Ն Ե Ր Ը													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Mo-ի ընդհանուր պարունակությունը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.566
2	Օքսիդացված Mo-ի պարունակությունը	20	20	80	50	50	30	0	100	40	50	50	50	ոչ	1.038
3	Սուլֆիդային Mo-ի պարունակությունը	80	80	80	100	100	60	60	60	50	50	50	100	ոչ	1.904
4	Cu-ի ընդհանուր պարունակությունը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.566
5	Սուլֆիդային Cu-ի պարունակությունը	30	30	40	50	50	80	0	0	90	100	100	100	ոչ	1.303
6	Օքսիդացված Cu-ի պարունակությունը	70	70	100	50	50	100	100	100	100	100	100	60	այո	1.986
7	Սերտաճվածքի պարունակությունը	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	ոչ	0.166
8	Սկզբնակ. շլամների պարունակությունը	0	0	50	0	0	70	70	80	100	100	80	50	ոչ	1.134
9	Կաոլինի պարունակություն	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	ոչ	0.058
10	Գիպսի պարունակությունը	0	0	0	0	0	60	80	0	80	80	80	40	ոչ	0.802
11	Լուծված մետաղների պարունակությունը	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	ոչ	0.073
12	Խյուսի կլանիչ ունակութ. հավաք. նկատ.	0	0	0	0	0	80	80	90	90	100	100	100	ոչ	1.361
13	Ստանդարտ ադսորբցիոն ունակությունը	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	ոչ	0.138
14	Կոլեկտիվ ֆլոտացման տրվող	-80մկմ	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.515
15	խյուսի հատիկչափ. բնութագ.		+160մկմ	60	60	100	100	100	100	100	100	100	100	55	այո
16	Խյուսի խտությունը	70	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.414
17	Հանքաքարի ծախսը (արտադրողական.)	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100	90	այո	2.511
18	Խյուսի Ph-ը	100	100	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.486
19	Լրամանրացված հանք. հատիկ. բնութագ. (հիդրոցիկլոնի էլքի խյուսի)(-80մկմ)	70	70	100	80	80	100	90	100	70	100	100	100	ոչ	2.256
20	Խյուսի խտությունը (լրամանր. հ/ց-ի էլքը)	0	0	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.023

Աղյուսակ < 3.2 (շարունակություն)

Փորձագիտական գնահատականների սկզբնական մատրիցի մշակման արդյունքները

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
21	Կրի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	2.551
22	Na ₂ S –ի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	2.551
23	Բուրիլային քսանտոգենատի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	2.551
24	Փրփրիչի (ՕՍԵ (T92)) ծախսը	100	100	100	70	70	100	100	100	100	100	100	95	այն	2.439
25	Կայցիում. սոդայի ծախսը	100	100	0	70	70	0	0	0	0	0	0	95	նչ	1.093
26	Սոդիֆիկատորի ծախսը	100	100	0	70	70	0	0	0	0	0	0	95	նչ	1.093
27	Խյուսի աերացիայի աստիճանը (օդի ծախսը)	80	80	100	100	100	100	80	90	90	90	100	100	նչ	2.369
28	Ֆլոտամեքենայում խյուսի ջերմաստիճանը	0	0	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	այն	1.98
29	Փրփրի բարձրությունը ֆլոտամեքենայում	0	0	100	70	70	80	50	90	80	90	100	100	նչ	1.729
30	Խյուսի մակարդակը ֆլոտամեքենայում	0	0	100	0	0	100	100	100	100	100	100	100	այն	1.662
31	Փրփրի հանման արագությունը	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	նչ	0.102
32	Mo-ի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում.	80	80	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	նչ	2.446
33	Cu-ի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	80	80	80	80	80	90	80	100	100	նչ	2.212
34	Mo-ի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	100	100	75	100	100	80	80	80	100	նչ	2.296
35	Cu-ի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	80	80	70	80	100	80	80	80	100	նչ	2.169
36	Կոլեկտիվ խտանյութի արտադրողական.	0	0	100	50	50	0	0	0	0	0	0	100	նչ	0.7
37	Շոգեհարման ջերմաստիճանը	100	100	100	50	50	100	100	100	100	100	100	90	այն	2.182
38	Շոգեհարման ժամանակը	0	0	80	50	50	0	100	100	0	0	0	80	նչ	0.831
39	Mo-ի ֆլոտացմանը տրվող	-80մկմ +160մկմ	0	0	80	80	80	80	80	80	90	80	100	նչ	1.731
40	խյուսի հատիկաչափակ. բնութ.		0	0	100	80	80	0	100	100	0	0	80	100	նչ

Աղյուսակ < 3.2 (շարունակություն)

Փորձագիտական գնահատականների սկզբնական մատրիցի մշակման արդյունքները

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
41	Mo-ի ֆլոտացմանը տրվող խյուսի խտությունը	100	100	80	80	80	90	90	80	80	80	100	100	նշ	2.295
42	Հանքաքարի (արտադրող.)	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	100	այն	0.683
43	Խյուսի Ph-ը	0	0	100	90	90	0	80	90	0	0	0	100	նշ	1.172
44	Na ₂ S-ի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	2.551
45	Կերոսինի ծախսը	100	100	100	100	100	90	100	90	90	90	100	90	այն	2.473
46	Կալցիում. սոդայի ծախսը.	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	նշ	0.822
47	Մոդիֆիկատորի ծախսը	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	90	նշ	0.699
48	Լրամանրացված հանք. հատիկաչ. բնութագ. (h/g էլքի խյուսի)(-80մկմ)	0	0	0	100	100	0	100	100	0	0	0	100	նշ	1.081
49	Լրամանրացման հիդրոցիկլոնի խյուսաթափվածքի խտությունը	0	0	0	80	80	0	90	70	0	0	0	90	նշ	0.914
50	Խյուսի ջերմ. ֆլոտամեքենայում	80	80	100	0	0	80	80	80	80	80	100	80	նշ	1.845
51	Փրփրի բարձրությունը ֆլոտամեքենայում	0	0	100	0	0	90	90	90	90	90	100	90	նշ	1.551
52	Խյուսի մակարդակը ֆլոտամեքենայում	0	0	0	80	80	100	0	0	100	100	0	90	նշ	1.218
53	Փրփրի հանման արագությունը	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	նշ	0.145
54	Mo-ի պարունակությունը մոլիբդենի խտանյութում	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.566
55	Mo-ի կորզումը մոլիբդենի խտանյութում	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.566
56	Cu-ի պարունակությունը պղնձի խտանյութում	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.515
57	Mo-ի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի էլքը)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.566
58	Cu-ի կորզումը պղնձի խտանյութում	90	90	80	100	100	100	100	90	100	90	80	100	այն	2.402
59	Cu -ի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի էլքը)	90	90	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	այն	2.477

Փորձագիտական գնահատականների կրճատ մատրիցի մշակման արդյունքները

Փորձագետների կոմպետենտության ցուցանիշները		0.079	0.079	0.076	0.078	0.078	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	Պարամետրը չափվում է	Օբյեկտի կարևորության գործակիցը
	Սկզբնական հանքաքարի և ֆլոտացման գործընթացի բնութագրերը (պարամետրերը)	Փ Ո Ր Չ Ա Գ Ե Տ Ն Ե Ր Ը													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Mo-ի ընդհանուր պարունակությունը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.127
2	Սուլֆիդային Mo-ի պարունակությունը	80	80	80	100	100	60	60	60	50	50	50	100	ոչ	2.361
3	Cu-ի ընդհանուր պարունակությունը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.127
4	Օքսիդացված Cu-ի պարունակությունը	70	70	100	50	50	100	100	100	100	100	100	60	այո	2.369
5	Կոլեկտիվ ֆլոտացման տրվող խյուսի հատիկաչափ. բնութագ.	-80մկմ	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.068
6		+160մկմ	60	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	55	այո
7	Խյուսի խտությունը	70	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.95
8	Հանքաքարի ծախսը (արտադրողական.)	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100	90	այո	3.059
9	Խյուսի Ph-ը	100	100	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.023
10	Լրամանրացված հանք. հատիկ. բնութագ. (հիդրոցիկլոնի էլքի խյուսի)(-80մկմ)	70	70	100	80	80	100	90	100	70	100	100	100	ոչ	2.755
11	Խյուսի խտությունը (լրամանր. հ/ց-ի էլքը)	0	0	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.494
12	Կրի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այո	3.105
13	Na ₂ S –ի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այո	3.105
14	Բուրիլային քսանտոգենատի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այո	3.105
15	Փրփրիչի (ՕՍԵԵ (T92)) ծախսը	100	100	100	70	70	100	100	100	100	100	100	95	այո	2.96
16	Խյուսի անբաց. աստիճանը (օդի ծախսը)	80	80	100	100	100	100	80	90	90	90	100	100	ոչ	2.897
17	Ֆլոտամեքենայում խյուսի ջերմաստիճանը	0	0	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.433
18	Փրփրի բարձրությունը ֆլոտամեքենայում	0	0	100	70	70	80	50	90	80	90	100	100	ոչ	2.132

Փորձագիտական գնահատականների կրճատ մատրիցի մշակման արդյունքները

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
19	Խյուսի մակարդակը ֆլոտամեքենայում	0	0	100	0	0	100	100	100	100	100	100	100	այո	2.016
20	Mo-ի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում.	80	80	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	այո	2.987
21	Cu-ի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	80	80	80	80	80	90	80	100	100	ոչ	2.703
22	Mo-ի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	100	100	75	100	100	80	80	80	100	ոչ	2.819
23	Cu-ի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	80	80	70	80	100	80	80	80	100	ոչ	2.658
24	Շոգեհարման ջերմաստիճանը	100	100	100	50	50	100	100	100	100	100	100	90	այո	2.613
25	Mo-ի ֆլոտացմանը տրվող խյուսի հատիկաչափակ. բնութագիրը -80մկմ	0	0	80	80	80	80	80	80	80	90	80	100	ոչ	2.143
26	Mo-ի ֆլոտացմանը տրվող խյուսի խտությունը	100	100	80	80	80	90	90	80	80	80	100	100	ոչ	2.8
27	Na ₂ S-ի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այո	3.105
28	Կերոսինի ծախսը	100	100	100	100	100	90	100	90	90	90	100	90	այո	3.015
29	Խյուսի ջերմաստիճանը ֆլոտամեքենայում	80	80	100	0	0	80	80	80	80	80	100	80	ոչ	2.218
30	Խյուսի մակարդակը ֆլոտամեքենայում	0	0	100	0	0	90	90	90	90	90	100	90	ոչ	1.881
31	Mo-ի պարունակությունը մոլիբդենի խտանյութում	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.127
32	Mo-ի կորզումը մոլիբդենի խտանյութում	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.127
33	Cu-ի պարունակությունը պղնձի խտանյութում	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.068
34	Mo-ի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի ելքը)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.127
35	Cu-ի կորզումը պղնձի խտանյութում	90	90	80	100	100	100	100	90	100	90	80	100	այո	2.937
36	Cu -ի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի ելքը)	90	90	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	այո	3.023

Փորձագիտական գնահատականների վերջնական մշակման արդյունքները

Փորձագետների կոմպետենտության ցուցանիշները		0.079	0.079	0.076	0.078	0.078	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	0.076	Պարամետրը չափվում է	Օբյեկտի կարևորության գործակիցը
	Սկզբնական հանքաքարի և ֆլոտացման գործընթացի բնութագրերը (պարամետրերը)	Փ Ո Ր Չ Ա Գ Ե Տ Ն Ե Ր Ը													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Mo-ի ընդհանուր պարունակությունը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	3.482
2	Սուլֆիդային Mo-ի պարունակությունը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.611
3	Cu-ի ընդհանուր պարունակությունը	70	70	100	50	50	100	100	100	100	100	100	60	այն	3.482
4	Օքսիդացված Cu-ի պարունակությունը	70	70	100	50	50	100	100	100	100	100	100	60	այն	2.653
5	Կոլեկտիվ ֆլոտացման տրվող	-80մկմ	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	3.422
6	Խյուսի հատիկաչափ. բնութագ.	+160մկմ	60	60	100	100	100	100	100	100	100	100	55	այն	2.85
7	Խյուսի խտությունը	70	70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	3.303
8	Հանքաքարի ծախսը (արտադրողականութ.)	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100	90	այն	3.403
9	Խյուսի Ph-ը	100	100	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	այն	3.374
10	Լրամանրացված հանք. հատիկ. բնութագ. (հիդրոցիկլոնի ելքի խյուսի)(-80մկմ)	70	70	100	80	80	100	90	100	70	100	100	100	նշ	3.09
11	Խյուսի խտությունը (լրամանր. հ/ց-ի ելքը)	0	0	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.836
12	Կրի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	3.456
13	Na ₂ S –ի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	3.456
14	Բուրիլային քսանտոգենատի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այն	3.456
15	Փրփրիչի (ՕՍԵԾ (T92)) ծախսը	100	100	100	70	70	100	100	100	100	100	100	95	այն	3.307
16	Խյուսի աերաց. աստիճանը (օդի ծախսը)	80	80	100	100	100	100	80	90	90	90	100	100	նշ	3.233
17	Ֆլոտամեքենայում խյուսի ջերմաստիճանը	0	0	100	80	80	100	100	100	100	100	100	100	այն	2.779

Աղյուսակ < 3.4 (շարունակություն)

Փորձագիտական գնահատականների վերջնական մշակման արդյունքները

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18	Mo-ի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում.	80	80	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	այո	3.337
19	Cu-ի պարունակությունը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	80	80	80	80	80	90	80	100	100	ոչ	3.021
20	Mo-ի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	100	100	75	100	100	80	80	80	100	ոչ	3.142
21	Cu-ի կորզումը կոլեկտիվ խտանյութում	80	80	100	80	80	70	80	100	80	80	80	100	ոչ	2.969
22	Շոգեհարման ջերմաստիճանը	100	100	100	50	50	100	100	100	100	100	100	90	այո	2.909
23	Mo-ի ֆլուտացմանը տրվող խյուսի խտությունը	100	100	80	80	80	90	90	80	80	80	100	100	ոչ	3.115
24	Na ₂ S-ի ծախսը	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	այո	3.456
25	Կերոսինի ծախսը	100	100	100	100	100	90	100	90	90	90	100	90	այո	3.352
26	Mo-ի պարունակությունը մոլիբդենի խտանյութում	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.482
27	Mo-ի կորզումը մոլիբդենի խտանյութում	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.482
28	Cu-ի պարունակությունը պղնձի խտանյութում	90	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.422
29	Mo-ի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի էլքը)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	այո	3.482
30	Cu-ի կորզումը պղնձի խտանյութում	90	90	80	100	100	100	100	90	100	90	80	100	այո	3.269
31	Cu -ի խտանյութի արտադրողականությունը (զանգվածի էլքը)	90	90	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	այո	3.37

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 4

ՀԱՊԱՎՈՄՆԵՐԻ ԵՎ ՆՇԱՆԱԿՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ

«ԶՊՄԿ» ՓԲԸ - «Զանգեզուրի պղնձամոլիբդենային կոմբինատ»
փակ բաժնետիրական ընկերություն,
ՀՄՏՀ – հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգ,
ԱԿՀ– ավտոմատացված կառավարման համակարգ,
ԱԽՀՄ-արգումենտների խմբային հաշվառման մեթոդ,
ՓՀՄ - փափուկ հաշվողական մեթոդներ,
ՈՀՏ - ոչ հստակ տրամաբանություն,
ԱՆՑ - արհեստական նեյրոնային ցանցեր,
ԳԱ - գենետիկ ալգորիթմ,
ՎԿԾ - վճիռների կայացման ծառ,
ՀՎՄ - հենարանային վեկտորների մեթոդ,
ՀՎԴ - հենարանային վեկտորի ռեգրեսիա,
ՁԿՍ – ձևականացված կառուցվածքային սխեմա,
ԺԱՀՍՀ – ժամանակային առանց հիշողության ստատիկ համակարգ,
Ա – գնդադաշտ,
Ի – ինքնադաշտ,
ԻԱ – ինքնադաշտ ագրեգատ,
ՄԱ – մանրացման ագրեգատ,
ՄՀ – մանրացման համալիր,
Պ – գրունտային պոմպ,
ՊՊ – պահուստային գրունտային պոմպ,
ԵԴ – երկսպիրալ դասակարգիչ,
ՄԴ – միասպիրալ դասակարգիչ,
ՀԲ – հիդրոցիկլոնների բլոկ,
ՅՀ – աղացի յուղման համակարգ:

1. Պղնձամուխրդենային հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի մաթեմատիկական մոդելի կարևորագույն փոփոխականների որոշման նպատակով փորձագիտական հարցման արդյունքների մշակման ծրագրային փաթեթը:
2. Պղնձամուխրդենային հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի վիճակագրական մոդելի կառուցման ծրագրային փաթեթը:
3. Պղնձամուխրդենային հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի կառավարման քոմփյութերային մոդելը:

Ատենախոսության վերոնշյալ արդյունքները ներառվել են «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ հարստացուցիչ ֆաբրիկայի տեխնոլոգիական գործընթացի ԱԿՀ-ում:

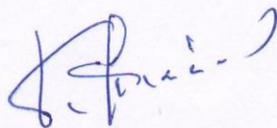
Նշված արդյունքների ներդրումից սպասվող տարեկան օգուտը կազմում է «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ տարեկան շահույթի շուրջ 1,5%-ը:

Վերոնշյալ արդյունքները ներդրվել են «ԶՊՄԿ» ՓԲԸ-ի կողմից ֆինանսավորվող թիվ 01-Գ/2010 «Մուխրդենային հանքանյութի ֆլոտացման տեխնոլոգիական գործընթացի հավանականային կառավարման նմանակային մոդելի մշակում» գիտահետազոտական թեմայի շրջանակում:

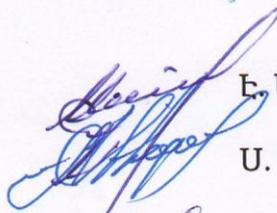
Նախագահ՝

Հանձնաժողովի

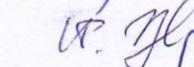
անդամներ՝



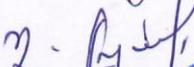
Հ.Ա. Հակոբյան



Է. Մելիքյան



Ս. Մարկոսյան



Ս. Դավթյան



Ղ. Բեգիրզանյան



Ս. Դավթյան