

## Ғылыми жетекшінің пікірі

Дипломдық жұмыс

(жұмыс түрлерінің атауы)

Татишев Темірлан Бауыржанұлы

(оқушының аты жөні)

6B07101

(мамандық атауы мен шифрі)

### Тақырыбы:

Дипломдық жұмыс өзектілігі жоғары тақырыпқа арналған. Мыс кенін байыту процесіндегі флотация блогының жұмыс тиімділігін арттыру - қазіргі тау-кен өнеркәсібі үшін маңызды мәселе. Бұл дипломдық жұмыста автоматтандырылған электр жетекті жүйені жаңғырту арқылы флотациялық қондырғының сенімділігін, энергия үнемділігін және басқару икемділігін жетілдіру жолдары қарастырылған.

Жұмыста заманауи электр жетектерді басқару құралдары, соның ішінде жиілік түрлендіргіштер мен бағдарламаланатын логикалық контроллерлерді қолдану арқылы жетектің энергетикалық және техникалық сипаттамалары есептеліп, оңтайлы нұсқалар ұсынылған. Импеллер материалына байланысты салыстырмалы талдау жүргізіліп, ең тиімді шешім - композиттік материал таңдалған.

Дипломдық жұмыстың құрылымы жалпы талаптарға сай: кіріспеден, төрт тараудан тұратын негізгі бөлімнен, қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс барысында есептік, сызбалық және графикалық материалдар сауатты орындалған, ғылыми тіл сақталған, стилистикалық және орфографиялық қателер жоқтың қасы.

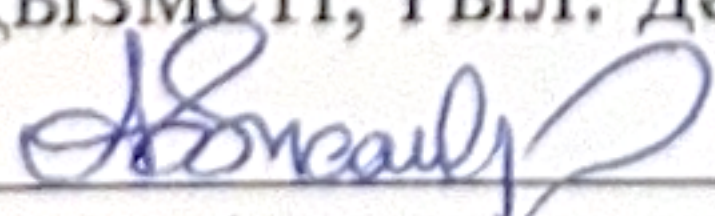
Бітіруші қойылған міндеттерді толық орындап, зерттеу нәтижелерін нақты әрі дәлелді түрде көрсете білген. Жұмыстың ғылыми және практикалық құндылығы жоғары, ол өндірісте енгізуге жарамды нақты техникалық шешімдермен негізделген.

Татишев Темірлан Бауыржанұлы диплом жұмысын дербес ұйымдастырып, теориялық білімін тәжірибеде қолдана білді. Ол «6B07101 – Энергетика» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры академиялық дәрежесін алуға толық лайық және диплом жұмысы 90% (А) деген жоғары бағаға ұсынылады деп есептеймін.

Ғылыми жетекші

Магистр, аға оқытушы

( қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)



(қолы)

Бердібеков.Ә.О

« \_\_\_\_ »

2025 ж.



## РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс  
(жұмыс түрлерінің атауы)

Татишев Темірлан Бауыржанұлы  
(оқушының аты жөні)

6B07101

(мамандықтың атауы мен шифрі)

Тақырыбы : «Мыс кенін байыту процесінде флотация блогының автоматтандырылған электр жетегін жаңғырту»

Орындалды:

а) графикалық бөлім 20 парақ  
б) түсініктеме 61 бет

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

- Жұмыс мазмұны талаптарға сәйкес орындалған. Дегенмен, төмендегідей ұсақ ескертулер бар:
- Кіріспе бөлімін дипломдық жұмыста орындалатын есептеулерге жұмыс мақсаты мен міндеттерін толықтыру.
- Кейбір техникалық ұғымдарға қысқаша түсіндірме берілсе, оқырманға ыңғайлырақ болар еді.
- Есептеу нәтижелерін нақты диаграммалармен және кестелермен толықтыру артық болмайды.

Аталған ескертулер жұмыстың сапасына айтарлықтай әсер етпейді.

### ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Ұсынылған дипломдық жұмыспен танысу және талқылау негізінде Satbayev University –нің 6B07101 – «Энергетика» мамандығы бойынша түлегі Татишев Темірлан Бауыржанұлы техника және технологиялар бакалавр дәрежесіне лайық, ал дипломдық жұмыс бойынша 85% (A) бағалауға болады деп санаймын.

Рецензент

ЖШС «NEWGEN ELECRICAL»

Директоры

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

Кулышев Н.Б.

«

2025 ж.



## Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Татишев Темирлан Бауыржанулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Мыс кенін байыту процесінде флотация блогының автоматтандырылған электр жетегін жаңғырту

Научный руководитель: Абдисаттар Бердибеков

Коэффициент Подобия 1: 12.3

Коэффициент Подобия 2: 4.9

Микропробелы: 6

Знаки из здругих алфавитов: 88

Интервалы: 0

Белые Знаки: 1

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

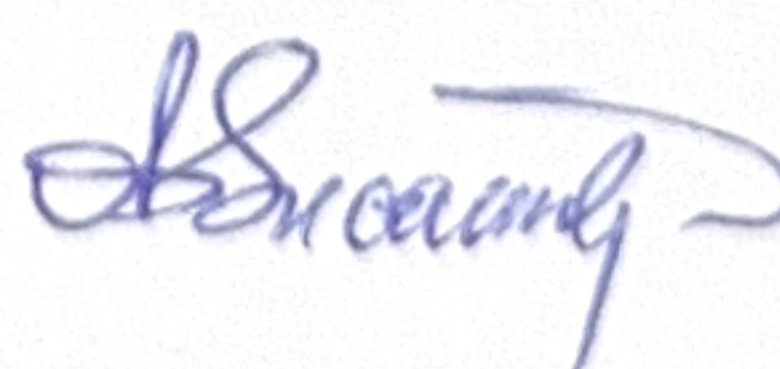
☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-06-09

Дата

Жансерік Жанабай



проверяющий эксперт

Бердибеков А.О



## Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Татишев Темирлан Бауыржанулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Мыс кенін байыту процесінде флотация блогының автоматтандырылған электр жетегін жаңғырту

Научный руководитель: Абдисаттар Бердибеков

Коэффициент Подобия 1: 12.3

Коэффициент Подобия 2: 4.9

Микропробелы: 6

Знаки из здругих алфавитов: 88

Интервалы: 0

Белые Знаки: 1

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-06-09

Дата

16.06.2025

Заведующий кафедрой



Сорсенбаев Е. А.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

Татишев Темірлан Бауыржанұлы

Мыс кенін байыту процесінде флотация блогының автоматтандырылған электр жетегін  
жаңғырту

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Алматы 2025



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«Энергетика» кафедрасының

менгерушісі

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНТУ им.К.И.Сәтбаева»

Институт энергетики

и машиностроения

Т.П.С. қауымдастырылған профессор

Е.А.Сарсенбаев

« 06 » 2025 ж.

## ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: Мыс кенін байыту процесінде флотация блогының автоматтандырылған  
электр жетегін жаңғырту

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Орындаған:

*Татишев Т.Б.*

Татишев Т.Б.



Підприємство  
Директор ЖІІС NEWGEN  
ELECTRICAL  
Newgen Кулышев Н.Б.

2025 ж.

Ғылыми жетекші

Аға оқытушы

*Бердібеков Ә.О.*  
(қолы)

Бердібеков Ә.О.

« 14 » 06 2025 ж.

Алматы 2025



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

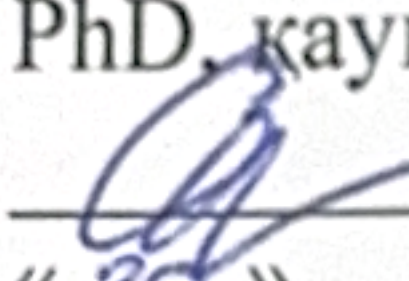
«Энергетика» кафедрасы

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

БЕКІТЕМІН

«Энергетика» кафедрасының  
меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған профессор

 Е.А.Сарсенбаев  
«30» 01 2025 ж.

Дипломдық жұмысты орындауға  
ТАПСЫРМА

Білім алушы: Татишев Темірлан Бауыржанұлы

Тақырыбы: «Мыс кенін байыту процесінде флотация блогының автоматтандырылған  
электр жетегін жаңғырту»

Университеттің академиялық мәселелер жөніндегі проректорының №26 – П/Ө 29.01.2025  
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «19» мамыр 2025ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: Байыту фабрикасының флотациялық  
қондырғысы. Өңдеуге арналған – ұсақталған кен (180 микрон), өңдеу қасиеті – 12,6 куб.  
м/мин, ені – 2820 мм, ұзындығы – 4400 мм, биіктігі – 2770 мм, имплеер жылдамдығы – 250  
айн/мин. Жетек ретінде қуаты 30 кВт, айналу жиілігі 750 айн/мин болатын MTF511-8  
маркалы асинхронды қозғалтқыш таңдалды. Басқару үшін ABB ACS580 жиілік  
түрлендіргіші пайдаланылады. Электр жетегі скалярлық басқару ( $U/f = \text{const}$ ) принципімен  
жұмыс істейді. Қондырғы ылғалды және шаңды ортада, ауыр үш ауысымды режимде  
жұмыс істейді, қорғау дәрежесі – IP55, климаттық орындалуы – У2.

Дипломдық жұмыстың қысқаша мазмұны:

а) Жаңғыртылатын қондырғының қысқаша анықтамасы

ә) Электр қозғалтқышын таңдау және параметрларын есептеу

б) Электр жетегін имитациялық модельдеу

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба бойынша материалдар презентацияда көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет 10 атау



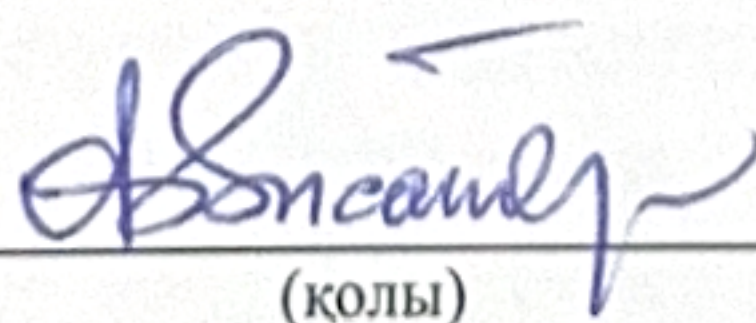
Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| Жаңғыртылатын қондырғының қысқаша анықтамасы    | 07.01.25 – 17.02.25 ж.              | теоқ    |
| Флотациялық қондырғының элементтерін таңдау     | 05.03.25 – 14.04.25 ж.              | теоқ    |
| Электр жетегін имитациялық модельдеу            | 16.04.25 – 19.05.25 ж.              | теоқ    |

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен  
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған  
қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы                               | Кеңесшілердің аты-жөні, (ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы           |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|----------------|
| Жаңғыртылатын қондырғының қысқаша анықтамасы | Ә.О.Бердібеков, магистр, аға оқытушы             | 20.02.25          | Ә.О.Бердібеков |
| Флотациялық қондырғының элементтерін таңдау  | Ә.О.Бердібеков, магистр, аға оқытушы             | 21.04.25          | Ә.О.Бердібеков |
| Электр жетегін имитациялық модельдеу         | Ә.О.Бердібеков, магистр, аға оқытушы             | 09.06.25          | Ә.О.Бердібеков |
| Норма бақылау                                | Ә.О.Бердібеков, магистр, аға оқытушы             | 14.06.25          | Ә.О.Бердібеков |

Ғылыми жетекшісі

  
(қолы)

Бердібеков Ә.О.

Тапсырманы орындауға алған студент

  
(қолы)

Татишев Т.Б.

Күні

« 07 » 01 2025ж.





## **АНДАТПА**

Дипломдық жұмыста 56 бет мәтін, 20 сурет, 7 кесте, 9 пайдаланылған дереккөз бар.

Жұмыстың мақсаты: флотациялық қондырғының жұмыс тиімділігін арттыратын, техникалық талаптарға сай келетін электр жетекті жүйені жаңғырту және жетілдіру.

Дипломдық жұмыста флотациялық машинаның негізгі элементтері: электр қозғалтқыш, сыналы белдікті беріліс, жиілік түрлендіргіш және импеллер бойынша есептеулер жүргізіліп, техникалық параметрлерге негізделген оңтайлы нұсқалар таңдалды. Қозғалтқыштың қуаты, моменті және ПЭК көрсеткіштері зерттеліп, басқару жүйесіне сәйкес жиілік түрлендіргіші таңдалды. Жетек жүйесінің механикалық және электромеханикалық сипаттамалары есептелді, энергияны тұтыну мен үнемдеу көрсеткіштері анықталды.

## **АННОТАЦИЯ**

В дипломной работе 56 страниц текста, 20 рисунков, 7 таблиц, 9 использованных источников.

Цель работы: модернизация системы электропривода, отвечающей техническим требованиям, повышающей эффективность работы флотационной установки.

В дипломной работе были проведены расчеты по основным элементам флотационной машины: электродвигатель, клиноременная передача, преобразователь частоты и импеллер, выбраны оптимальные варианты, основанные на технических параметрах. Были изучены мощность, момент и показатели КПД двигателя и выбран преобразователь частоты в соответствии с системой управления.

Исследованы на имитационной модели механические и электромеханические характеристики 2-двигательного привода.

## **ANNOTATION**

The thesis contains 56 pages of text, 20 drawings, 7 tables, 9 sources used.

Purpose of work: modernization of the electric drive system that meets the technical requirements, increasing the efficiency of the flotation unit.

In the thesis, calculations were made on the main elements of the flotation machine: an electric motor, a V-belt transmission, a frequency converter and an impeller, optimal options based on technical parameters were selected. Power, torque and engine efficiency were studied and a frequency converter was selected in accordance with the control system.

Mechanical and electromechanical characteristics of the 2-motor drive were investigated on a simulation model.



## МАЗМҰНЫ

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Кіріспе                                                    | 6  |
| 1 Технологиялық үрдістер мен қондырғылардың сипаттамалары  | 7  |
| 1.1 Кенді байыту кезеңдері                                 | 7  |
| 1.2 Флотациялық қондырғының жалпы түрлері және құрылымы    | 11 |
| 2 Флотациялық қондырғыны жаңғырту                          | 17 |
| 2.1 Флотомашинаның кинематикалық сұлбасын есептеу          | 17 |
| 2.2 Флотомашинаның импеллерін есептеу                      | 23 |
| 2.3 Электр қозғалтқышын таңдау және параметрларын есептеу  | 27 |
| 2.4 Жиілік түрлендіргіш түрін таңдау және есептеу          | 34 |
| 3 Электр жетектерінің басқару жүйелерін таңдау             | 40 |
| 3.1 Электр жетектері жүйелерін дамыту болашағы             | 40 |
| 3.2 Электр жетегінің басқару жүйесін таңдау                | 42 |
| 3.3 АҚ электр механикалық және механикалық сипаттамалары   | 47 |
| 4 Электр жетегін имитациялық модельдеу                     | 51 |
| 4.1 Екі қозғалтқышты электр жетегін компьютерлік модельдеу | 51 |
| Қорытынды                                                  | 58 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі                            | 59 |



## КІРІСПЕ

Байытудың флотациялық әдісі минералдардың табиғи немесе реагенттермен жасалатын сулануындағы айырмашылықтарды пайдалануға негізделген. Флотация көбікті, майлы және үлдірлі болады. Өнеркәсіпте көбінесе көбік флотациясы қолданылады.

Көбікті флотация процесі флотациялық машинада сумен нашар суланған минералды бөлшектер ауа көпіршіктерімен кездескен кезде оларға жабысады және қойыртпақтың бетіне қалқып шығады. Минерал бөлшектері бар қалқып шыққан ауа көпіршіктері машинадан шығарылатын көбік (көбік концентраты) құрайды. Сумен нашар суланған жыныс бөлшектері ауа көпіршіктеріне жабыспайды және қойыртпақта қалады. Көбік өнімінде бос тұқым шоғырланғанда кері флотация болуы мүмкін.

Флотация – ең қымбат байыту процестерінің бірі, өйткені электр энергиясының үлкен шығынын талап етеді. Флотация процесінде флотореагенттер: жинағыштар, көбік түзгіштер және реттегіштер қолданылады.

Флотациялау процесі флотациялық машиналарда жүзеге асырылады. Аэрация тәсілі бойынша флотомашиналар қойыртпақтары механикалық, пневмомеханикалық және пневматикалық болып бөлінеді.

Тау-кен өндірісінде мынадай басты бағыттарды бөліп көрсетуге болады: өндірістік процестерді механикаландыру, индустрияландыру және автоматтандыру; қазіргі заманғы технологияларды қолдану; машиналар паркін жаңарту; машиналар паркінің құрылымын және технологиялық және өндірістік пайдалануды басқару жүйесін жетілдіру; кадрларды даярлау және тәрбиелеу; ресурстардың экномиясы; өнімнің сапасын арттыру; көлік операцияларын жетілдіру.

Импеллер түріндегі флотациялық машинасындағы қуат шығыны көптеген факторларға – геометриялық, технологиялық, сондай-ақ машинаның жұмыс режимінің параметрлеріне байланысты екені белгілі. Энергетикалық шығындарға негізгі әсер етеді: импеллердің конструкциясы, қойыртпақтың тығыздығы және камераға енгізілетін ауа мөлшері. Аэротораптың конструктивтік ерекшеліктерін ескеру әсіресе қиын болып отыр. Флотациялық жабдықтар жасау саласындағы жетекші «Гипромашобогашение» институтының жұмыс тәжірибесі энергетикалық: есептеулер кезінде барлық факторларды есепке алу өте үлкен есептік тәуелділіктерге әкелетінін көрсетеді.

Дипломдық жұмыста жиілікті түрлендіргіш-асинхронды қозғалтқыш жүйесі бойынша флотациялық машинаның жетегінің тұйық электр жетек жүйесін жаңғырту болып табылады.

Осы дипломдық жұмыста мынадай мақсаттар мен міндеттерді көздейді:

- электр жабдығына, аспаптарға және автоматтандыру құралдарына каталогтармен жұмыс істеу дағдыларын меңгеру;
- электржетек жүйелері мен басқару жүйелерін талдау және зерттеу нәтижесі бойынша оңтайлысын қабылдау.



# 1 Технологиялық үрдістер мен қондырғылардың сипаттамалары

## 1.1 Кенді байыту кезеңдері

Мыс – адам өмірінде кеңінен қолданылатын маңызды металл. Ол электроника, электротехника, құрылыс және тұрмыстық бұйымдар өндірісінде таптырмас материал болып табылады. Ұялы телефондардан бастап электр сымдары мен әшекей бұйымдарға дейін мыс көптеген өнімдердің негізгі құрамдас бөлігіне айналған.

Мыс кенінің өндірісі мен өңдеу технологиялары күрделі процестерден тұрады. Табиғатта мыс кенінің екі негізгі түрі кездеседі:

*Мыс қоспалары* (мыс-молибден, мыс-никель, мыс-мырыш және т.б. қосындылар)

*Таза мыс қоры*- 99,9% мыс

Мыс кенін байыту және металды алу әдістері кеннің химиялық құрамына байланысты өзгереді. Жалпы, кенді өңдеу екі негізгі технологиялық әдіске бөлінеді:

*Оксидтік мыс өндіру* – бұл әдіс арнайы техникалық қышқылдармен химиялық ерітінділерді қолдану арқылы жүзеге асады.

*Сульфидтік мыс өндіру* – кенді ұсақтау, флотациялау, қоюландыру және сусыздандыру сияқты бірнеше кезеңнен тұрады.

Бұл дипломдық жұмыста сульфидтік мыс кенін байыту процестері қарастырылады, себебі әлемде өндірілетін мыстың 90-95%-ы дәл осы әдіспен алынады.

Флотация – сульфидтік кендерді байытудың ең тиімді әдістерінің бірі. Бұл процесс материалдардың физико-химиялық қасиеттеріне негізделген және олардың сулану қабілетіне байланысты жүреді. «Флотация» термині француз тілінен аударғанда «су бетінде жүзу» деген мағынаны білдіреді.

Осы дипломдық жұмыста флотация блогының автоматтандырылған электр жетегін жаңғырту мәселесі қарастырылады. Жаңғырту барысында электр қозғалтқышты, редукторды, жиілік түрлендіргішін таңдау және есептеу сияқты маңызды техникалық аспектілер қарастырылады.

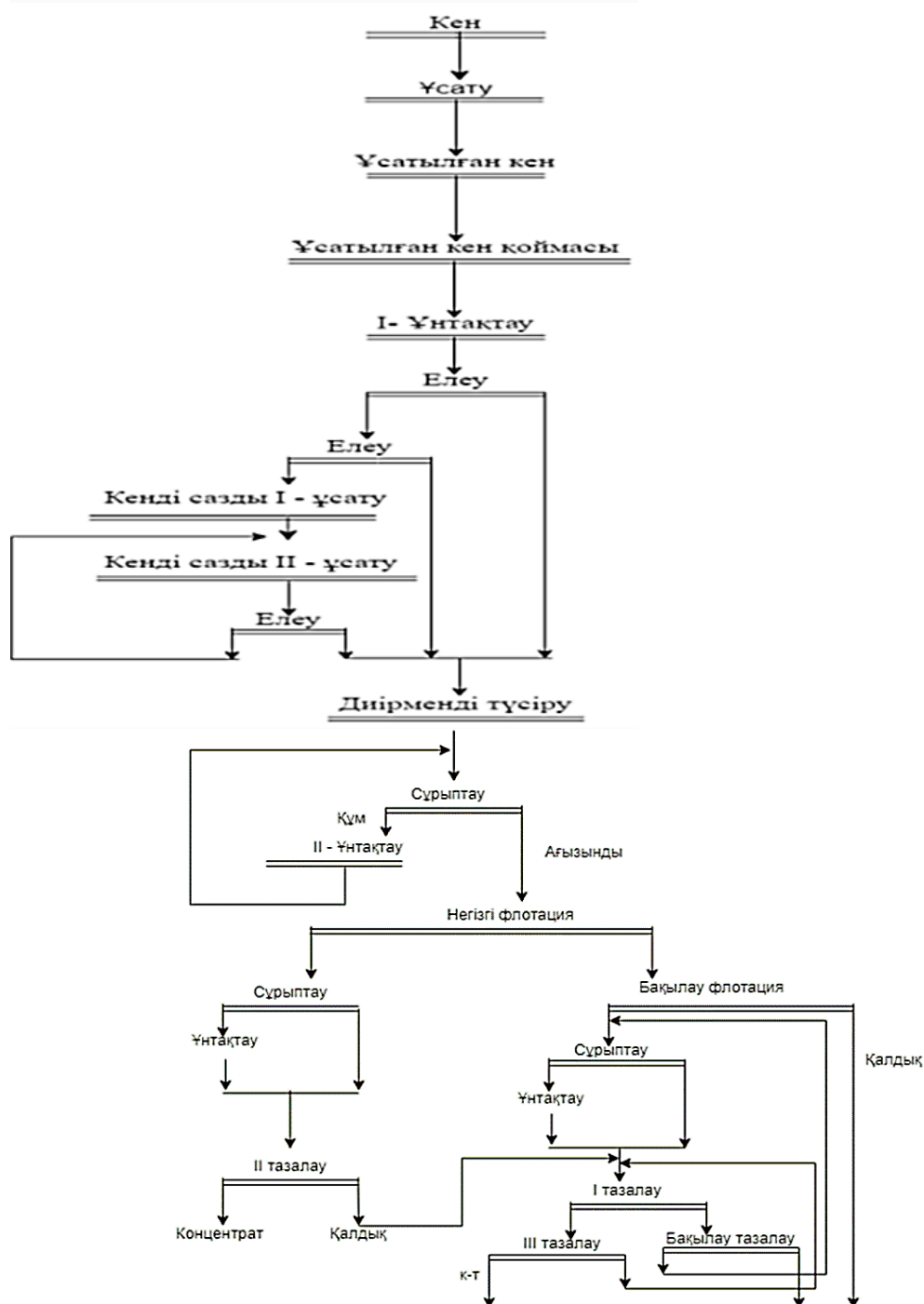
Бұл зерттеу флотациялық процестің тиімділігін арттыру, энергияны үнемдеу және жабдықтардың қызмет ету мерзімін ұзарту сияқты негізгі міндеттерді шешуге бағытталған.

Сульфидтік мыс өнімін алу бірнеше кезеңдерден тұрады:

- 1) Кенді ашық немесе шахталық( жабық) әдіспен өндіру.
- 2) Тасымалдау.
- 3) Дайындау процесстері(ұсақтау,сұрыптау,ұнтақтау).
- 4) Байыту(флотация).
- 5) Қоюландыру.
- 6) Сүзу.
- 7) Қаптау.



Төмендегі 1.1-суретте көрсетілген байыту кезеңдері схемасы бойынша талдау жасаймыз.



1.1-сурет – Байыту кезеңдері

Бұл схема кен өндіру процесін кезең-кезеңімен сипаттайды. Кен екі негізгі әдіспен өндіріледі:

*Ашық тәсіл* – кенді жер бетінде орналасқан карьерлерден алу.

*Шахталық тәсіл* – кенді жер астынан өндіру.



Осы екі әдістің негізгі мақсаты – кенді өндіріп, оны әрі қарай өңдеуге дайындау. Өндіру процесі арнайы жарылыстардың көмегімен немесе ірі тау-кен техникаларын қолдану арқылы жүзеге асырылады.

Кен қажетті мөлшерге дейін ұсатылғаннан кейін, оны арнайы техникамен тасымалдайды.

*Тасымалдаудың* екі негізгі әдісі қолданылады: *автосамосвалдар* – бұл карьерлерден кенді арнайы жүк көліктерімен тасымалдау, және *конвейерлермен* – кенді өндіріс аймағының ішінде үздіксіз тасымалдау үшін қолданады.

Тасымалданған кен ұсатылған кен қоймасына жеткізіледі, осы жерден бастап оны әрі қарай өңдеу процесі басталады. Өңдеу келесі кезеңдерден тұрады:

Ұсақталған кен арнайы дірілді елеу процесінен өтеді. Бұл кезеңнің негізгі мақсаты кенді әртүрлі фракциялық құрамға бөлу арқылы әрі қарай өңдеуге дайындау. Елеу процесі виброситоның көмегімен жүзеге асады және екі сатылы жүйе бойынша жүргізіледі. Алғашқы сатыда ірі бөлшектер електе қалып, оларды қосымша ұсақтау үшін қайта өңдеуге жіберіледі, ал екінші сатыда қажетті өлшемге жеткен ұсақ фракциялар келесі өңдеу кезеңіне өтеді.

Елеу процесінен кейін кен ұнтақтау сатысына өтеді. Бұл кезеңде кеннің бөлшектерін микрондық деңгейге дейін ұнтақтау жүзеге асады, бұл флотация тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұнтақтау процесі екі сатылы ұсақтау барабандары арқылы жүргізіледі, мұнда бастапқы кезеңде жартылай өзін-өзі ұнтақтау, ал екінші кезеңде болат шарлармен толық ұнтақтау орын алады.

Ұнтақталған кен флотациялық байыту әдісі арқылы өңделеді, онда пайдалы минералдарды бөлу физика-химиялық қасиеттеріне негізделген. Кен флотациядан өткеннен кейін қоюландыру және сүзу сатылары жүзеге асырылады, бұл процестер өнімнің ылғалдылығын төмендетуге және қатты бөлшектердің шоғырлануын арттыруға бағытталған. Соңғы кезеңде дайын өнім қаптау процесінен өтіп, тұтынушыларға жөнелтіледі.

Әрбір кезеңге толық ақпаратпен толтырайық.

*Ұсақтау* - процесі карьерден алынған, көлемі 1000 мм-ге дейінгі кенді механикалық және вибрациялық әсер арқылы қажетті мөлшерге дейін ұсатуға бағытталған. Бұл процесс арнайы конустық үгіткіштерді қолдану арқылы жүзеге асырылады.

Конустық үгіткіштің негізгі жұмыс мақсаты – кенді қысу, соғу және үйкеліс күштерінің әсерімен ұсақтау. Қондырғының білік жүйесіне берілетін айналдыру күші, электр қозғалтқышы арқылы қамтамасыз етіледі. Біліктің екінші ұшына жұлдызша орнатылып, ол беріліс қорабы арқылы механикалық айналмалы күшті тудырады.

Бұл қондырғылар үздіксіз жұмыс істейтіндіктен, жоғары қуаттылық пен сенімділікті талап етеді. Ұсақтау тиімділігін арттыру үшін конустық үгіткіштер жиі бірнеше сатылы болып келеді, мұнда бастапқы кезеңде ірі бөлшектер ұсақталса, кейінгі кезеңдерде олар микрондық деңгейге дейін өңделеді.

*Дірілді елеу* - процесінде ұсақталған кен арнайы ұяшықтарға бөлінген екі сатылы елеуден өтеді. Бірінші қабаттағы ұяшықтардың өлшемі 26-52 мм құрайды және мұнда ірі бөлшектер іріктеледі. Екінші қабатта ұяшық өлшемі 10-



36 мм құрап, бұл сатыда ұсақ фракциялар сұрыпталады. Егер кен бөлшектері осы өлшемдерге сәйкес келмесе, олар қайта ұсақтау кезеңіне жіберіледі.

Елеу процесі вибромоторлардың көмегімен жүзеге асырылады. Діріл әсерінен кен бөлшектері елеу қабаттары арқылы өтіп, бұл материалдың тиімді сұрыпталуын қамтамасыз етеді. Елеу тиімділігі кеннің ылғалдылығына, бөлшектердің пішініне және вибромоторлардың жұмыс параметрлеріне байланысты өзгеруі мүмкін.

*Ұнтақтау* - процесі байыту зауытында екі сатымен қарастырылған. Бірінші кезеңде ұнтақтау жартылай өзін-өзі ұнтақтау барабанында жүзеге асады, мұнда кен бөлшектері өзара соқтығысып, ұсақталады. Екінші кезеңде ұнтақтау болат шарлармен толтырылған барабанында жүзеге асады, бұл материалдың қажетті деңгейге дейін үгітілуін қамтамасыз етеді. Негізгі мақсат кеннің мөлшерін 180 микронға дейін ұсақтау. Мұндай деңгейге жету флотациялық байыту процесінің тиімділігі үшін маңызды. Ұнтақталған материал кейінгі гидроциклон қондырғысына жіберіледі, онда бөлшектер қосымша сұрыптаудан өтеді және қажетсіз ірі фракцияларды қайта өңдеуге бағыттайды.

*Гидроциклон* - ұнтақталған кенді ортадан тепкіш күштің әсерімен сұрыптауға арналған қондырғы. Бұл процесс барысында 180 микроннан ірі бөлшектер, яғни құмды фракциялар негізгі ағыннан бөлініп шығарылады. Гидроциклон ішіндегі сұйық орта жоғары жылдамдықпен айналып, ауыр бөлшектер орталықтан шетке ығысып, түбіне шөгеді, ал ұсақ және жеңіл бөлшектер жоғары қарай ағыммен бірге шығады.

*Флотация* - жүйелерінің жұмыс істеу принципі материалдардың физика-химиялық қасиеттеріне сүйене отырып, көпіршіктердің көмегімен тығыздық бойынша бөлуге негізделген. Процесс барысында сулы шламға ауа немесе газ көпіршіктері енгізіледі. Бұл көпіршіктер кен құрамындағы гидрофобты (су тартпайтын) бөлшектермен байланысып, олардың су бетіне көтерілуіне мүмкіндік береді. Ал гидрофильді (су тартатын) ауыр бөлшектер шламның түбіне шөгеді. Флотация тиімділігі реагенттердің түріне, көпіршіктердің өлшеміне және араластыру жылдамдығына байланысты өзгереді. Бұл процесс мыс концентратын бөлу және қалдық жыныстардан тазарту үшін қолданылады.

*Қоюландыру* - процесінің негізгі мақсаты – мыс концентратындағы қатты заттардың үлесін арттыру арқылы артық ылғалды жою. Концентрат қойылтқышқа жоғарыдан келте құбыр арқылы беріледі және орталық коректендіруші резервуарға бағытталады. Мұнда қатты бөлшектер түбіне шөгіп, ал үстіңгі қабатында мөлдір сұйықтық қалады. Қойырту кезінде шламдағы қатты заттардың мөлшері 31%-дан 65%-ға дейін ұлғаяды. Судың бетінде пайда болатын көбіктерді жою үшін суландырғыштар қолданылады. Бұл процесс өнімнің тазалығын қамтамасыз етіп, флотациядан кейінгі концентратты әрі қарай сүзуге дайындайды.

*Сүзу* – процессінде қоюландырудан өткен мыс концентраты Lагох айдау сүзгілеріне жіберіледі. Бұл сүзгілер жұқа тоқылған синтетикалық матадан жасалған, ол ауа мен сұйықтықтың өтуіне мүмкіндік беріп, қатты бөлшектерді ұстап қалады. Сүзгілеу кезінде иілгіш резеңке диафрагмалардың көмегімен



ылғалдылық деңгейін төмендетеді, нәтижесінде мыс концентратының құрамындағы судың мөлшері едәуір азаяды. Белгілі бір уақыттан кейін сүзгі матасы техникалық сумен жуылады, бұл оның бітелуін болдырмайды. Жуылған су фильтрат багіне жиналып, әрі қарай қайта өңдеуге жіберіледі.

*Қаптау және тасымалдау* - процессінде сүзу процесінен өткен мыс концентраты дайын өнім қоймасына жіберіледі, оның жалпы сыйымдылығы 14 000 тоннаны қамтиды. Концентратты тиеу және тасымалдау фронтальды тиегіштер көмегімен жүзеге асырылады. Қаптау учаскесінде мыс концентратын тасымалдау үшін конвейерлік жүйелер қолданылады. Салмақ өлшейтін көпір дайын өнімнің салмағын өлшеу арқылы логистика процестерін оңтайландырады. Тасымалдауға дайын өнімді балқыту зауыттарға жеткізу мақсатында теміржол вагондарын қолданады.

## **1.2 Флотациялық қондырғының жалпы түрлері және құрылымы**

Флотациялық қондырғының негізгі жұмыс принципі – гидрофобтық қасиеттерін пайдалана отырып, кенді қалдық минералдардан бөлу үшін ауа көпіршіктерін қолдану. Бұл процесс бірнеше кезеңнен тұрады.

Алдымен пульпа дайындау жүзеге асырылады, яғни өндірілген кен ұсақталып, сумен араластырылады. Пульпа – флотация процесіне қажетті сұйық орта болып табылады.

Екінші кезең – аэрация, онда арнайы реагенттер пульпаға қосылады. Бұл реагенттер минерал бөлшектерінің гидрофобтық қасиетін арттыруға көмектеседі, яғни оларды судан репеллентті етеді, ал қалдық жыныстар гидрофильді күйінде қалады.

Үшінші кезеңде ауаның немесе газдың ұсақ көпіршіктерін түзу жүзеге асырылады. Фракциялау аппараты арқылы ауа беріледі, оның нәтижесінде ұсақ минералдардың гидрофобты бөлшектері көпіршіктерге жабысып, флотациялық қондырғының бетіне көтеріледі.

Пайдалы минералдарға бай көбіктер одан әрі өңдеу үшін жиналады, ал қажетсіз қалдық көпіршіктері қондырғыдан шығарылады. Осылайша, мыстың сульфидті кені флотация арқылы тиімді бөлініп алынады.

Флотациялық қондырғылар кен құрамындағы пайдалы минералдарды тиімді бөліп алу мақсатында әртүрлі технологиялық ерекшеліктеріне байланысты бірнеше түрге бөлінеді.

Механикалық флотациялық қондырғылар ең көп таралған және кеңінен қолданылатын аппараттар қатарына жатады. Олардың негізгі ерекшелігі – араластырғыш механизмінің болуы. Жұмыс принципі араластырғыш құрылғының пульпаны үнемі қозғалыста ұстап, ауа көпіршіктерінің түзілуін қамтамасыз етуіне негізделген. Мұндай қондырғылар жоғары өнімділікпен және үздіксіз жұмыс істеу мүмкіндігімен ерекшеленеді, бірақ энергияны көп тұтынады және реагент шығыны жоғары болады.

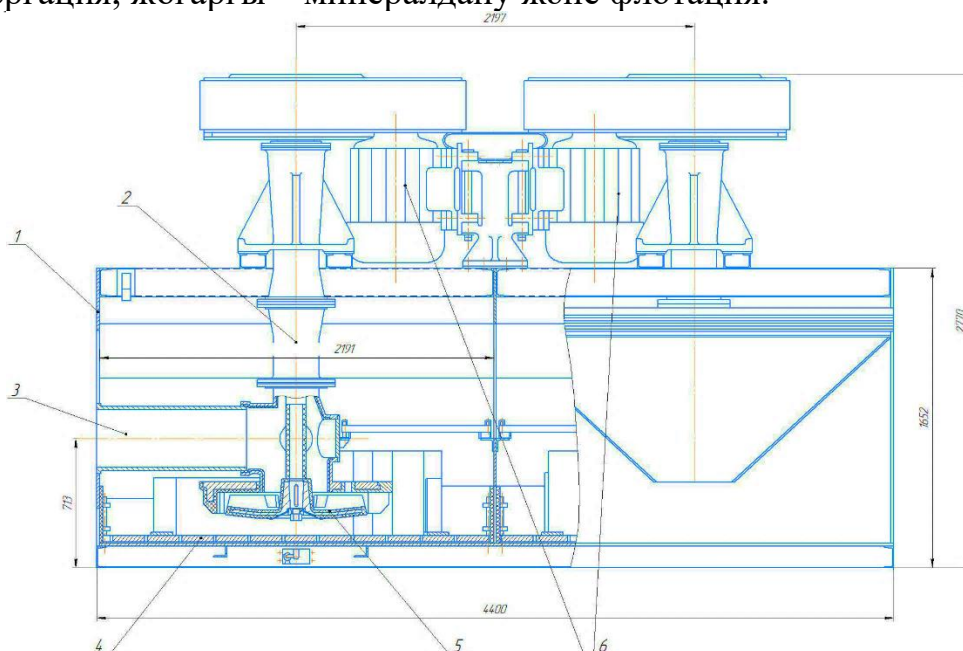


Пневматикалық флотациялық қондырғыларда араластырғыш құрылғы болмайды, оның орнына пульпаға сыртқы компрессор арқылы ауа беріледі. Бұл процесте ауа көпіршіктері пульпаға енгеннен кейін минерал бөлшектерімен әрекеттесіп, олардың бетке көтерілуіне ықпал етеді. Бұл қондырғылар энергия шығынының төмендігімен және қарапайым құрылымымен ерекшеленеді, бірақ ауаның біркелкі таралуын қамтамасыз ету қиын болуы мүмкін.

Пневмомеханикалық флотациялық қондырғылар механикалық және пневматикалық әдістердің үйлесімі болып табылады. Ауа беру процесі араластырғыш құрылғымен бірге жүзеге асырылады, бұл ауа көпіршіктерінің біркелкі таралуын қамтамасыз етіп, флотация тиімділігін арттырады. Мұндай қондырғылар жоғары тиімділікке ие, бірақ құрылымы күрделі болып келеді және техникалық қызмет көрсетуді жиі қажет етеді.

Бағанды флотациялық қондырғылар тік цилиндрлі резервуар түрінде болады және пульпа мен ауаны өңдеу арнайы бағана ішінде жүзеге асырылады. Жұмыс принципі ауаның төменнен берілуіне, ал пульпаның жоғарыдан түсуіне негізделген. Ұсақ көпіршіктер баяу көтеріліп, пайдалы минералдарды байланыстырып, бетіне шығарады.

Қазіргі уақытта ірілігі 1 мм-ден кем бөлшектерді бөлу үшін шлам және сильвин флотациясы операцияларында пайдаланылатын негізгі аппарат ФМ-6,3 КС (КС - қайнайтын қабаты бар екенін түсіндіреді) механикалық флотомашина болып табылады. КС машиналары тік ағынды және екі камералы секциялардан құрастырылады. Бұл қондырғыда импеллер блогының үстіне торлар орнату есебінен камераны екі аймаққа бөлу қамтамасыз етіледі: төменгі – аэрация және диспергация, жоғарғы – минералдану және флотация.



1.2-сурет – ФМ-6,3 КС Флотация машинасының сұлбасы

Осылайша, төменгі аймақта энергия шығыны аз болған кезде жоғары диспергация қамтамасыз етіледі, тор үстіндегі аймақта бөлшектердің ауа көпіршіктерімен соқтығысу ықтималдығы артады, ал камераның жоғарғы



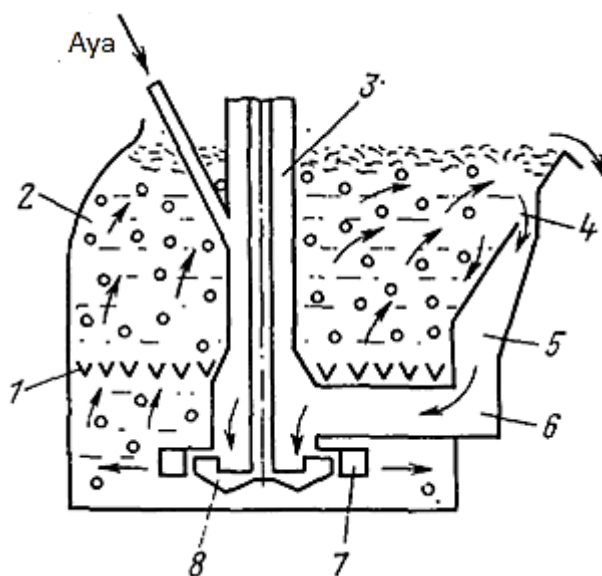
бөлігіндегі ағындардың турбуленттілігін төмендету және көбік табалдырығы аймағында көтерілетін ағындардың болуы көпіршіктерде бөлшектердің бекітілу ықтималдығы артады және «көпіршік - бөлшек» минералдандырылған кешенінің ең жақсы шығысы көбік өніміне әкеледі.

Жоғарыда (1.2-сурет) механикалық флотациялық машинаның құрылысы көрсетілген. Бұл аппараттың негізгі бөлігі – камера 1, оны ішінде арна 2 орналасқан, ал оның ішінде білік пен оған бекітілген импеллер 5 айналады, 3 нөмірде – қоректендіретін келте құбыр, 4 нөмірде – камераның футерлеуі.

Суреттен көрініп тұрғандай, әрбір камера асинхронды қозғалтқыштан 6 және жеке импеллермен жабдықталған. КС машинасының соңғы құрылымында «Механобр» машинасының аэраторы орнына турбо орталықтан тепкіш импеллер пайдаланылды. Қозғалтқыштың айналу моменті шкивтері бар белдік беріліс арқылы білікке беріледі.

Флотациялық машинасы шпигкастенмен төрт бұрышты қималы камералардан тұрады. Машинасының импеллері алты радиалды күректері бар иілген диск болып табылады.

Статор саңылаулары бар дискіден және импеллерден қойыртпақтың абсолюттік жылдамдығы векторының бағыты бойынша радиусқа  $60^\circ$  бұрышта орнатылған күректерден тұрады. Төменгі бөлігіндегі орталық құбыр импеллер үстіндегі стақан деп аталатын кеңейтумен аяқталады. Импеллер үстіндегі стақанның реттелетін тесігі болады. Бұл саңылау, сондай-ақ статордағы саңылаулар қойыртпақтың айналым ағынын импеллерге беруге арналған. Камерада 2 түбінен 500-550 мм арақашықтықта 15-20% тең тірі қималы және 6-8 мм саңылаулары бар бұрыштаиалардан тор 1 орнатылған (1.3-сурет).



1.3-сурет - Қайнайтын қабаты бар ФМ-6,3 КС флотация машинасы

Камераның алдыңғы қабырғасына сыртқы немесе ішкі жағынан импеллер үстіндегі құбырдың 3 қақпағымен құбырмен 6 жалғанатын тұрақты қимасы бар біріккен науа 5 орнатылады. Науа камераның жоғарғы аймағынан 4 импеллерге



циркуляциялық ағын саңылауы арқылы іріктеу үшін қызмет етеді. Бұл ретте минералдар бөлшектері қайнаған қабат түзіле отырып өлшенетін қойыртпақтың көтерілетін ағындары пайда болады. Көпіршіктер турбуленттілігі төмен жағдайларда қойыртпақтың шығатын ағыстарында қайнаған қабат арқылы өткен кезде минералданады, бұл флотацияланатын бөлшектердің ірілігін арттырады.

Бастапқы қойыртпақ торға немесе көбік қабатына түседі. Тор олардың ағындарының турбуленттілігін камераның барлық көлденең қимасына біркелкі бөлуді қамтамасыз етеді. Осының нәтижесінде тордың үстінде қайнаған немесе өлшенген минералды бөлшектер қабаты мен ауа көпіршіктері сұйықтық ағынымен бірге қисық сызықты арналар бойынша қозғалады. Бұл көпіршіктердің минералдар бөлшектерімен бірнеше рет соқтығысуын және олардың ФМ машиналарына қарағанда ұзақ уақыт жанасуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, минералдану және флотация аймағындағы ағындардың турбуленттілігінің күрт азаюы ауа көпіршіктерінің минералдануын барынша азайтуға мүмкіндік береді, ал көбік табалдырығына бағытталған шығатын ағындардың болуы минералданған көпіршіктердің камерадан шығуын жеделдетеді. Осының бәрі флотацияның жылдамдығын және кейде флотацияланатын бөлшектердің ірілігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұдан басқа, импеллерге 8 және статорға 7 саңылау 4 арқылы қайтарылатын қойыртпақтың тығыздығы төмен және құрамында ірі абразивтік бөлшектер жоқ, бұл аэратордың қызмет ету мерзімін ұзартуға ықпал етеді.

Импеллердің айналуы нәтижесінде су мен ауа араласып, көбік түзіледі, бұл процесс асинхронды электр қозғалтқышының көмегімен жүзеге асады. Камераның алдыңғы қабырғасында қойыртпақ импеллерге түсетін науа орнатылған. Бұл ретте минералдар бөлшектері қайнаған қабат түзіле отырып өлшенетін қойыртпақтың көтерілетін ағындары пайда болады. Көпіршіктер турбуленттілігі төмен жағдайларда қойыртпақтың шығатын ағыстарында қайнаған қабат арқылы өткен кезде минералданады, бұл флотацияланатын бөлшектердің ірілігін арттырады. Бастапқы қойыртпақ торға немесе көбік қабатына түседі. Машинада көбікті сепарация принципі қолданылады. Осылайша, кенді ұсақ бөлшектерді флотациялау кезінде қойыртпақты көбік қабатына циклондық аэраторлармен беру аймағында аналық ерітінді ағынының құлауы нәтижесінде пісірілген аэрация жасалады, бұл флотацияны қарқындатады. Көбікті сепарацияның флотациялық машинасы пирамидалы камера болып табылады, оның жоғарғы бөлігінде тесілген түтікті резеңке аэраторлардың екі қатары орнатылған. Машинаның тиеу құрылғысы қойыртпақты машинаның барлық ұзындығы бойынша біркелкі бөлетін бірнеше көлбеу белгілерден және қойыртпақты оң және сол жаққа бағыттайтын бөлгіштен тұрады. Қойыртпақ аэраторлардың көмегімен пайда болатын көбік қабатына түседі. Гидрофобты бөлшектер көбік қабатында қалады, ішінара қойыртпақпен бірге көбік арқылы өтеді және қойыртпақ көлемінен флотацияланады. Флотталмаған бөлшектер камераның төменгі бөлігіне түсіріледі және шлангілі бекітпе арқылы түсіріледі.



Ауа шығыны импеллерге берілетін қойыртпақ ағынына айтарлықтай тәуелді. ФМ-6,3 машиналар үшін 7-12 м<sup>3</sup>/мин құрайды. Статор және қойыртпақтың оңтайлы ағынының импеллерге берілуі ауа үрлегішті пайдаланбастан камераның 1 м<sup>3</sup> сыйымдылығы үшін 1 м<sup>3</sup>/мин 1200 мм тереңдіктегі машиналарға ауаның түсуін қамтамасыз етеді. Бұл ретте импеллер мен статор жауырындары арасындағы радиалды саңылау 5-8 мм, ал импеллер мен статор жауырындары арасындағы осьтік саңылау 6-10 мм болуы тиіс. Радиалды және осьтік саңылаулардың ұлғаюы сорылатын ауа шығысының төмендеуіне әкеледі.

Флотациялық машинаның негізгі параметрлары 1.1-кестеде берілген.

1.1-кесте – Флотациялық машинаның негізгі параметрлары

|                                                                                                                                     |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Камераның сыйымдылық көлемі                                                                                                         | 6,3 текше м      |
| Өңдеу қасиеті (жоғары емес)                                                                                                         | 12,6 текше м/мин |
| Әр камераға импеллер блогы жетегінің электр қозғалтқышының қуаты, кВт (артық емес)                                                  | 30 кВт           |
| Имплеердің айналу жиілігі                                                                                                           | 250 айн/мин      |
| Имплеердің диаметрі                                                                                                                 | 750 мм           |
| Ені                                                                                                                                 | 2820 мм          |
| Ұзындығы                                                                                                                            | 4400 мм          |
| Биіктігі                                                                                                                            | 2770 мм          |
| Электр қозғалтқыштары бар екі камералы секцияның (аралық) массасы (футеровка мен торлардың массасын есептемегенде), кг (артық емес) | 5500 кг          |

Импеллер мен статор тозуға төзімді резеңкемен гуммилендіріледі. Жетек механизмі мен статоры бар импеллер бір блокқа жинақталған, бұл тозған импеллер мен статорды тез ауыстыруға мүмкіндік береді. Қарастырылған КС машиналары тік ағынды және екі камералы секциялардан құрастырылады. Қойыртпақ машинаның ұзындығы бойынша өздігінен ағатын тура ағынды камералық машиналарда қойыртпақ деңгейі тек соңғы камерада ғана реттеледі, ал қойыртпақ аэраторы арқылы өтетін бірдей дебит оның ауалануының тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Бұл камералық машиналарға тән кемшіліктерді болдырмайды. Қойыртпақтың камерааралық қалқандарда бүкіл камераның ені бойынша өтуі үшін үлкен тесіктер болады, олардың төменгі деңгейі импеллер үстіндегі дискінің деңгейінде, ал жоғарғы деңгейі қойыртпақ деңгейінен 300-400 мм төмен болады. Тік ағынды машиналардың кемшілігі машина бойындағы қойыртпақ деңгейінің төмендеуі болып табылады, сондықтан әрбір камерада көбік табалдырығының өзіндік биіктігі және көбік алғыш қалақтарының өзіндік биіктігі белгіленеді. Камера – тура ағынды машиналар бірнеше камерадан тұратын секциялардан жиналады. Бірінші камера сорғыш деп аталады. Оған қойыртпақ тікелей импеллерге беріледі, ал қалған камералар тура ағынды камералар ретінде жұмыс істейді. Қойыртпақтың деңгейі әрбір секцияның соңғы



камерасында реттеледі. Сондықтан тік ағынды машиналар осы операцияларда барлық типтегі кендерді байыту кезінде басым мәнге ие. Алайда тік ағынды машиналардың кемшілігі бар, себебі машинада қойыртпақтың кері ағыны пайда болады, ол камерада болған уақыт бойынша бөлшектердің шашырауын едәуір күшейтеді және осылайша флотация жылдамдығын төмендетеді. Кері ағын тікелей ағынды беруді ұлғайту және камерааралық қалқаларды орнату арқылы камераларды оқшаулау дәрежесін арттыру есебінен азайтылуы мүмкін. Көрсетілген машиналарды сынақтармен және өнеркәсіптік пайдаланумен олардағы флотация жылдамдығы орта есеппен 25%-ға жоғары, ал электр энергиясының шығыны механикалық машиналарға қарағанда 20-45%-ға төмен екені белгіленген. Бұл машиналар өңделетін материалдың ірілігіне сезімтал және 0,074 мм 60% және одан жоғары сыныпты қойыртпақтарда жұмыс істеуге арналған. Оларды өнімділігі аз фабрикаларда негізгі және бақылау флотациясында және қайта тазалау операцияларының саны аз болғанда өнімділігі аз және орташа фабрикаларда қайта тазарту операцияларында қолдану тиімді.

Қарастырылған КС машинасының жалпы сипаттамалары:

артықшылықтары – жақсы гидродинамикалық параметрлер; қолданудың әмбебаптығы және оларды кез келген технологиялық схемаларда пайдалану жарамдылығы; қосымша ауа көздеріне қажеттіліктің болмауы.

кемшіліктері – жеткілікті және реттелетін аэрацияның болмауы; электр энергиясының көп шығыны; көбікті түсіруді сенімді реттеудің болмауы; құрылымның күрделілігі; жоғары энергия сыйымдылығы және металл сыйымдылығы; статор мен импеллердің тез тозуы.

Байыту фабрикаларында КС ФМ-6,3 машиналарын қолдану флотациялау кезінде энергия шығынын  $1/3$  төмендетуге, ірі бөлшектерді жақсы флотациялау есебінен алуды ұлғайтуға және ағын бойынша машиналардың өнімділігін 50% - ға арттыруға мүмкіндік берді.



## 2 Флотациялық қондырғыны жаңғырту

### 2.1 Флотомашинаның кинематикалық сұлбасын есептеу

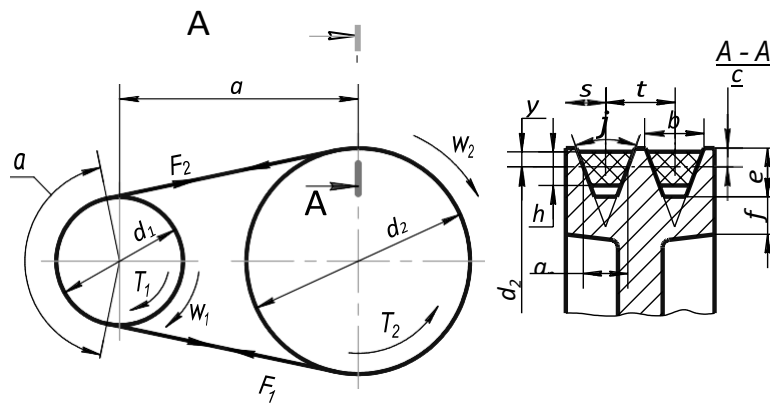
Флотациялық қондырғының тиімділігін арттыру және оның энергия үнемдеуін қамтамасыз ету үшін негізгі құрамдас бөліктерді талдау қажет. Әрбір компонент үшін бірнеше балама нұсқалар қарастырылып, олардың техникалық және экономикалық тиімділігіне байланысты ең оңтайлысы таңдалады.

Есептеудің негізгі мақсаты – машинаның жұмысы кезінде жетек тұтылатын қуатты анықтау. Есептеу жобалау кезінде сыналы белбеу берілісі флотациялық машина кешеніне құрамдас бөлікпен кіреді, бұл ретте ол бірінші кезекте орындалады. Бастапқы өлшем ретінде машинаның кірісіндегі мен шығысындағы айналу жылдамдықты, жетектің қуатын білген жеткілікті (2.1-кесте).

Белгілі болғандай, импеллер үлгісіндегі флотациялық машинадағы қуат шығыны геометриялық мен технологиялық факторлар, сондай-ақ машинаның жұмыс режимінің параметрлеріне байланысты.

Белдік беріліс – бұл жетекші 1 және жетекшілік 2 шкивтерден және оларға тағылған белдіктен тұратын икемді байланыспен беріліс (2.1-сурет) Тарту құрамына керу құрылғылары да кіруі мүмкін. Бірнеше белдіктер мен бірнеше жетектік шкивтер қолданылуы мүмкін. Негізгі мақсаты – механикалық энергияны қозғалтқыштан беру және атқару тетіктеріне, әдетте, айналу жиілігін төмендетумен және айналу моментін жоғарылатумен беру.

Сыналы белбеу берілісін есептеу үшін электр жетегінің беріліс сұлбасы қарастырайық.



2.1-сурет – Беріліс сұлбасы

Бастапқы деректер:

Біліктің айналу жиілігі  $n_1=750$  айн/мин.

Біліктің айналу жиілігі  $n_2=250$  айн/мин.

Берілетін қуат  $P=30$  кВт.

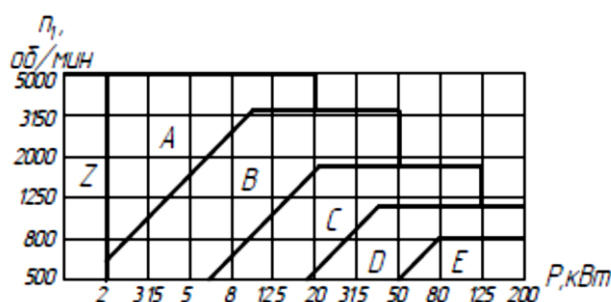
Белдіктер мен шкивтер арасындағы үйкеліс күшімен шартталған тарту қабілеті. Ол белбеудің сырғанауымен шектеледі.



МЕМСТ 1284.3-80 сәйкес (жақшада қиманың ескі белгілері) белдіктер қимасының типтік өлшемдерінің санын шектеуді көздейтіндіктен – Z (0); A; B(Б); C(В); D(Г); E(Д); EO(E) – сыналы белдікті берілістің геометриялық параметрлері мен жұмыс жағдайларының әсерін ескере отырып, әрбір қиманың берілген жиілігі кезінде  $n_1$  кіші шкивтің бір белдігімен берілетін қуатпен анықталатын тарту қабілеті бойынша есептеледі.

Белдік қимасының типтік өлшемі берілетін таратқышпен  $P$  қуатына және кіші шкивтің  $n_1$  айналу жиілігіне байланысты таңдалады.

$P = 30$  кВт және  $n_1=750$  айн/мин кезінде 2.2-суретте сәйкес белдіктің D қимасы қабылданады [4].



2.2-сурет – Белдік қимасын таңдауға арналған номограмма

Электр қозғалтқышының шығу білігінің бұрыштық жылдамдығы,  $c^{-1}$ :

$$\omega_{НОМ} = \frac{\pi \cdot n_1}{30}, \quad (2.1)$$

$$\omega_{НОМ} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \, c^{-1}$$

Электр қозғалтқыш білігіндегі айналу моменті, Нм:

$$M_{НОМ} = \frac{P \cdot 10^3}{\omega_{НОМ}}, \quad (2.2)$$

$$M_{НОМ} = \frac{30 \cdot 1000}{78,5} = 382,2 \, Нм.$$

Сыналы белдікті берілістің жетекші шкивінің ең аз диаметрін  $d_1$  белбеудің қабылданған қимасына байланысты таңдалады: ең аз рұқсат етілген (1.1 кесте, [4])  $d_{1min} = 315$  мм.

Жетекшілік шкивтің есептік диаметрі  $d_2$  алдын ала сырғуды ескермей мынадай формула бойынша анықталады:

$$d_2 = d_1 u_{12} (1 - \varepsilon), \quad (2.3)$$



мұндағы  $\varepsilon$  – салыстырмалы сырғу коэффициенті; номиналды жүктеме кезінде  $\varepsilon \approx 0,015$ ;

$u_{12}$  – беріліс мәні;  $u_{12} = n_1/n_2 = 750/250 = 3$ .

$$d_2 = 315 \cdot 3 \cdot (1 - 0,015) = 930.8 \text{ мм.}$$

$d_2$  мәнін 5.2 кесте бойынша ең жақын стандартты мәнге дейін дөңгелектейміз:  $d_2 = 900$  мм.

Нақты беріліс саны және берілгеннен ауытқу:

$$u_\phi = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1 - \varepsilon)}, \quad (2.4)$$

$$u_\phi = \frac{900}{315 \cdot (1 - 0,015)} \approx 2,9;$$

$$\Delta u = \frac{|u_\phi - u|}{u} \cdot 100\% \leq 3\% \quad (2.5)$$

$$\Delta u = \frac{|2,9 - 3|}{3} \cdot 100\% = 3,3\%$$

Рұқсат етілген қателікте деп қабылдаймыз.

Шамамен алынған осьаралық қашықтық, мм:

$$a \geq 0,55 \cdot (d_1 + d_2) + h, \quad (2.6)$$

мұнда  $h = 19$  мм сыналы белбеу қимасының биіктігі [4].

$$a \geq 0,55 \cdot (315 + 900) + 19 \approx 687,25 \text{ мм.}$$

Белбеудің есептік ұзындығы, мм:

$$l_p = 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a}, \quad (2.7)$$

$$l_p = 2 \cdot 687,25 + \frac{3,14}{2}(315 + 900) + \frac{(900 - 315)^2}{4 \cdot 687,25} = 3406,5 \text{ мм.}$$

Белдіктің ұзындығының мәнін стандартты етіп дөңгелектейміз [4]:



$l = 3550$  мм қабылдаймыз.

Осыаралық қашықтықтың нақтыланған мәні, мм:

$$a = \frac{1}{8} \left\{ 2 \cdot l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2 \cdot l - \pi \cdot (d_2 + d_1)]^2 - 8 \cdot (d_2 - d_1)^2} \right\}, \quad (2.8)$$
$$a = \frac{1}{8} \{ 2 \cdot 3550 - 3,14 \cdot (315 + 900) +$$
$$+ \sqrt{[2 \cdot 3550 - 3,14 \cdot (315 + 900)]^2 - 8(900 - 315)^2} \} = 765,3 \text{ мм.}$$

$a$  кемуі: белдік ұзындығынан 0,01

$$0,01 \cdot l = 0,01 \cdot 3550 = 35,5 \text{ мм;}$$

$a$  ұлғаюы:

$$0,025 \cdot l = 0,025 \cdot 3550 = 88,75 \text{ мм.}$$

Осыдан реттегіш тетік саңылауының ұзындығы:

$$l_{\pi} = 35,5 + 88,75 = 124,25 \text{ мм.}$$

Жетекші шкивтің белдігімен орап алу бұрышы, град.:

$$\alpha_1 = 180 - 57 \cdot \frac{d_2 - d_1}{a}, \quad (2.9)$$
$$\alpha_1 = 180^\circ - 57,3^\circ \cdot \frac{900 - 315}{765,3} \approx 136,2 \text{ град.}$$

Белдіктің жылдамдығы, м/с:

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 10^3}, \quad (2.10)$$
$$v = \frac{3,14 \cdot 315 \cdot 750}{60 \cdot 1000} \approx 12,4 \text{ м/с.}$$

Белдіктердің жүру жиілігі,  $\text{с}^{-1}$ :

$$U = \frac{v}{l} \leq [U], \quad (2.11)$$

мұндағы  $[U] = 30 \text{ с}^{-1}$  – белбеу жүрісінің рұқсат етілген жиілігі.

$$U = \frac{12,4}{3,55} \approx 3,48 \leq [U].$$



$U = 3,48 < 30$  [с<sup>-1</sup>], сондықтан белбеудің қызмет ету мерзіміне 1000... 3000 сағат кепілдік береді.

Бір белдікпен берілетін рұқсат етілетін қуат, кВт [4]:

$$[P_{II}] = [P_0] \cdot C_u \cdot C_P \cdot C_\alpha \cdot C_l \cdot C_Z, \quad (2.12)$$

мұндағы  $[P_0]$  – қалыпты қиманың бір сыналы белдігімен берілетін рұқсат етілген қуат; 1.8-кестеден сызықтық интерполяция тәсілімен табамыз:

$$[P_0] = 11,2 + \frac{14,1 - 11,2}{950 - 700} \cdot (750 - 700) = 11,78 \text{ кВт};$$

$C_u = 1,14$  – беріліс қатынастарының коэффициенті;

$C_P = 0,9$  – берілген жағдайларда, бірқалыпты соққылар кезінде жұмыс режимінің коэффициенті;

$C_\alpha$  – кіші шкивтегі  $\alpha_1$  айналу коэффициенті;

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180^\circ - \alpha_1) = 1 - 0,003 \cdot (180^\circ - 136,2^\circ) \approx 0,87;$$

$C_l$  – белбеу ұзындығының әсерін ескеретін коэффициент:

$$C_l = 0,3 \cdot \frac{l}{l_p} + 0,7 = 0,3 \cdot \frac{3550}{3406,5} + 0,7 \approx 1,013;$$

$C_Z = 0,95$  – белдіктер санының коэффициенті,

Демек,

$$[P_{II}] = 11,78 \cdot 1,14 \cdot 0,9 \cdot 0,87 \cdot 1,013 \cdot 0,95 \approx 10,12 \text{ кВт}.$$

Сыналы белбеулер саны:

$$z = \frac{P_{НОМ}}{[P_{II}]} = \frac{30}{10,12} \approx 2,96 \quad (2.13)$$

$z = 3$  қабылдаймыз.

Бір сыналы белдіктің керілу күші, Н:

$$F_0 = \frac{850 \cdot P_{НОМ} \cdot C_l \cdot C_P}{z \cdot v \cdot C_\alpha} + \theta \cdot v^2, \quad (2.14)$$

мұндағы  $\theta$  – белбеудің қума салмағы (белбеу ұзындығының 1 м салмағы).

$$F_0 = \frac{850 \cdot 30 \cdot 1,013 \cdot 0,9}{3 \cdot 12,4 \cdot 0,87} + 0,6 \cdot 12,4^2 \approx 810,6 \text{ Н}.$$



Сыналы белдіктер жиынтығымен берілетін шеңбер күші, Н:

$$F_t = \frac{P \cdot 10^3}{v} = \frac{30 \cdot 1000}{12,4} \approx 2419,4 \text{ Н.} \quad (2.15)$$

Жетекшілік және жетекші тармақтарды тарту кезінде туындайтын күштер: жетекші тармақ:

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2z} = 810,6 + \frac{2419,4}{2 \cdot 3} \approx 1213,83 \text{ Н;} \quad (2.16)$$

жетекшілік тармақ:

$$F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2z} = 810,6 - \frac{2419,4}{2 \cdot 3} \approx 407,37 \text{ Н.} \quad (2.17)$$

Білікке белбеу қысымының күші, Н:

$$F_{ОП} = 2F_0 \cdot z \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \quad (2.18)$$

$$F_{ОП} = 2 \cdot 810,6 \cdot 3 \cdot \sin\left(\frac{136,2}{2}\right) \approx 4512,62 \text{ Н.}$$

Белдіктің беріктігіне әсер ететін жетекші тармақтың қимасындағы ең жоғары кернеу  $\sigma_{max}$ , Н/мм<sup>2</sup>:

$$\sigma_{max} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2zA} + E_H \frac{h}{d_1} + 1,2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot 10^{-6} \leq [\sigma]_P, \quad (2.19)$$

мұндағы  $A = 230 \text{ мм}^2$  – белдіктің қима ауданы;

$E_H = 80...100 \text{ Н/мм}^2$  – резеңкеленген белдіктерге арналған иілу кезіндегі бойлық серпімділік модулі;

$\rho = 1250...1400 \text{ кг/м}^3$  – белдік материалының тығыздығы;

$[\sigma]_P = 10 \text{ Н/мм}^2$  – сыналы белдіктер үшін рұқсат етілетін созылу кернеуі.

$$\sigma_{max} = \frac{810,6}{230} + \frac{2419,4}{2 \cdot 3 \cdot 230} + 80 \cdot \frac{19}{315} + 1,2 \cdot 1300 \cdot 12,4^2 \cdot 10^{-6} \approx 10,34 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{max} > [\sigma]_P; 10,34 > 10 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right].$$

Бұл рұқсат етілген шамадан жоғары, сондықтан белбеудің санын  $z=4$  қабылдаймыз.



Онда

$$F_0 = \frac{850 \cdot 30 \cdot 1,013 \cdot 0,9}{4 \cdot 12,4 \cdot 0,87} + 0,6 \cdot 12,4^2 \approx 631 \text{ H};$$

$$F_1 = 631 + \frac{2419,4}{2 \cdot 4} \approx 933,4 \text{ H};$$

$$F_2 = 631 - \frac{2419,4}{2 \cdot 4} \approx 328,6 \text{ H};$$

$$F_{OP} = 2 \cdot 631 \cdot 4 \cdot \sin\left(\frac{136,2}{2}\right) \approx 4683,72 \text{ H};$$

$$\sigma_{max} = \frac{631}{230} + \frac{2419,4}{2 \cdot 4 \cdot 230} + 80 \cdot \frac{19}{315} + 1,2 \cdot 1300 \cdot 12,4^2 \cdot 10^{-6} \approx 9,12 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{max} < [\sigma]_P; 9,12 < 10 \left[ \frac{\text{H}}{\text{мм}^2} \right].$$

Беріліс жұмыс орындауға қабілетті.

## 2.2 Флотомашинаның импеллерін есептеу

Импеллер немесе араластырғыш – бұл флотациялық машинаның негізгі бөлігі, ол пульпаны араластырып, ауа көпіршіктерін түзу арқылы кенді байыту процесін жүргізеді. Оны жаңғырту мынадай келесі тәсілдерімен жүзеге асыруға болады.

Импеллер материалының жақсарту мақсаты – оның беріктігін, тозуға төзімділігін және коррозияға қарсы қасиеттерін арттыру болып табылады. Қазіргі таңда көбінесе стандартты болат немесе шойын материалдары қолданылады. Бұл материалдардың кең таралуының басты себебі – олардың өңдеуге жеңіл болуы, салыстырмалы түрде арзан болуы және қысымға төзімділігі. Алайда бұл материалдардың кейбір кемшіліктері бар. Олар агрессивті орталарда тез тозады, коррозияға төзімсіз және ұзақ мерзімді жұмыс кезінде жиі техникалық қызмет көрсетуді талап етеді. Осыған байланысты импеллер материалын жақсарту қажеттілігі туындайды. Жаңа материалдар ретінде тот баспайтын болат, арнайы қорытпалар немесе композиттер қолданылуы мүмкін. Мұндай материалдар импеллердің сенімділігін арттырып, ұзақ мерзімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді және техникалық қызмет көрсету жиілігін азайтады.

Бұл дипломдық жұмыста осыған байланысты көрсетілген әрбір материалдар үшін есептеу жүргізіп, шыққан мәндерді салыстырып ең тиімдісі таңдалынады.



Импеллердің геометриялық деректері (ортақ барлық материалға):

Диаметрі:  $D = 0.5$  м

Қалыңдығы (орташа):  $h = 0.05$  м

Қалақ саны: 6

Орташа көлем (бағалау):  $V = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot h \approx 0.0098 \text{ м}^3$

Тот баспайтын болат (AISI 304) үшін толық техникалық және энергетикалық есептеулер:

Масса:

$$m = \rho \cdot V = 8000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0.00982 \text{ м}^3 = 78.54 \text{ кг} \quad (2.20)$$

Импеллердің жалпы салмағын анықтау үшін оның көлемін және материалдың тығыздығын көбейтеміз.

Мұндағы  $\rho = 8000 \text{ кг/м}^3$  – Тот баспайтын болат тығыздығы.

$V = \pi r^2 h \approx 0.00982 \text{ м}^3$  – дисктәрізді импеллердің жуық көлемі.

Салмақ – қозғалтқышқа және мойынтіректерге түсетін тікелей жүктеме. Неғұрлым ауыр болса – іске қосу қиынырақ.

Инерция моменті (жартылай қатты диск ретінде жуықтап):

$$J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} \cdot 78.54 \cdot (0.25)^2 = 2.454 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.21)$$

Бұл шаманы дененің айналуға кедергісін сипаттайды. Ол тек массамен емес, сонымен қатар массаның айналу осіне қаншалықты жақын орналасқанына да байланысты.

$r = 0.25$  м – импеллер радиусы.

Неғұрлым  $J$  үлкен болса, соғұрлым айналдыру үшін көп күш керек.

Бұрыштық жылдамдық:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3.1416 \cdot 250}{60} = 26.18 \text{ рад/с} \quad (2.22)$$

Кинетикалық энергия (айналу кезіндегі):

$$E_k = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 2.454 \cdot (26.18)^2 = 841.1 \text{ Дж} \quad (2.23)$$

Бұл энергия – импеллерді айналдыру үшін қажет болатын күш. Яғни қозғалтқыш іске қосылғанда дәл осынша энергия жұмсалады.

Егер импеллер ауыр (және  $J$  үлкен) болса, энергия шығыны да жоғары.

Бұл мән жылдам іске қосылу, электр қуатының соққысы және жүктеме пускателге әсер етеді.

Іске қосу момент:



$$M_{\text{косу}} = J \cdot \alpha = J \cdot \frac{\omega}{t} = 2.454 \cdot \frac{26.18}{0.3} = 214.2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.24)$$

Бұл – қозғалтқыш іске қосылғанда импеллерді айналдыру үшін қажетті айналдыру күші.

$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{26.18}{0.3}$  – бұрыштық үдеу (импеллерді 0-ден 250 айн/мин-ге 0.3 секундта жеткізу үшін).

Жылдық энергия тұтынуы (ортақ):

$$W_{\text{жыл}} = P_{\text{ном}} \cdot t_{\text{жыл}} = 30 \cdot 6000 = 180000 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} \quad (2.25)$$

Жылдық жұмыс уақыты:  $20 \text{ сағ/күн} \times 300 \text{ күн} = 6000 \text{ сағ}$

*Алюминий (6061-T6):*

Масса:

$$m = 2700 \cdot 0.0098 = 26.5 \text{ кг} \quad (2.26)$$

Тығыздығы:  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$

Инерция моменті (жартылай қатты диск ретінде жуықтап):

$$J = \frac{1}{2} \cdot 26.5 \cdot 0.25^2 = 0.83 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.27)$$

Кинетикалық энергия (айналу кезіндегі):

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 0.83 \cdot (26.18)^2 = 284.8 \text{ Дж} \quad (2.28)$$

Іске қосу момент:

$$M_{\text{пуск}} = J \cdot \alpha = J \cdot \frac{\omega}{t} = 0.83 \cdot \frac{26.18}{0.3} = 72.43 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.29)$$

*Композит (углепластик негізіндегі):*

Масса:

$$m = 1600 \cdot 0.0098 = 15.7 \text{ кг} \quad (2.30)$$

Тығыздығы:  $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$

Инерция моменті (жартылай қатты диск ретінде жуықтап):

$$J = \frac{1}{2} \cdot 15.7 \cdot 0.25^2 = 0.49 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$



(2.31)

Кинетикалық энергия (айналу кезіндегі):

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 0.49 \cdot (26.18)^2 = 168.2 \text{ Дж}$$

(2.32)

Іске қосу момент:

$$M_{\text{қосу}} = J \cdot \alpha = J \cdot \frac{\omega}{t} = 0.49 \cdot \frac{26.18}{0.3} = 168.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

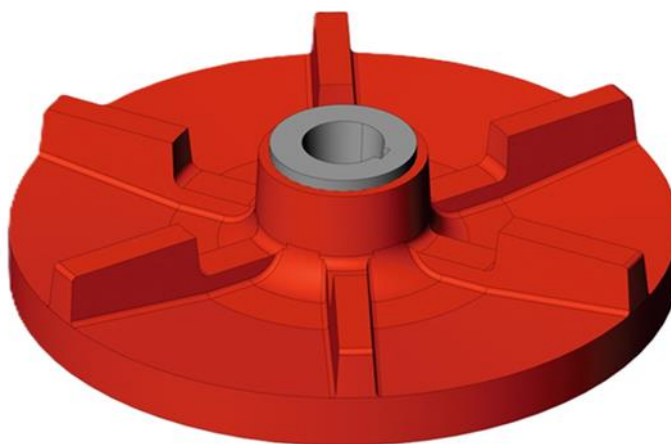
(2.33)

Есептеулер нәтижесінде

2.0-кесте-Материалдарды салыстыру кестесі:

| Материал                  | Тығыздық<br>(г/см <sup>3</sup> ) | Масса | Инерция<br>моменті | Кинетикалық<br>энергия | Іске<br>қосу<br>моменті | Энергия<br>тұтынуы<br>(жылдық) |
|---------------------------|----------------------------------|-------|--------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Тот<br>баспайтын<br>болат | 7.9                              | 78.54 | 2.454              | 841.1                  | 214.2                   | 180000                         |
| Алюминий                  | 2.7                              | 26.5  | 0.83               | 284.8                  | 72,43                   | 180000                         |
| Композит                  | 1.6                              | 15.7  | 0.49               | 168.2                  | 168.2                   | 180000                         |

Ең тиімді материал – Композит (углепластик негізіндегі). Ол ең жеңіл, инерциясы төмен және іске қосу мен жұмыс істеу барысында энергияны аз тұтынады. Бұл қозғалтқышқа жүктемені азайтады, жылдам іске қосылуға мүмкіндік береді және жылдық энергия шығынын төмендетеді.



2.3-сурет-Композитті имплеер



## 2.3 Электр қозғалтқышын таңдау және параметрларын есептеу

Төменде флотациялық машинаға орнатуға болатын 30 кВт қуатты таңдалған электр қозғалтқыштың техникалық сипаттамалары көрсетілген.

2.1-кесте - Электр қозғалтқыштың сипаттамасы

| Қозғалтқыш<br>типi | $P_H$ ,<br>кВт | $U_H$ ,<br>В | $n_H$ ,<br>айн/мин | $I_{1H}$ ,<br>А | $E_{2H}$ ,<br>В | $I_{2H}$ ,<br>А | $R_1$ ,<br>Ом | $R_2$ ,<br>Ом | $x_1$ ,<br>Ом | $x_2$ ,<br>Ом | $\frac{M_K}{M_H}$ | $K_c$ |
|--------------------|----------------|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------|
| МТФ511-8           | 30             | 220          | 725                | 117             | 252             | 81,3            | 0,136         | 0,059         | 0,225         | 0,17          | 3                 | 1,73  |

Тоқты есептеу үшін формуланы қолданамыз:

$$I_{1H} = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{30 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,77 \cdot 0,87} \approx 117 \text{ А} \quad (2.34)$$

Бұрыштық номиналды жылдамдық:

$$\omega_H = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 725}{60} \approx 75,9 \text{ рад/с}, \quad (2.35)$$

мұндағы  $n_H=725$  қозғалтқыш номиналды айналу жиілігі, айн/мин.  
Номиналды айналдыру моменті:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30 \cdot 10^3}{75,9} \approx 395,2 \text{ Н·м} \quad (2.36)$$

Электр қозғалтқышының механикалық сипаттамасы:

*Іске қосу режимі* – қозғалтқышты қосудың бастапқы шарттары.

*Тезеу режимі* – толық тоқтауға келгенше ыдырау режимі.

*Бос жүріс* – ең аз жүктеме немесе жүктеме жоқ.

$$M = M_{\text{ном}} - k \cdot (\omega - \omega_H), \quad (2.37)$$

мұндағы  $M_{\text{ном}}$  – номиналды моменті (Н·м),

$\omega_H$  – номиналды бұрыштық жылдамдық (рад/с),

$k$  – сипаттаманың қаттылығының коэффициенті (қозғалтқыш конструкциясымен анықталады).

Іске қосу моменті:

$$M_{\text{қосу}} \approx 2 \cdot M_{\text{ном}} = 790,4 \text{ Н·м} \quad (2.38)$$



$$s_K = s_H \cdot \left( m_K + \sqrt{m_K^2 - 1} \right) = 0,033 \cdot \left( 3 + \sqrt{3^2 - 1} \right) \approx 0.192; \quad (2.39)$$

Статор және ротор орамасының индуктивтілігі [6]:

$$L_1 \cong L_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} \cdot \frac{U_{1\phi \text{ ном}}}{I_{1H} \left( \sin \varphi_H - \frac{s_H \cdot \cos \varphi_H}{s_K} \right)}, \quad (2.40)$$

$$L_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \frac{220}{117 \cdot \left( 0,64 - \frac{0.033 \cdot 0.77}{0.192} \right)} \approx 0,0118 \text{ Гн.}$$

Номиналды режимдегі шашырау ағынымен негізделген статор және ротор орамаларының индуктивтілігі:

$$L_{1\sigma} \cong L_{2\sigma} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f_{1H}} \cdot \sqrt{\left( \frac{U_{1\phi \text{ ном}}}{k_i \cdot I_{1H}} \right)^2 - (R_1 + R_2')^2}, \quad (2.41)$$

$k_i$  – іске қосу тогының еселігі.

$$L_{1\sigma} \cong L_{2\sigma} = \frac{1}{4\pi \cdot 50} \cdot \sqrt{\left( \frac{220}{6 \cdot 117} \right)^2 - (0,136 + 0,102)^2} \approx 0,000325 \text{ Гн.}$$

Магниттеу тізбегінің индуктивтілігі (бір статор фазасының үш ротор орамасымен және сәйкесінше үш статор орамасы бар бір ротор орамасының магниттік байланысын ескеретін өзара индуктивтілік):

$$L_m = L_1 - L_{1\sigma} = 0,0118 - 0,000325 \approx 0,0115 \text{ Гн.} \quad (2.42)$$

Магниттеу контурының индуктивті кедергісі:

$$X_m = 2 \cdot \pi \cdot f_{1H} \cdot L_m = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0115 = 3,603 \text{ Ом.} \quad (2.43)$$

Қысқа тұйықталудың индуктивті кедергісі:

$$X_K = X_{1\sigma} + X_{2\sigma} = 2 \cdot L_{1\sigma} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{1H}, \quad (2.44)$$

$$X_K = 2 \cdot 0,000325 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \approx 0,204 \text{ Ом.}$$



Жалпы шашырау коэффициенті [7]:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,0115^2}{0,0118 \cdot 0,0118} \approx 0,05. \quad (2.45)$$

Ротордың электромагниттік байланыс коэффициенті:

$$K_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,0115}{0,0118} \approx 0,97. \quad (2.46)$$

Қозғалтқыштың электр магниттік уақыт тұрақтысы:

$$T'_3 = \frac{\sigma \cdot L_2}{R_2} = \frac{0,05 \cdot 0,0118}{0,059} = 0,01 \text{ с}. \quad (2.47)$$

Қозғалтқыштың эквивалентті белсенді кедергісі:

$$R'_1 = R_1 + (K_2)^2 \cdot R'_2, \quad (2.48)$$

$$R'_1 = 0,136 + (0,97)^2 \cdot 0,102 \approx 0,232 \text{ Ом}.$$

Қаттылық коэффициенті (k):

$$k = \frac{M_{\text{пуск}} - M_{\text{ном}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{790,4 - 395,2}{75,9} = 4,86 \quad (2.49)$$

*Қозғалтқыштың іске қосылу уақытын есептеу*

Электр қозғалтқышы іске қосылғанда айналу жылдамдығы нөлден номиналды мәнге дейін өседі. Іске қосылу уақыты маңызды, себебі ол қозғалтқыштың жүктемеге әсерін анықтайды.

Инерция моментін пайдаланып іске қосу уақытын есептейміз:

$$t_{\text{пуск}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{ном}}}{M_{\text{пуск}}}, \quad (2.50)$$

мұндағы  $J$  – қозғалтқыштың айналмалы инерция моменті (0.79 кг·м²);

$\omega_{\text{ном}}$  – номиналды бұрыштық жылдамдық (75.9 рад/сек),

$M_{\text{пуск}}$  – іске қосу моменті (790.4 Н·м).

$$t_{\text{пуск}} = \frac{0,79 \cdot 75,9}{790,4} = 0,076 \text{ сек}$$

Цилиндрлік ротордың инерция моментіне арналған формула:



$$J_{\text{қозғ}} = \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot r_p^2 \quad (2.51)$$

$J_{\text{қозғ}}$  – ротор инерциясының моменті (кг·м<sup>2</sup>),

$m_p$  – ротор салмағы (кг);

$r_p$  – ротор радиусы (м).

Ротор салмағы  $m_p=70$  кг.

Ротор радиусы  $r_p=0.15$ , ротор диаметрі  $2r=0.3$  м.

$$J_{\text{қозғ}} = \frac{1}{2} \cdot 70 \cdot 0,0225 = 0.7875 \text{ кг/м}^2 \approx 0,79 \text{ кг/м}^2$$

Ротациялық қозғалыс динамикасының жалпы заңы:

$$T = J \cdot \alpha \quad (2.52)$$

Тежеу уақыты  $t_{\text{тежеу}}=5$ с:

$$\alpha = \frac{\omega_n}{t_{\text{тежеу}}} = \frac{75,9}{5} = 15.18 \text{ рад/с}^2 \quad (2.53)$$

Тежегішті есептеу

$$T_{\text{тежеу}} = J \cdot \alpha,$$

$$T_{\text{тежеу}} = 0.79 \cdot 15.18 = 12,4 \text{ с.}$$

Өтпелі үрдісті есептеу

$$E = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2, \quad (2.54)$$

$$E = \frac{1}{2} 0.79 \cdot 75.9^2 = 2275,5.$$

*Электр жетегіндегі өтпелі процесс.*

Механикалық қозғалтқыштың сипаттамасы бар механикалық өтпелі процесс және  $M_c = F_t \cdot \frac{d_1}{2} = 2419,4 \cdot \frac{0,315}{2} = 381 \text{ Нм} = \text{const}$ . Орамалардың индукциясын және механикалық беріліс элементтерінің серпімділігін елемейміз. Сонда жүйенің өтпелі процестеріндегі өзгеріс мына теңдеумен сипатталады.

$$M_{\text{қозғлт}} - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2.55)$$

Қозғалтқыштың сипаттамасын мына формуламен де көрсетуге болады



$$M = M_k \left(1 - \frac{\omega}{\omega_0}\right) \quad (2.56)$$

$\omega_0$  – идеалды бос жүріс жылдамдығы;  
 $M_k$  – қысқа тұйықталу кезіндегі моменті.

Жоғарыда көрсетілген формуланы жылжыуы кезіндегі мәнін ескере отырып шығарамыз:

$$M_k - M_k \frac{\omega}{\omega_0} - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2.57)$$

$M_k$  бөліп және  $\omega_0$  көбейтеміз:

$$\omega_0 - \omega - M_c \frac{\omega_0}{M_k} = J \frac{\omega_0}{M_k} \frac{d\omega}{dt} \quad (2.58)$$

$M_c \frac{\omega_0}{M_k} = \Delta\omega_c$  ескеріп, келесіні аламыз;

$$J \frac{\omega_0}{M_k} \frac{d\omega}{dt} - \omega = \omega_c \quad (2.59)$$

$J \frac{\omega_0}{M_k} = T_m$  – уақыттың механикалық тұрақтысы, с.

Теңдеудің шешімі мынадай:

$$\omega = (\omega_{\text{бас}} - \omega_c) e^{-\frac{t}{T_m}} + \omega_c \quad (2.60)$$

Қазіргіге ұқсас:

$$M = (M_{\text{бас}} - M_c) e^{-\frac{t}{T_m}} + M_c \quad (2.61)$$

Момент пен жылдамдық экспоненциалды түрде өзгереді.

Теориялық тұрғыдан экспоненциалды процесс шексіз жалғасады. Іс жүзінде өтпелі процесстер кезінде аяқталады.

$$t_n = (3 - 4)T_m \quad (2.62)$$

Электр жетегінің параметрлері арқылы механикалық тұрақты  $T_m$  мынадай жолмен анықталады:

$$T_m = J \frac{\omega_0 S_H R_2}{M_k r_p} - \text{асинхронды қозғалтқыш үшін};$$

$R_2$  – ротор контурының кедергісі;

$r_p$  – ротор орамасының кедергісі.



$$\omega_{\text{соң}} = (\omega_{\text{бас}} - \omega_c) e^{-\frac{t}{T_n}} + \omega_c \quad (2.63)$$

Осыдан

$$t = T_m \ln \frac{\omega_{\text{бас}} - \omega_c}{\omega_{\text{бас}} - \omega_c} = T_m \ln \frac{M_{\text{бас}} - M_c}{M_{\text{бас}} - M_c} \quad (2.64)$$

Тежеу уақытын есептеу кезінде бастапқы жылдамдық алдыңғы моторлы режимнің тұрақты күй жылдамдығына тең болады. Түпкі жылдамдық көп жағдайда –  $a$  тежегіш сипаттамасының жалғасы тетіктің механикалық сипаттамасымен қиылысу нүктесі ретінде анықталады.

*Бұрыштық үдеуді есептеу*

$$\alpha = \frac{M_{\text{ном}} - M_c}{J} = \frac{395.2 - 381}{0.79} \approx 18 \text{ рад/с}^2 \quad (2.65)$$

*Іске қосу уақыты*

$$t_{\text{пуск}} = \frac{\omega_{\text{ном}}}{\alpha} = \frac{75.9}{18} \approx 4.2 \text{ сек} \quad (2.66)$$

*Тежеу үдеуін есептеу*

$$\alpha_{\text{теж}} = \frac{M_{\text{теж}} - M_c}{J} = \frac{458.64 - 381}{0.79} \approx 98.3 \text{ рад/с}^2 \quad (2.67)$$

*Тежеу уақыты*

$$t_{\text{теж}} = \frac{\omega_{\text{ном}}}{\alpha_{\text{теж}}} = \frac{75.9}{98.3} = 0.77 \text{ сек} \quad (2.68)$$

*Механикалық тұрақтыны есептеу*

$$T_m = \frac{J_{\text{пр}}}{R_2'} = \frac{J_{\text{пр}}}{R_2 \cdot K_c} = \frac{0.79}{0.059 \cdot 1.73} = 4.47 \text{ сек}, \quad (2.69)$$

мұндағы  $K_c$  – қозғалтқышының орамалары арасындағы трансформациялау коэффициенті (2.2-кестеден);

$J_{\text{пр}}$  – жалпы жүйенің келтірілген момент инерциясы:

$$J = J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} (\omega / \omega_n)^2 = 0.79 + 62.5 \cdot (26.16/78.5)^2 \approx 7.73 \text{ кгм}^2, \quad (2.70)$$

мұндағы  $J_{\text{д}}$  – қозғалтқыштың инерция моменті, кгм<sup>2</sup>;



$J_m$  – импеллердің инерция моменті, кгм<sup>2</sup>.

*Электр қозғалтқышының жылу шамаларын есептеу*

Қабырға санының ұлғаюы үшін қуатты есептеу:

Жылудың шығынын (30 кВт,  $\eta=0.92$ ) үшін есептеу жүргіземіз:

$$Q = P_{\text{шығ}} = P_{\text{қоз}} \times (1 - \eta) = 30 \times (1 - 0.92) = 30 \times 0.08 = 2.4 \text{ кВт} \quad (2.71)$$

Есептеу нәтижесі арқылы қолданыстағы қозғалтқыштың номиналды қуатына байланысты жылу шығынының мәніне қол жеткіземіз. Осы мәнді пайдалана отыра қозғалтқыштың қабырға санын, жұмыс ауданын анықтай аламыз.

Бастапқы деректер:

## 2.2-кесте- Жылу шамаларының мәндері

|                                                  |                    |
|--------------------------------------------------|--------------------|
| Жылудың беру қуаты (Q)                           | 2,4 кВт            |
| Қозғалтқыш бетінің температурасы (Т қозғалтқышы) | 80 °C              |
| Қоршаған ортаның температурасы                   | 25 °C              |
| Температура айырмасы ( $\Delta T$ )              | 55K                |
| Қабырғасыз корпусының бастапқы беткі ауданы (S)  | 0,6 м <sup>2</sup> |
| Қабырға биіктігі (h)                             | 0,03 м             |
| Қабырға ұзындығы (l).                            | 0.5 м.             |

Қабырғалар санын есептеу:

Беткі алаңның ұлғаюын есептейік (А-жұмыс ауданы):

$$A = n \cdot l \cdot h + S = 10 \cdot 0.5 \cdot 0.03 + 0.6 = 0.15 + 0.6 = 0.75 \text{ м}^2 \quad (2.72)$$

N=10 Қабырға саны

L=0,5м қабырға ұзындығы

H=0,03м қабырға биіктігі

S=0,6 ауданы

Орташа алғанда, табиғи салқындатумен (IC01) жұмыс істейтін қозғалтқыштарда 1 кВт қуатқа 0.05–0.15 м<sup>2</sup> жылу шығару ауданы жеткілікті деп есептелінеді. Біздің жағдайда 2,4 кВт үшін шамамен 0.24 м<sup>2</sup> қажет. Алайда ескеретін тағы бір фактор бұл сыртқы температура. Сол себепті сыртқы орташа температура мәнін қолдана отырып қуат шығысын анықтайтын боламыз.

Қуат шығысын есептеу:



$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

Табиғи салқындату жағдайында  $\alpha$  мәні әдетте 8–15 Вт/(м<sup>2</sup>·°C) аралығында болады. Орташа мәнін алайық:  $\alpha=10$ Вт/м<sup>2</sup> үшін:

$$Q = 10 \cdot 0.75 \cdot 55 = 412.5 \text{ Вт} \quad (2.73)$$

Көріп тұрғанымыздай сыртқы температураны ескере отыра 0.75м<sup>2</sup> жұмыс ауданы 412.5Вт қуат шығысын қамти алады.

Егер 30 қабырға манына дейін ұлғайтсақ:

$$A = 30 \cdot 0.5 \cdot 0.03 + 0.6 = 0.45 + 0.6 = 1.05 \text{ м}^2 \quad (2.74)$$

Қуаттың жаңа шығарылымы:

$$Q = 10 \cdot 1.05 \cdot 55 = 577.5 \text{ Вт} \quad (2.75)$$

Егерде қабырға санын 30 шамасында қолданатын болсақ шығыс қуаты салыстырмалы түрде қатты өзгеріске ұшырамады. Осы себепті 30 қабырға саны экономикалық және конструктивті түрде тиімсіз.

Қозғалтқышымыздың шығысындағы температурасымен сыртқы теспературасына қатысты қажетті есептеу жүргіземіз:

$$A = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta T} = \frac{2400}{10 \cdot 55} = 4.36 \approx 0.44 \text{ м}^2 \quad (2.76)$$

## 2.4 Жиілік түрлендіргіш түрін таңдау және есептеу

Флотациялық агрегаттың жұмысын басқаруда электр қозғалтқышының айналу жиілігін реттеу үшін жиілікті түрлендіргішті (ЖТ) қолдану – тиімді әрі заманауи әдіс болып табылады. Бұл тәсіл жабдықтың айналу жылдамдығын нақты бақылауға, энергия үнемдеуге және өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Жиілікті түрлендіргішті дұрыс тандап, оны нақты параметрлерге сәйкес баптау – жүйенің сенімділігі мен ұзақ мерзімді жұмысының кепілі. Енді ЖТ таңдау және баптау барысында орындалуы тиіс негізгі кезеңдерге тоқталайық:

*Жиілікті түрлендіргіштің негізгі міндеттері (ЖТ)*

- Қондырғының әр түрлі жағдайына сәйкес реттелу қасиеті.
- Энергия үнемдеу: Жиілікті реттеу дәстүрлі бақылау әдістерімен салыстырғанда энергия тұтынуды азайтады.
- Механикалық және электрлік кернеуді төмендететін қозғалтқыштың жұмсақ іске қосуы мен тоқтауы.



- Қозғалысты қорғау: ЖТ шамадан тыс жүктеме, қысқа тұйықталу және басқа да төтенше жағдайлар сияқты қорғау функцияларын орындауы.

Жиілікті түрлендіргішті (ЖТ) таңдау кезінде оның қуаты басқарылатын электр қозғалтқышының номиналды қуатына сәйкес келуі қажет. Аталған жағдайда қозғалтқыштың қуаты 30 кВт-ты құрайды, сондықтан кем дегенде осы көрсеткішке сәйкес келетін ЖТ таңдалады. Сонымен қатар, жүктеме өзгерістерінің ықтимал ықпалын ескере отырып, тәжірибеде 10–20%-ға артық қуат қорымен таңдау ұсынылады. Бұл жағдайда, мысалы, 37 кВт қуатты жиілікті түрлендіргішті қолдану мақсатқа сай болып табылады.).

ЖТ кернеуге сәйкестігіне көз жеткізу. Кернеу 380/660 В шама арасы қабылданады.

Түрлендіргіш қозғалтқыштың қажетті жиілік диапазонына қолданылуы тиіс. Номиналды жиілігі 50 Гц қозғалтқышы болған жағдайда, ЖТ 0-ден 60 Гц-ке дейінгі және одан жоғары диапазонды қамтамасыз етуі тиіс.

*Жүктеме түрі және жұмыс режимі*

- скалярлық бақылау (V/f) — стандартты қосымшалар үшін қарапайым және үнемді шешім.

- векторлық басқару күрделірек, бірақ айналдыру моменті мен жылдамдықты басқару үшін жақсы динамика береді.

Төменде тұрған 2.2-кестеге көз жүгіртетін болсақ, біз бұл жерде үш түрлі яғни үш атақты брендтің жиілік түрлендіргіштерін көре аламыз.

2.3-кесте – Жиілік түрлендіргіштердің сипаттамасы

| Сипаттама             | Siemens<br>SINAMICS G120                                              | Schneider<br>Electric<br>ATV630   | ABB ACS580                     |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Қуат диапазоны        | 0,55 – 250 кВт                                                        | 0,75 – 37 кВт                     | 0,75 – 500 кВт                 |
| Кіріс кернеуі         | 200 В, 400 В, 690 В                                                   | 380 – 480 В                       | 200 В – 480 В                  |
| Қорғаныс дәрежесі     | IP20, IP55                                                            | IP21/UL<br>Type 1                 | IP21                           |
| Басқару әдісі         | Векторлық,<br>скалярлық                                               | Векторлық,<br>скалярлық           | Векторлық,<br>скалярлық        |
| Қосымша<br>функциялар | Қауіпсіздік<br>функциялары<br>(Safety Integrated),<br>энергия үнемдеу | 3 RJ45<br>порты, PLC<br>функциясы | Сенімділік, энергия<br>үнемдеу |



### 2.3-кесте жалғасы

|                     |                              |                                 |                                 |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Макс. жиілік        | 550 Гц                       | 500 Гц                          | 500 Гц                          |
| Тежегіш функциясы   | Иә                           | Иә                              | Иә                              |
| Басқарылуы          | PROFIBUS, PROFINET, Ethernet | Ethernet, сериялық интерфейстер | Modbus RTU, Bluetooth, Ethernet |
| Жұмыс температурасы | -10°C – +50°C                | -10°C – +40°C                   | -15°C – +50°C                   |

Біріншісі – Siemens SINAMICS G120 моделі, ол өнеркәсіп, көлік және энергетика салаларында кеңінен қолданылады. Бұл жиілік түрлендіргіш энергия үнемдеу технологияларымен жабдықталған және қауіпсіздік функциялары арқылы өндірістік процестердің қауіпсіздігін арттырады. Siemens SINAMICS G120 моделі жоғары жиіліктерде жұмыс істеуге мүмкіндік беретін басқару алгоритмдерін қолдайды және желілік интерфейстердің кең ауқымына ие.

Екінші модель – Schneider Electric ATV630. Бұл жиілік түрлендіргіш негізінен сумен жабдықтау, су бұру жүйелері және өнеркәсіптік процестерде кеңінен қолданылады. Оның негізгі ерекшеліктерінің бірі – үш RJ45 портының болуы және PLC функциясын қолдауы. Бұл жабдық күрделі автоматтандырылған жүйелерге оңай біріктіріледі және тұрақты жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Schneider Electric ATV630 энергия тиімділігі жоғары және қозғалтқыштың жүктемесіне икемді түрде бейімделе алады. Сонымен қатар, бұл жиілік түрлендіргіш жоғары дәлдікпен жылдамдық пен моментті басқаруға қабілетті, бұл оны әртүрлі өнеркәсіптік процестер үшін өте ыңғайлы етеді.

Үшінші модель – ABB ACS580. Бұл жиілік түрлендіргіш жылыту, желдету және жалпы өнеркәсіптік қолдануларға арналған. Оның негізгі артықшылықтарының бірі – Bluetooth пен Ethernet арқылы басқару мүмкіндігінің болуы. ABB ACS580 автоматтандырылған жүйелерде жиі қолданылады, өйткені ол әртүрлі протоколдармен оңай біріктіріліп, заманауи өндірістік стандарттарға сәйкес келеді. Бұл жиілік түрлендіргіштің қолдану аясы кең, себебі ол әртүрлі жүктемелермен жұмыс істеуге және энергия тұтынуды оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ABB ACS580 сенімділігімен және ұзақ қызмет ету мерзімімен ерекшеленеді, бұл оны көптеген өндірістік кәсіпорындар үшін тиімді шешімге айналдырады.

Әрбір жиілік түрлендіргіштің өзіндік артықшылықтары мен ерекшеліктері бар, оларды таңдау кезінде көптеген факторларды ескеру қажет. Жабдықтың қуат диапазоны, басқару әдістері, қорғаныс дәрежесі, жұмыс температурасы, қосымша функциялары мен қолдану салалары негізгі шешуші факторлар болып табылады. Бұл бөлімде қарастырылған үш жиілік түрлендіргіштің сипаттамалары мен қолдану аясы толықтай талданады және олардың тиімділігіне баға беріледі.



*Siemens G120 жиілік түрлендіргішін есептеу*  
*Желідегі номиналды тоқтың мәні:  $I_{1H} = 71,6$  А.*  
*Гармоникалық тоқты есептеу*

$$I_{\text{гарм}} = I_{\text{ном}} \cdot \text{THD} = 71,6 \cdot 0.25 = 17.9 \text{ А} \quad (2.77)$$

мұндағы THD – гармоникалық бұрмалану коэффициенті; Siemens G120 үшін: 25% немесе 0.25.

*Қосымша салқындату қажеттілігін бағалау*

$$T_{\text{қажетті}} = T_{\text{макс}} - (T_{\text{макс}} \cdot K_c) = 50 - (50 \cdot 0.4) = 30^\circ\text{C} \quad (2.78)$$

Қоршаған орта температурасы:  $T_{\text{қорш}} = 25^\circ\text{C}$

Жиілік түрлендіргіштің максималды температурасы:  $T_{\text{макс}} = 50^\circ\text{C}$

Қосымша салқындату тиімділігі: 40% немесе 0.4.

*Жылдық энергия үнемдеуді есептеу*

$$E_{\text{үнемделген}} = E_{\text{жалпы}} \cdot 0.3 = 180000 \cdot 0.3 = 54000 \text{ кВт}\cdot\text{сағ} \quad (2.79)$$

Жалпы энергия тұтыну:  $E_{\text{жалпы}} = 180000 \text{ кВт}\cdot\text{сағ}.$

Үнемдеу коэффициенті: 30% немесе 0.3.

*Жылдық қаржылай үнемдеуді есептеу*

$$C_{\text{үнемделген}} = E_{\text{үнемделген}} \cdot C_{\text{тариф}} = 54000 \cdot 25 = 1350000 \text{ теңге} \quad (2.80)$$

*Инвестицияның өтелу уақытын есептеу*

$$T_{\text{қайтару}} = \frac{\text{Жиілік түрлендіргіштің бағасы}}{\text{Жылдық үнемдеу}} = \frac{2500000}{1350000} = 1.85 \text{ жыл} \quad (2.81)$$

Siemens G120 бағасы: 2 500 000 теңге.

Желідегі номиналды ток: 71.6 А.

Гармоникалық ток: 17.9 А (жоғары, сүзгілер қажет болуы мүмкін).

Қосымша салқындату қажет емес ( $25^\circ\text{C}$  болған жағдайда)

Жылдық энергия үнемдеу: 54 000 кВт·сағ

Жылдық қаржылай үнемдеу: 1 350 000 теңге

Инвестицияның өтелу уақыты: 1.85 жыл

*ABB ACS580 жиілік түрлендіргішін есептеу*

*Гармоникалық тоқты есептеу*

$$I_{\text{гарм}} = I_{\text{ном}} \cdot \text{THD} = 71.6 \cdot 0.2 = 14.32 \text{ А}, \quad (2.82)$$



мұндағы THD ABB ACS580 үшін: 20% немесе 0,2.

ABB ACS580 Siemens G120-мен салыстырғанда аз гармоникалық бұрмалануға ие.

*Қосымша салқындату қажеттілігін бағалау*

$$T_{\text{қажетті}} = T_{\text{макс}} - (T_{\text{макс}} \cdot K.с) = 50 - (50 \cdot 0.35) = 32.5^{\circ}\text{C} \quad (2.83)$$

Қосымша салқындату тиімділігі: 35% немесе 0.35.

*Жылдық энергия үнемдеуді есептеу*

$$E_{\text{үнемделген}} = E_{\text{жалпы}} \cdot 0.35 = 180000 \cdot 0.35 = 63000 \text{ кВт}\cdot\text{сағ} \quad (2.84)$$

*Жылдық қаржылай үнемдеуді есептеу*

$$C_{\text{үнемделген}} = E_{\text{үнемделген}} \cdot C_{\text{тариф}} = 63000 \cdot 25 = 1575000 \text{ теңге} \quad (2.85)$$

*Инвестицияның өтелу уақытын есептеу*

$$T_{\text{кайтару}} = \frac{\text{Жиілік түрлендіргіштің бағасы}}{\text{Жылдық үнемдеу}} = \frac{2600000}{1575000} = 1.65 \text{ жыл} \quad (2.86)$$

ABB ACS580 бағасы: 2 600 000 теңге

Желідегі номиналды ток: 71.6 А; гармоникалық ток: 14.32 А (Siemens G120-ға қарағанда төмен).

Қосымша салқындату қажет емес (25°C болған жағдайда)

Жылдық энергия үнемдеу: 63 000 кВт·сағ (Siemens G120-дан 9 000 кВт·сағ артық); жылдық қаржылай үнемдеу: 1 575 000 теңге

Инвестицияның өтелу уақыты: 1.65 жыл (Siemens G120-ға қарағанда тезірек)

*Schneider ATV630 жиілік түрлендіргішін есептеу*

*Гармоникалық тоқты есептеу*

$$I_{\text{горм}} = I_{\text{ном}} \cdot \text{THD} = 71.6 \cdot 0.3 = 21.48 \text{ А}, \quad (2.87)$$

мұндағы THD Schneider ATV630 үшін: 30% немесе 0.3.

*Қосымша салқындату қажеттілігі*

$$T_{\text{қажетті}} = T_{\text{макс}} - (T_{\text{макс}} \cdot K.с) = 50 - (50 \cdot 0.45) = 27.5^{\circ}\text{C} \quad (2.88)$$

Қосымша салқындату тиімділігі: 45% немесе 0.45

*Жылдық энергия үнемдеуді есептеу*



$$E_{\text{үнемделген}} = E_{\text{жалпы}} \cdot 0.32 = 180000 \cdot 0.32 = 57600 \text{ кВт}\cdot\text{сағ} \quad (2.89)$$

Үнемдеу коэффициенті: 32% немесе 0.32  
Жылдық қаржылай үнемдеуді есептеу

$$C_{\text{үнемделген}} = E_{\text{үнемделген}} \cdot C_{\text{тариф}} = 57600 \cdot 25 = 1440000 \text{ теңге} \quad (2.90)$$

Инвестицияның өтелу уақытын есептеу

$$T_{\text{кайтару}} = \frac{\text{Жиілік түрлендіргіштің бағасы}}{\text{Жылдық үнемдеу}} = \frac{2700000}{1440000} = 1.88 \text{ жыл} \quad (2.91)$$

Schneider ATV630 бағасы: 2 700 000 теңге;

Гармоникалық ток: 21.48 А (Siemens бен ABB-ге қарағанда жоғары).

Қосымша салқындату қажет емес (25°C болған жағдайда)

Жылдық энергия үнемдеу: 57 600 кВт·сағ

Жылдық қаржылай үнемдеу: 1 440 000 теңге

Инвестицияның өтелу уақыты: 1.88 жыл

Жүргізілген барлық есептеулерді, салыстыруларды және техникалық талдауды ескере отырып, ABB ACS580 жиілік түрлендіргішін таңдау ең дұрыс шешім деп айтуға болады.

Бұл түрлендіргіш энергия үнемдеу деңгейі жоғары, басқару мүмкіндіктері кең, сенімділігі жоғары, сонымен қатар инвестицияның өтелу уақыты қысқа болғандықтан, көптеген салаларда тиімді қолданылады.

Жүргізілген есептеулерге сәйкес, ABB ACS580 жылына 63 000 кВт·сағ энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді, бұл қаржылай жағынан да тиімді, себебі бұл үнемделген энергия жылына 1 575 000 теңге қаржылай пайда әкеледі.

Тағы бір үлкен артықшылығы – заманауи басқару жүйелеріне оңай біріктірілуі. Бұл түрлендіргіш Bluetooth, Ethernet, Modbus RTU секілді байланыс интерфейстерін қолдайды, соның арқасында оны автоматтандырылған басқару жүйелерімен оңай біріктіруге болады. Бұл өндірістік процестердің тұрақтылығын арттырып, техникалық қызмет көрсету уақытын қысқартады.

2.4-кесте - Жиілік түрлендіргіштердің салыстырмалы көрсеткіштері

| Параметрлер                      | Siemens G120 | ABB ACS580 | Schneider ATV630 |
|----------------------------------|--------------|------------|------------------|
| Желідегі номиналды ток (А)       | 71.6         | 71.6       | 71.6             |
| Гармоникалық ток (А)             | 17.9         | 14.32      | 21.48            |
| Қосымша салқындату               | Жоқ          | Жоқ        | Жоқ              |
| Жылдық энергия үнемдеу (кВт·сағ) | 54 000       | 63 000     | 57 600           |
| Жылдық қаржылай үнемдеу (теңге)  | 1 350 000    | 1 575 000  | 1 440 000        |
| Инвестицияның өтелу уақыты (жыл) | 1.85         | 1.65       | 1.88             |



### **3 Электр жетектерінің басқару жүйелерін таңдау**

#### **3.1 Электр жетектері жүйелерін дамыту болашағы**

Өндірістік механизмдердің көпшілігін екі топқа бөлуге болады: ұзақ жұмыс режимінің реверсивті емес тетіктері және динамикалық режимдерде жұмыс істейтін циклдық іс-қимылдың реверсивті механизмдері.

Қаралып отырған объект бірінші топқа жатады. Өндірістік механизмнің технологиялық процестері айналмалы қозғалыс кезіндегі кедергі моментін еңсерумен байланысты.

Жетек жүйелерінің әлемдік жетекші өндірушілерінің өнімдерін және осы салада жарияланған ғылыми зерттеулердің материалдарын талдау электр жетегінің дамуының мынадай айқын көрініс тапқан үрдісін атап өтуге мүмкіндік береді: тұрақты ток қозғалтқыштары бар жетек жүйелерінің үлесі ұдайы төмендеп келеді және ауыспалы ток қозғалтқыштары бар жетек жүйелерінің үлесі ұлғаяды. Бұл механикалық коллектордың төмен сенімділігіне және ауыспалы ток қозғалтқыштарымен салыстырғанда тұрақты ток коллекторлық қозғалтқыштарының неғұрлым жоғары құнына байланысты [5].

Электр жетегінің жұмыс органының айналу жиілігін (орнын ауыстыру жылдамдығын) реттеу диапазоны мен бірқалыптылығы бойынша үстеме жүйенің талаптары өседі. Бұл басқа сыртқы келісімге әкелді. Айналу жиілігін қозғалтқышты қоректендіретін кернеу параметрлерінің өзгеруімен реттеуге болады, ал желі параметрлері тұрақты болғандықтан, оларды өзгерту үшін электр жетек жүйесіне жаңа кіші жүйе – түрлендіргіш құрылғы енгізілді, ол басқару жүйесі (басқарушы құрылғы) үшін жаңа әсер ету объектісіне айналды.

Электр жетектерін басқарудың болашақ жүйелері технологиялық процестерді кешенді автоматтандыруға және өнеркәсіптік желі құрамында бірнеше жетектердің келісілген жұмысына бағдарланумен әзірленеді.

Асинхронды ЭЖ-нің дамуы оның негізгі элементтерін дамыту жолымен де жүреді: асинхронды электр қозғалтқышы, беріліс және түрлендіргіш құрылғылар, сондай-ақ жалпы электр жетегін дамыту.

Асинхронды электр қозғалтқышының эволюция ағашының талдауы сызықтық қозғалтқыштың пайда болуымен геометриялық өзгерістердің енді ғана басталатынын көрсетеді. Бұл қозғалтқышқа екінші элементтің серпінділігін қоса отырып: бір топсалы, көп топсалы, икемді байланыстар, бастапқы элемент (статор) қозғалысының күрделі траекториясы бар қозғалтқышты алуға болады. Бұл күрделі траектория алдымен қолмен, содан кейін басқарудың ұлғаюына қарай және автоматты түрде өзгеруі мүмкін [5].

Асинхронды электр жетегі эволюциясының негізгі бағыты - бұл электр жетегінің кіші жүйелерін логикалық орталыққа, электр қозғалтқышына айналдыру, оған түрлендіргіш және беріліс құрылғыларының функцияларын беру [5].

Пайдалану шарттары:

- қосу уақытында үзіліссіз ұзақ жұмыс режимі;



- сирек іске қосулар және айнарудың өзгеріссіз бағыты;
- жүктеме астындағы қозғалыс кезінде статикалық моменттерді еңсеру (кенеттен авариялық тоқтағаннан кейін);
- қоршаған ортаның әсері (температураның өзгеруі, агрессивті орта, шаңдану).

Электр жетегіне қойылатын талаптар:

- жоғары іске қосу моменті ( $M_{п}/M_{ном} = 1,6... 1,8$ );
- бірқалыпты іске қосу және тежеу (аса жоғары динамикалық жүктемелердің тербелісін болдырмау үшін);
- 1:2 диапазонындағы жылдамдықты шамалы реттеу (жұмыс қарқынын өзгерту үшін);
- электр жетектерінің келісілген айналымы (бірнеше жетектер үшін).

Флотациялық машинаның араластырғышын жетектейтін негізгі элемент ретінде МТФ511-8 маркалы асинхронды электрқозғалтқыш таңдалды. Бұл қозғалтқыштың қуаты 30 кВт, айналу жиілігі 750 айн/мин, ал пайдалы әрекет коэффициенті (ПӘК) 87 % құрайды. Қозғалтқыштың номиналды тогы 117 ампер, ал іске қосылу тогы 702 ампер шамасында. Айналысу моменті 390 Н·м құрап, араластырғыштың тұрақты және бірқалыпты жұмысын қамтамасыз етеді. Таңдалған қозғалтқыш өндірістік жағдайларда ұзақ мерзім жұмыс істеуге бейімделген, және жоғары температура, діріл мен жүктеме өзгерістеріне төзімді. Бұл модель көбінесе химиялық, байыту, металлургия салаларындағы ауыр режимдегі машиналарға орнатылады, сондықтан флотациялық машинада қолдануға толықтай жарамды. Энергия тиімділігі жоғары болғандықтан, МТФ511-8 қозғалтқышы жылына шамамен 5–7 % көлемінде энергия үнемдеуге мүмкіндік береді. Егер флотациялық аппарат тәулігіне 20 сағат, жылына 300 күн жұмыс істесе, онда қозғалтқыштың жылдық энергия тұтынуы шамамен 180 000 кВт·сағ құрайды. Бұл жағдайда ПӘК есебінен жылына 9 000 кВт·сағ энергия үнемделеді, бұл қаржылай түрде орта есеппен 225 000 теңге үнем береді. Сонымен қатар, қозғалтқыш жиілік түрлендіргішпен бірге жұмыс істегенде, іске қосылу саны азайып, орамаларға түсетін термиялық және тоқтық жүктеме төмендейді. Бұл қозғалтқыштың қызмет ету мерзімін орта есеппен 40–50 % ұзартады және күтімге кететін шығындарды азайтады. Таңдалған модель дірілсіз, бірқалыпты жұмыс істейді, және оның қосымша салқындату жүйесін қажет етпейтіні өндірістегі қарапайымдылық пен сенімділікті арттырады. Осы артықшылықтардың жиынтығы бұл қозғалтқышты флотациялық машинаның араластырғыш жетегі ретінде қолдануға ең тиімді және орынды шешім етеді.

Флотациялық машинаның араластырғыш жетегін басқаруда жиілік түрлендіргіш қолдану заманауи өндірістік талаптарға толық сәйкес келеді. Бұл құрылғы электр қозғалтқышының айналу жиілігін нақты реттеуге, іске қосу және тежеу процестерін жұмсақ жүргізуге, энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді. Жоба аясында қуаты 30 кВт болатын электр қозғалтқышына сәйкес АВВ АС5580 маркалы жиілік түрлендіргіші таңдалды. Бұл түрлендіргіш векторлық және скалярлық басқару режимдерін қолдайды, ал кіріс кернеуі 380 В деңгейінде. Таңдалған модельдің басты ерекшелігі – энергияны тиімді пайдалану және



сенімді жұмыс істеу қабілеті. Қозғалтқыштың айналу жылдамдығын нақты басқару арқылы араластыру процесін оңтайландыруға болады, бұл әсіресе пульпа тығыздығы немесе реагент концентрациясы өзгерген жағдайда өте маңызды. Жиілік түрлендіргіш іске қосу кезіндегі ток соққыларын жояды, бұл электр жүйесіне түсетін жүктемені азайтады және қозғалтқыштың орамаларын қорғауға көмектеседі. Сонымен қатар, ол тежегіш функциясына ие, бұл өндірісте авариялық тоқтаулар кезінде қауіпсіздік деңгейін арттырады. ABB ACS580 моделі Modbus RTU, Ethernet және Bluetooth интерфейстері арқылы басқаруға болады, бұл оны автоматтандырылған жүйелермен оңай біріктіруге мүмкіндік береді. Түрлендіргіштің көмегімен қозғалтқыштың нақты жұмыс режиміне сәйкес жиілігі реттеліп отырады, бұл энергия тұтынуды орта есеппен 25–30 % дейін төмендетеді. Егер жүйе жылына 180 000 кВт·сағ энергия тұтынатын болса, онда жиілік түрлендіргіштің арқасында шамамен 45 000–54 000 кВт·сағ үнемдеуге болады. Бұл қаржылай тұрғыдан есептегенде жылына 1 125 000–1 350 000 теңге шамасында үнем береді. Сонымен қатар, іске қосылу саны мен уақыт қысқарып, қозғалтқыштың қызмет ету мерзімі 1,5–2 есе ұзарады. ABB түрлендіргішінің қарапайым интерфейсі, сенімді қорғаныс жүйелері және кең басқару мүмкіндіктері флотациялық машинаның жұмыс тұрақтылығын арттырып, өндіріс процесін икемді басқаруға мүмкіндік береді. Таңдалған түрлендіргіш – энергияны үнемдеудің, техникалық қызметті оңтайландырудың және жалпы жүйенің тиімділігін арттырудың сенімді құралы болып табылады.

### **3.2 Электр жетегінің басқару жүйесін таңдау**

Жетектері бірдей қозғалтқыштардан тұратын флотациялық машинаның бір секциясының жобаланатын электр жетегін тең жылдамдықпен айнаруды талап ететін ретінде ұсынамыз. Бұл жағдайда электр білігі деп аталатын асинхронды қозғалтқыштардың роторлары арасындағы электр байланысы қолданылады [6].

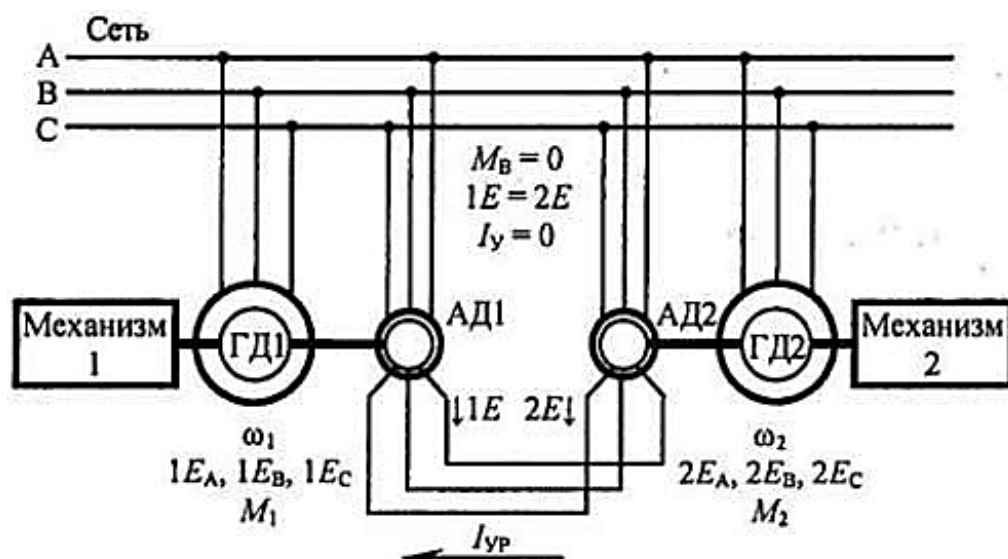
«Электр білігі» қағидаты бойынша іске асырылған бірнеше арнайы схемалар бар, мысалы қосалқы АҚ бар схемасы 3.1-суретте көрсетілген.

Схеманың құрамына тиісінше «механизм 1» және «механизм 2» қозғалысқа келтіретін екі басты қозғалтқыш (ГД1, ГД2) кіреді.

Олардың сипаттамалары бірдей.

Әрбір «ГД1» және «ГД2» біліктерінде фазалық роторлары электрлік жалғанған «АД1» және «АД2» қосалқы асинхронды қозғалтқыштары орнатылған. Көмекші электр қозғалтқыштарының қуаты басты электр қозғалтқыштарының қуатынан едәуір аз.



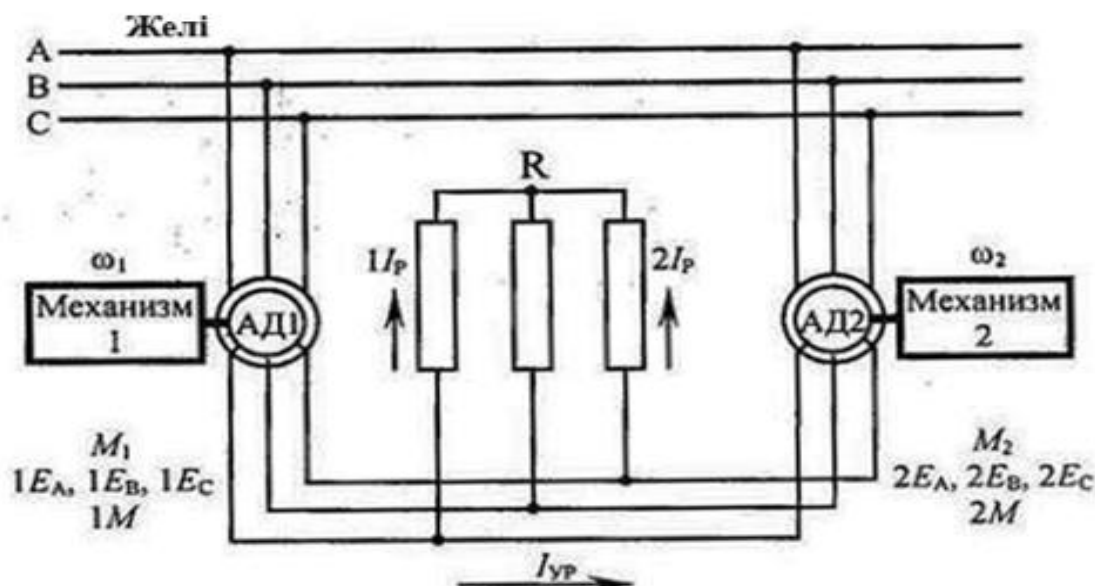


3.1-сурет – Қосалқы АҚ бар «электр білігінің» схемасы

ГД статорларының орамалары тікелей сызығы – фазалары бар, ал көмекші – кері сызығы бар желіге қосылған. Механизмдерге жүктемелер тең болмаған кезде 1 және 2- роторлардың айналу жылдамдығы ерекшеленеді, ЭДС пайда болады, оның әсерінен 1 және 2- деңгейленгенге дейін себеп болған (Ленц заңы) себептерге қарсы әрекет ететін моменттерін тудыратын теңестірілген токтар пайда болады.

Артықшылықтары: жоғары тиімділік және қатаң механикалық сипаттамасы.

Резисторлары бар «электр білігінің» сызбасы 3.2-суретте көрсетілген.



3.2-сурет – Резисторлары бар «электр білігінің» схемасы



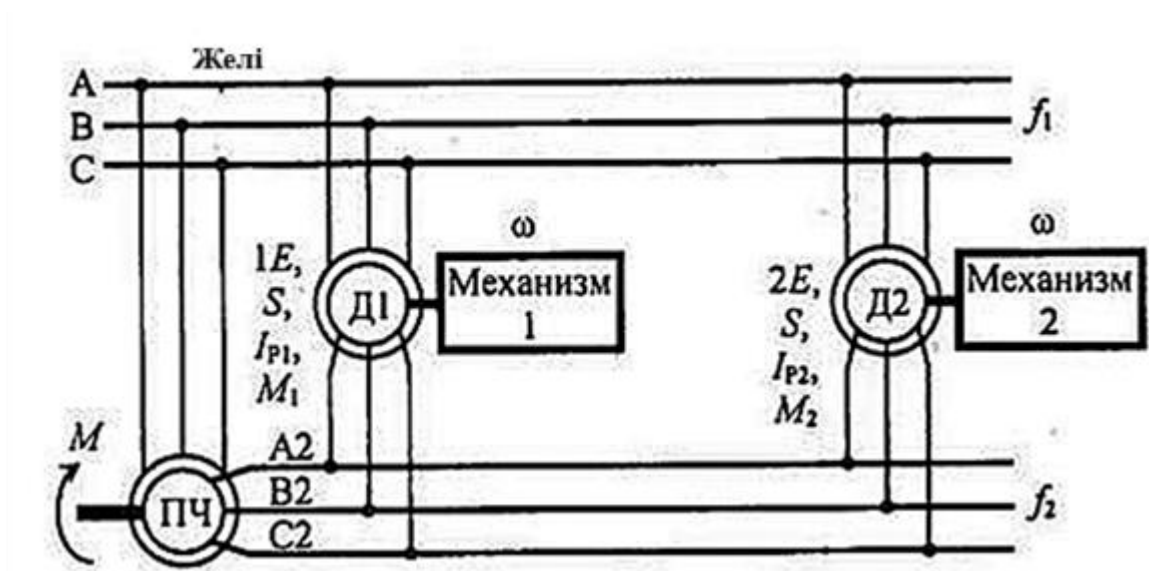
Схеманың құрамына фазалық роторы бар екі жетекті асинхронды қозғалтқыш (АД1, АД2) және резисторлар (R) кіреді. Схема көмекші АҚ схемасына ұқсас жұмыс істейді.

Схеманың кемшіліктері (алдыңғымен салыстырғанда): тиімділігі аз, себебі  $M_1$  және  $M_2$  көмекші моменттері едәуір аз; ротор тізбегінде резисторлардың болуы сипаттамалардың қаттылығын азайтады және электр энергиясының қосымша шығынын туғызады.

Қадір-қасиеті (алдыңғымен салыстырғанда): схемасы қарапайым, көлемі бойынша арзан және кіші.

Қосарлы қоректендірудің «электр білігінің» схемасы 3.3-суретте көрсетілген.

Схеманың құрамына Д1, Д2 фазалық роторлы екі жетекті қозғалтқыш және жиілік түрлендіргіші (ПЧ) кіреді. ПЧ, Д1 және Д2 статорлық орамалары желіге қосылған, ал роторлық орамалар электрлік байланысқан.



3.3-сурет – Қосарлы қоректендірудің «электр білігінің» схемасы

Айналған кезде роторлардағы жиілік сырғанауға пропорционалды болады, барлық машиналардың айналу жылдамдығы  $\omega = \frac{2\pi}{p}(f_1 - f_2)$  бірдей және тең болады. Бұл механизмдердегі тең жүктемелер кезінде әділ.

Бір механизмнің жүктемесі ұлғайған кезде (мысалы, біріншісі) оның сырғанауы ұлғаяды, ал жылдамдығы төмендейді. Жаңа сырғанау кезде Д1 роторының ЭҚК-і ұлғаяды, бұл ротор тогының, демек оның моментінің де ұлғаюына әкеледі. Жүйе бастапқы қалпына келеді және келісілген түрде жұмыс істейтін болады.

Жұмыс істеп тұрған механизмдердің жылдамдығын өзгерту шегін кеңейту үшін жиілікті өзгертуге арналған құрылғыны (мысалы, механикалық вариатор) орнатуға болады. Бұл АҚ жылдамдығын өзгертпей тетіктердің келісілген жылдамдығының шамасын белгілеуге (таңдауға) мүмкіндік береді.



Қаралған схемаларды келісілген жұмыс істейтін механизмдердің кез келген саны үшін қолдануға болады, схеманың жұмыс істеу принципі өзгермейді.

Техникалық прогресс барысымен өнеркәсіпте және тұрмыста электр энергиясын тұтынудың өсуіне және онымен байланысты жаңа энергетикалық қуаттарды салу мен пайдалануға берудің қажеттілігіне ғана емес, сонымен бірге табиғи ресурстардың әлемдік қорларының шектеулілігіне байланысты энергия үнемдеудің жаһандық проблемасы барған сайын өткір болып отыр.

Берілген статикалық көрсеткіштерді іске асыратын асинхронды электр жетегімен АБЖ құру практикасында оның  $U/f=\text{const}$  түріндегі жиілік функциясында статор кернеуінің амплитудасын басқарудың қарапайым пропорционалды заңы ең көп таралған. Басқарудың мұндай заңы кезінде АҚ статорының таралу индуктивтілігі мен белсенді кедергісінің әсері салдарынан айналу жиілігі мен жүктеменің өзгерістерінің кең ауқымында ЭЖ қанағаттанарлық механикалық және энергетикалық сипаттамаларын бір мезгілде қамтамасыз ету мүмкін емес.

Қазіргі уақытта асинхронды ЭЖ векторлық басқару қағидаты неғұрлым перспективалы болып табылады, ол АҚ-н ток ілінісу векторларының бірі бойынша бағдарланған координаталық жүйедегі екі арналы объект ретінде қарауға және машинаның жай-күйі мен электр магниттік моментін басқару үшін сәйкесінше статор токтарының векторларының бойлық (магниттеуші) және көлденең (моменттеуші) құрауыштарына тәуелсіз әсер етуге мүмкіндік береді.

Жалпы өнеркәсіптік ЭЖ күштік бөлігін және ЖТ басқару алгоритмдерін дамыту қоректендіргіш желісі бар электр жетектерінің электромагниттік тұйықталуын жақсарту бағытында жүруде. Жақын арада қуаттардың орташа диапазонындағы ЭЖ үшін энергияны сапалы тұтыну және рекуперациялау талаптары сөзсіз болады деп күтуге болады.

Неғұрлым мықты позицияларды басқару объектісі ретінде қозғалтқыштың параметрлерін автоматты түрде анықтауға және ЭЖ-нің жай-күйін бейімделген ағымдағы сәйкестендіруге негізделген «бергішсіз» жүйелер жеңіп алады.

Жалпы өнеркәсіптік электр жетектерін басқарудың сандық алгоритмдерін құру кезінде өлшемдердің өзгеруіне сезімтал емес АБЖ-ді сәйкестендірудің, бейімдеудің және синтездеудің қазіргі заманғы әдістері кеңінен қолданылады [8].

Бұл ретте бақыланатын параметр ретінде мынадай шамалардың бірі қабылдануы мүмкін:

- қойыртпақ ағынының қарқындылығы;
- статикалық моментінің кедергісі  $M_c$ ;
- қозғалтқыштың моменті  $M_{дв}$ .

Жиілігі реттелетін жетекті таңдау ерекшеліктері.

Флотомашиналар (ФМ) үшін жиілікпен реттелетін жетекті таңдаудың бірқатар ерекшеліктері бар. Автоматтандырылған электр жетегі объектілерінің осы түріне неғұрлым тән нысандарын көрсетеміз.



Еске салайық, ФМ жетектерінің жылдамдық ауқымы аз және жеткілікті түрде қарапайым және кең таралған – вольт/жиілік басқару әдісімен қол жеткізілуі мүмкін.

Вольт/жиілік басқару әдісі кезінде қазіргі заманғы асинхронды электр жетектерін реттеу ауқымы әдетте 1:40 құрайды, бұл ФМ үшін жеткілікті болып табылады.

Бұдан басқа, вольт/жиілікті басқару  $U/f=\text{const}$  заңын сақтаған кезде жүктеменің осы түрі үшін қажетті сыни моменттің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Алайда, төменгі (500 айн/мин) және жоғарғы (1900 айн/мин) жылдамдықтардың орналасуы асинхронды машиналардың стандартты қатары үшін біршама «қолайсыз» болып табылады.

Осы қолдануға неғұрлым жақын 1500 және 3000 айн/мин синхронды жылдамдықтағы асинхронды қозғалтқыштар болып табылады.

Олардың біріншісі ауқымның жоғарғы бөлігінде статор тогының жиілігін едәуір арттырумен (номиналға қатысты), ал екіншісі ауқымның төменгі бөлігінде едәуір төмендеумен жұмыс істейтін болады.

Екі нұсқада да момент бойынша қор құру талап етіледі. Бірінші жағдайда бұл бастапқы кернеудің тұрақтылығы кезінде жиіліктің ұлғаюы кезінде магниттік ағынның, демек, қозғалтқыштың ең жоғары моментінің азаюымен түсіндіріледі.

Бұл ретте өздігінен желдетілетін қозғалтқыштан жылу беру тиімдірек болады, ал ПЭК және  $\cos \varphi$  тек шамалы ғана өзгерістерге ұшырайды. Керісінше, ауқымның төменгі жиіліктерінде қозғалтқыштарды меншікті желдеткішпен салқындату толық моментімен ұзақ жұмыс істеу үшін жеткіліксіз болады.

Сондай-ақ осындай кластағы механизмдер іске қосу  $k_s$  және ең жоғары км сәті бойынша жеткілікті жоғары еселік коэффициенттерін талап ететінін есте сақтау қажет.

Нақты орындалуына байланысты үлгілік қолданыстарда  $k_{\text{пуск}}=(1...3.5)$  және  $k_m=(2...3.5)$ . Стандартты орындалған асинхронды қысқа тұйықталған қозғалтқыштардың өздігінен іске қосу қасиеттері және қайта тиеу қабілеті соншалықты жоғары емес.

Тәжірибеде бұған қозғалтқыштың қуатын ұлғайту және жиілікті түрлендіргіш параметрлерін баптау арқылы қол жеткізіледі.

Тәжірибеде бұған қозғалтқыштың қуатын ұлғайту және жиілікті түрлендіргіш параметрлерін баптау арқылы қол жеткізіледі.

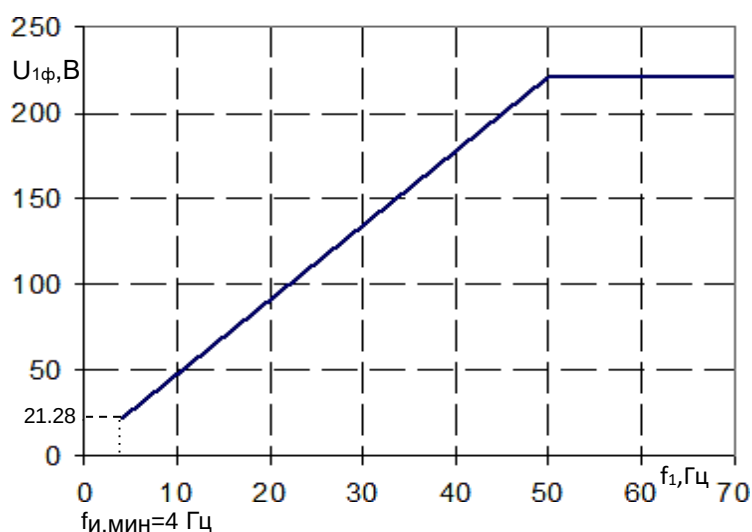
Бұл параметрлерге мыналар жатады:

- моментін өтеу функциясы;
- вольт/жиілік сипаттамасы;
- жылдамдату/тежеу уақыты.

Моментін өтеу функциясы қозғалтқыштың төмен жылдамдықта жұмыс істеуі мен басталуы кезінде шығу моментін ұлғайтуға мүмкіндік береді. Оны орындау кезінде белгіленген өтемақы коэффициентіне сәйкес инвертордың шығу кернеуін түзету жүзеге асырылады.

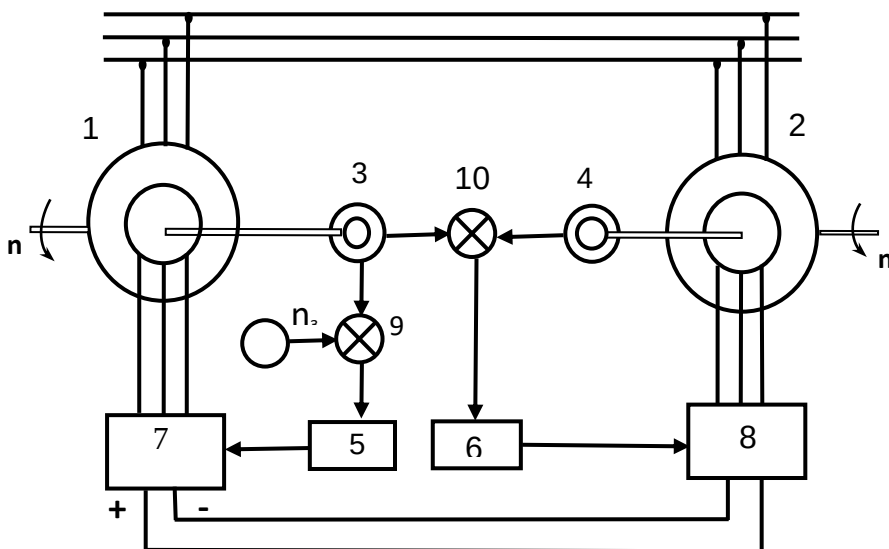


Вольт/жиілік сипаттамасының параметрлерін анықтай отырып, төменгі жиіліктерге кернеулердің мәнін 3.4-суретте көрсетілгендей сызықтық пропорционалды тәуелділіктен жоғары етіп қояды. Сипаттаманың мұндай түрі үлкен бастау моментін талап ететін жүктемелерге арналған.



3.4-сурет – Вольт/жиілік сипаттамасы

Біздің технологиялық процесте екі асинхронды қозғалтқыш және бір типтік өлшемді 1, 2 пайдаланылады, бірақ әртүрлі режимде жұмыс істейді. Бірінші қозғалтқыш 1 асинхронды-вентильді каскадта (АВК), ал екінші қозғалтқыш 2 қосарлы қоректендіру машинасы (МДП) ретінде жұмыс істейді, өйткені 2 ротор жағынан да кернеумен қоректенеді.



1,2-асинхронды қозғалтқыштар; 3,4-тахогенераторлар; 5,6-реттегіштер; 7-басқарылатын түзеткіш; 8-ТПЧ; 9,10 салыстыру элементтері

3.5-сурет – ФМ екі қозғалтқышты электр жетегінің функционалдық схемасы



### 3.3 АҚ электр механикалық және механикалық сипаттамалары

Вентильді каскад үшін  $I_d(s)$  тәуелділігі (электр механикалық сипаттама) мыналармен анықталады:

$$I_d = \frac{E_{d0p}s - E_{d0u} \cos \beta - 3\Delta U}{\frac{m x_{d1}}{2\pi} s + \frac{m_2 x_{d2}}{4\pi} + 2r_{d1} + \frac{r_{d2}}{2}}. \quad (3.1)$$

алайда жеңілдетілген түрінде:

$$I_d = \frac{E_{d0p}(s - \varepsilon \cos \beta + \lambda)}{R_{\varepsilon s}},$$

немесе

$$I_d = \frac{E_{d0p}}{R_{\varepsilon s}}(s - s_0), \quad (3.2)$$

мұндағы  $R_{\varepsilon s} = \frac{m x_{d1}}{2\pi} s + \frac{m_2 x_{d2}}{4\pi} + 2r_{d1} + \frac{r_{d2}}{2}$ ;

$s_0 = \varepsilon \cos \beta + \lambda$  – идеалды б.ж. үздіксіз ток режимі үшін сырғанауы ( $I_d = 0$  кезінде);

$$\varepsilon = \frac{E_{d0u}}{E_{d0p}} = \frac{\sqrt{3}E_{2\phi.m}}{2E_{2\kappa}}; \quad (3.3)$$

$$\varepsilon = \frac{E_{d0u}}{E_{d0p}} = \frac{\sqrt{3}E_{2\phi.m}}{2E_{2\kappa}} = \frac{243,325}{486} = 0,5B;$$

$$\lambda = \frac{3\Delta U}{E_{d0p}} = \frac{3 \cdot 20}{486} = 0,123. \quad (3.4)$$

$I_d$  өрнегін алмастырғанда тәуелділік (механикалық сипаттама) алынады:

$$M = \frac{E_{d0p}^2 R_{\varepsilon s0}}{w_0 R_{\varepsilon s}^2}(s - s_0), \quad (3.5)$$

мұндағы  $R_{\varepsilon s0} = \frac{m x_{d1}}{2\pi} s_0 + \frac{m_2 x_{d2}}{4\pi} + 2r_{d1} + \frac{r_{d2}}{2}$ .

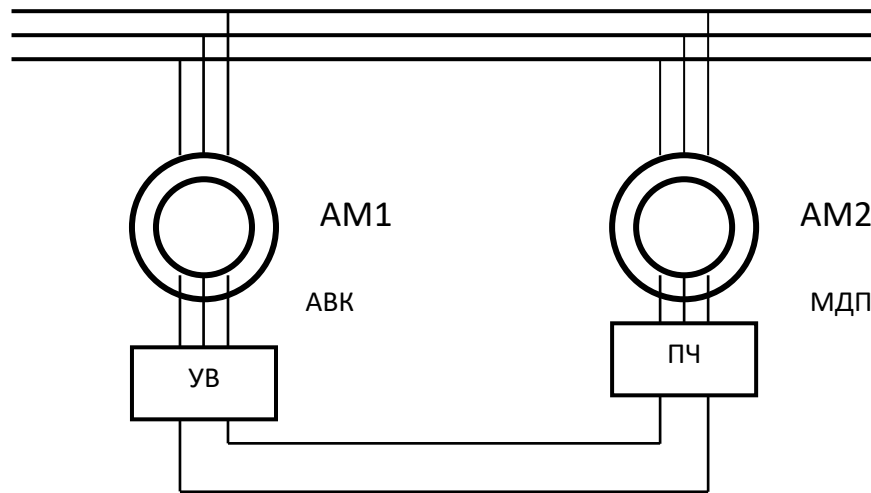
(3.5) формуласы вентильді каскад схемасында АҚ механикалық сипаттамасы үшін жақындатылған талдамалық көрініс береді, өйткені мыналарды ескермейді:

- 1) жоғары ток гармоникасынан моменттерді;
- 2) үзік токтар саласындағы механикалық сипаттамалар нысанының бұрмалануы.



Қосарлы қоректендіру машинасы режиміндегі асинхронды қозғалтқыш параметрлерін есептеу және оның сипаттамаларын құруын қарастырайық.

Қосарланған қоректендіру машинасы (3.6-сурет) фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыш сияқты орындалған.



3.6-сурет – МДП базасында келісілген айналыстағы екі қозғалтқышты электр жетегінің функционалдық сұлбасы

Статордың орамасы қоректендіру желісіне тікелей, ал ротордың орамасы реттелетін жиілік түрлендіргіші (ПЧ) арқылы қосылады.

Статор мен ротордың МКК векторлары өзара қозғалмауы үшін ПЧ  $f_2 = f_{1s}$  сырғу жиілігі кезінде ротордың орамасын  $I_2$  тогымен қоректендіруі тиіс.  $U_2$  қосымша кернеу тізбегіне енгізу  $p_2$  айналу жиілігін  $p_1$  жиілігінен төмен, сондай-ақ жоғары энергия шығындарынсыз кең шектерде бірқалыпты реттеуге, сондай-ақ қозғалтқыштың  $\cos\varphi_1$  қуат коэффициентін өзгертуге мүмкіндік береді. Мұндай машинамен реттеу кезінде ПЧ жиілік түрлендіргішінің шығуында  $f_2$  жиілігі мен  $U_2$  кернеуі өзгереді.

МДП алмастыру сұлбасын қарастыра отырып,  $I_d$  тогын табамыз:

$$E_{d0p} s = E_{d0u} \cos \beta + 3\Delta U + I_d \cdot \left( \frac{m x_{d1}}{2\pi} s + \frac{m_2 x_{d2}}{4\pi} + 2r_{d1} + \frac{r_{d2}}{2} \right), \quad (3.6)$$

мұндағы  $\Delta U$  – бір вентильдағы кернеу шығыны;

$I_d$  – түзетілген ток;

$\frac{m x_{d1} s}{2\pi} I_d$  – инвертордың басқарылмайтын вентильдерінің анодтарын жабудан кернеудің түсуі;

$\frac{m x_{d2}}{4\pi} I_d$  – инвертордың басқарылатын вентильдерінің анодтарының жабылуынан кернеудің түсуі;

$x_{d1}$  –  $s=1$  кезінде роторды орауға келтірілген бірінші асинхронды қозғалтқыш фазасының реактивтілігі;

$x_{d2}$  – екінші асинхронды қозғалтқыш фазасының реактивтілігі;



$r_{d1}$  – қозғалтқыштың роторлық тізбегіне келтірілген бірінші қозғалтқыш фазасының белсенді кедергісі;

$r_{d2}$  – екінші қозғалтқыш фазасының белсенді кедергісі;

$\beta$  – инверторды реттеу бұрышы.

Қосарлы қоректендірудің асинхронды қозғалтқышының механикалық сипаттамасын (3.7) негізінде алуға болады:

$$M = [2M_{\max} / (s_{kp} / s + s / s_{kp})] [1 - (U_{2*}' / s)(\cos \delta + (s / s_{kp}) \sin \delta)] \quad (3.7)$$

немесе

$$M = M_A [1 - (U_{2*}' / s)(\cos \delta + \operatorname{tg} \phi_2 \sin \delta)], \quad (3.8)$$

мұндағы  $M_A$  – ротордың тұйық орамасы кезінде жұмыс істейтін асинхронды қозғалтқыш үшін момент;

$\delta$  –  $U_2$  және  $E_2$  векторлары арасындағы бұрыш.

Инвертордағы және тиристорлық жетектегі тиристорларды есептейміз.

Тиристордың ашылу бұрышын табсақ, ол реттеудің қандай шегі алынғанына байланысты болады.

$$U_n = 2,34 \cdot U_a \cdot \cos \alpha \quad (3.9)$$

Қоректендіруші кернеу

$$U_n = U_{1\phi} \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} \approx 311 \text{ В.}$$

$f=50$  Гц үшін:

$$\text{Бұдан } U_{1\phi}=311/2,34 = 133 \text{ В} \Rightarrow K_{\text{тр}}=220/133=1,65.$$

$$\cos \alpha = \frac{U_n}{2,34 \cdot U_{\phi}} = \frac{311}{2,34 \cdot 133} \approx 1.$$

Осыдан  $\alpha$  бұрышын табамыз:  $\alpha=0$ .

$f=40$  Гц үшін:

$$U_n = 176 \cdot \sqrt{2} = 248,9 \text{ В};$$

$$\cos \alpha = \frac{U_n}{2,34 \cdot U_{\phi}} = \frac{248,9}{2,34 \cdot 133} \approx 0,79976;$$

$\alpha=37^\circ$ .

$f=30$  Гц үшін:

$$U_n = 132 \cdot \sqrt{2} = 186,676 \text{ В};$$

$$\cos \alpha = \frac{U_n}{2,34 \cdot U_{\phi}} = \frac{186,676}{2,34 \cdot 133} \approx 0,5998;$$

$\alpha=53^\circ$ .

$f=20$  Гц үшін:

$$U_n = 88 \cdot \sqrt{2} = 124,45 \text{ В};$$



$$\cos \alpha = \frac{U_n}{2,34 \cdot U_\phi} = \frac{124.45}{2,34 \cdot 133} \approx 0.39988;$$

$\alpha=66^\circ$ ;

$f=10$  Гц үшін:

$$U_n = 44 \cdot \sqrt{2} = 62.225B;$$

$$\cos \alpha = \frac{U_n}{2,34 \cdot U_\phi} = \frac{62.225}{2,34 \cdot 133} \approx 0.1999;$$

$\alpha=78.5^\circ$ .

Тиристордың ашылу бұрышының ауқымы:  $0 \div 78.5^\circ$ .

Тиристорлық жетектің қуаты:

$$P_{m.n} = \frac{P_{\partial\partial}}{\eta_{инв}} = \frac{30000}{0,97} = 31кВт.$$

Тиристорлық жетек тогы:

$$I_{m.n} = \frac{P_{m.n}}{U_n} = \frac{31}{311} \approx 99,7 A.$$

Енді кернеу мен ток бойынша тиристорды таңдаймыз:

Тиристордың түрі T242-80.

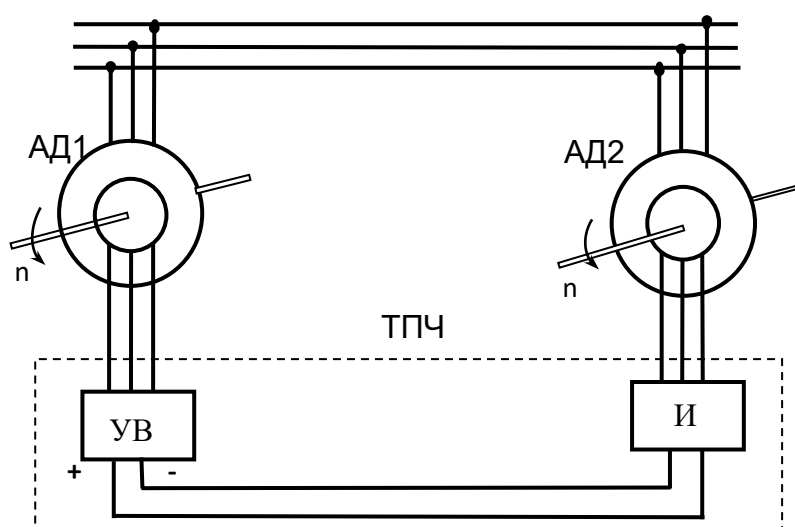
Тиристордың пайдалану деректері:  $U_{т.п}=100 \div 1200$  В,  $I_{max.}=125.6A$   $f=50$ Гц үшін.



## 4 Электр жетегін имитациялық модельдеу

### 4.1 Екі қозғалтқышты электр жетегін компьютерлік модельдеу

4.1-суретте екі асинхрондық қозғалтқыштың каскадты қосылуы кезіндегі екі қозғалтқышты электр жетегінің функционалдық схемасы берілген, мұнда асинхрондық қозғалтқыштардың роторлық орамалары бірінші қозғалтқыш АД1 роторының тізбегіндегі басқарылатын түзеткіш (УВ) және жалпы алғанда тиристорлық ретінде белгіленген жиілік түрлендіргіші (ТПЧ) екінші қозғалтқыш АД2 роторының тізбегіндегі инвертор (И) арқылы қосылған.



4.1-сурет – Екі қозғалтқышты электр жетегінің функционалдық схемасы

Мұндай жүйенің ерекшелігі екінші қозғалтқыш роторының тізбегіндегі жиілікті тиристорлық түрлендіргіш үшін қоректендіру көзі ретінде бірінші асинхрондық қозғалтқыштың сырғу энергиясын пайдалану есебінен жоғары энергетикалық көрсеткіштер болып табылады. Бұл ретте екі қозғалтқышты электр жетегінің пайдалы әсер ету коэффициенті едәуір жоғарылайды, ал жүйенің ПӘК қозғалтқыштарының белгіленген қуаты ұлғайған кезде одан да жоғары болады.

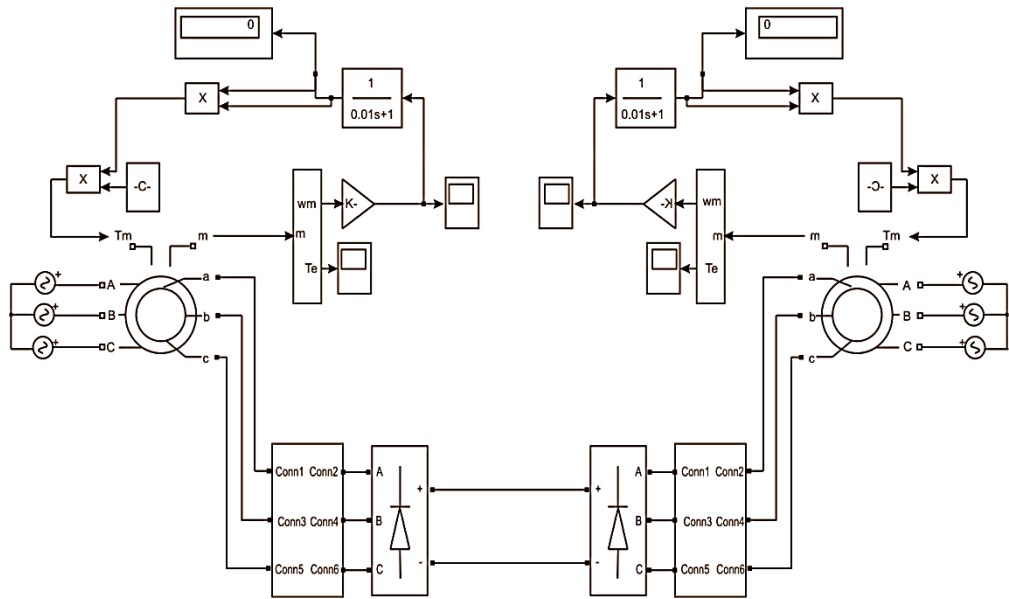
ФМ механизмдері үшін келісілген айналымның электр механикалық жүйесінің динамикалық қасиеттерін зерттеу үшін фазалық роторы бар екі асинхрондық қозғалтқыштан тұратын келісілген айнарудың екі қозғалтқышты электр жетегіне компьютерлік модельдеу жүргіземіз. Олардың біреуі асинхрондық-вентильді каскадтың (АВК) схемасы бойынша, ал екіншісі қос қоректендіру машинасының схемасы бойынша қосылған [9].

4.2-суретте. 4.1-суретте көрсетілген функционалдық схемаға сәйкес келетін екі қозғалтқышты электр жетегінің имитациялық моделі бейнеленген.

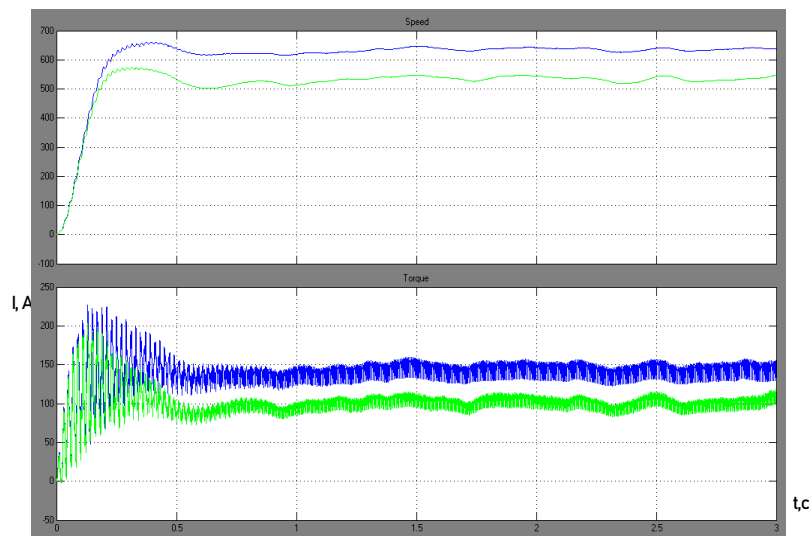
Екі қозғалтқышты электр жетегін компьютерлік модельдеу MatLab жүйесінде жүргізілді. Екі қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық



сипаттамалары әртүрлі мәндерде – түзету тобының тиристорларын ашу бұрыштарында 4.3 және 4.4-суреттерде көрсетілген.



4.2-сурет – MatLab ортасында екі асинхронды қозғалтқышпен реттеу схемасының имитациялық моделі



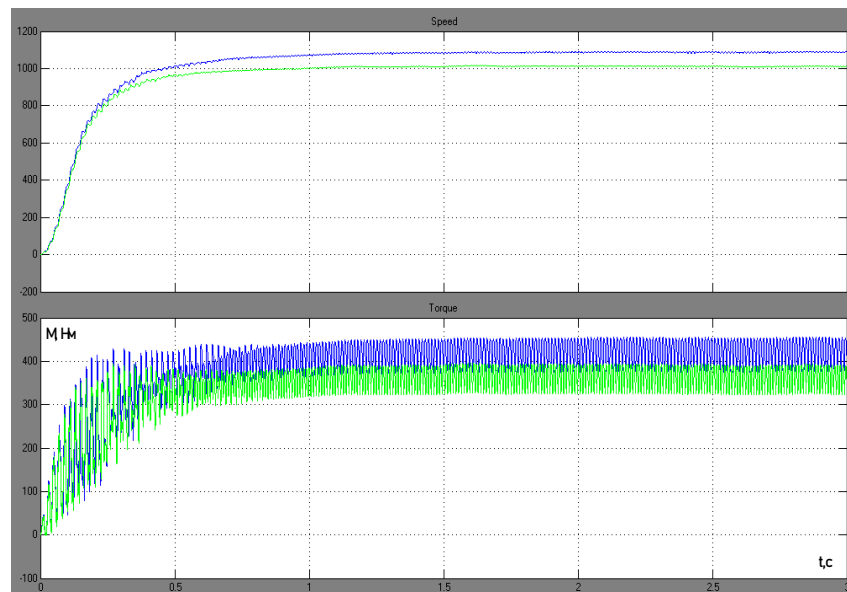
бірінші қозғалтқыштың сипаттамалары - көк сызық; екінші қозғалтқыштың сипаттамалары – жасыл сызық

4.3-сурет – Екі қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары ( $\beta = 30^\circ$ )

Динамикалық сипаттамаларды талдау қосарлы қоректендіру схемасы бойынша қосылған екінші қозғалтқыштың сипаттамалары вентильді каскад схемасы бойынша қосылған бірінші қозғалтқыштың сипаттамаларынан ерекшеленетінін көрсетеді, өйткені екінші асинхронды қозғалтқыштың роторлық орамаларына берілетін сырғу қуаты бір қозғалтқыштың



сипаттамалары сияқты сипаттамаларды алу үшін жеткіліксіз, бірақ екі қозғалтқыштың алмастыру схемасының параметрлері бір-бірінен ерекшеленбейді.



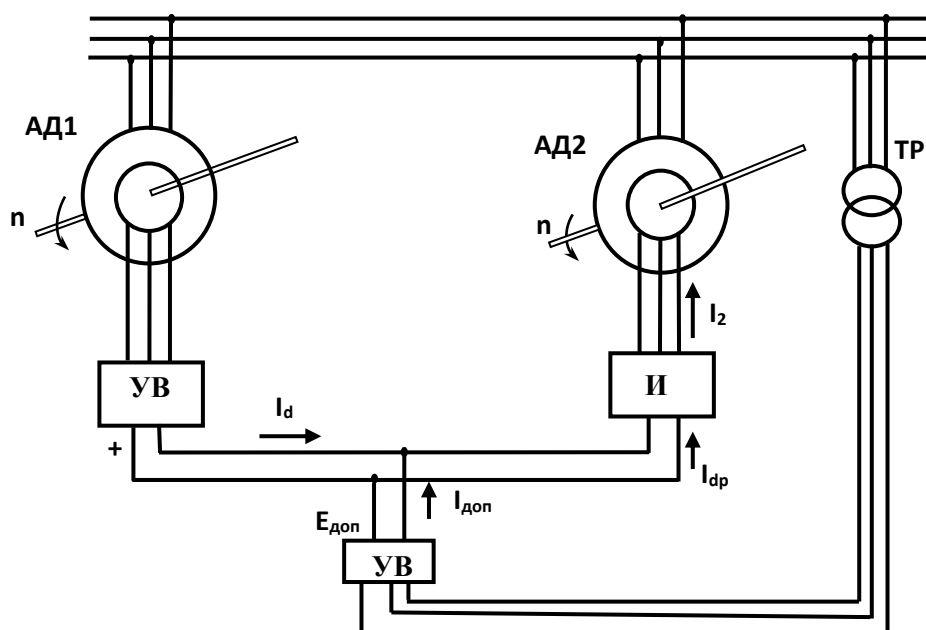
бірінші қозғалтқыштың сипаттамалары - көк сызық; екінші қозғалтқыштың сипаттамалары – жасыл сызық

#### 4.4-сурет – Екі қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары ( $\beta = 60^\circ$ )

Сондықтан қозғалтқыш роторының түзету тогының тізбегінде қосымша қоректендіру көзін көздеу қажет.

Екі асинхронды қозғалтқыш роторларының түзету тогы тізбегіндегі қосымша қорек көзі бар екі қозғалтқышты электр жетегінің функционалдық схемасы 4.5-суретте көрсетілген.





4.5-сурет – Роторлардың түзету тогы тізбегіндегі қосымша қорек көзі бар екі қозғалтқышты электр жетегінің функционалдық схемасы

Онда екінші қозғалтқыш роторының орамаларындағы токтың мәнін айқындау кезінде мынадай шартқа сүйену қажет:

$$I_2 = k_i I_{dp} = k_i (I_d + I_{доп}) \leq I_{2ном}, \quad (4.1)$$

мұндағы  $I_{dp} = I_d + I_{доп}$  – қосымша көзі бар түзетілген ток;

$k_i = 0.815$  – үш фазалы көпір схемасындағы ток үшін коэффициент.

Қосымша ток:

$$I_{доп} = \frac{E_{доп}}{R_{доп}} = \frac{k_3 U_{tr} \cos \alpha}{R_{доп}} \quad (4.2)$$

мұндағы  $R_{доп} = \frac{3x_{p2} s_2}{\pi} + 2r_{p2} + r_{сд}$  – қосымша кедергі.

$U_{tr}$  анықтау үшін мынаны  $\cos \alpha = 1, \cos \beta = 0$  қабылдаймыз, онда:

$$I_{доп} = \frac{k_3 U_{tr}}{R_{доп}} \quad (4.3)$$

Қосымша қоректендіру көзі бар түзетілген токтың номиналды мәні мынадай шарттармен анықталады:

$$I_{dp} = k_i (I_{dном} + I_{доп}) \leq I_{2ном}, \quad (4.4)$$



мұндағы  $I_{2НОМ}$  – екінші қозғалтқыш роторының орамаларындағы номиналды ток.

Сонда:

$$\frac{k_3 U_{tr}}{R_{доп}} + I_{dНОМ} \leq \frac{I_{2НОМ}}{k_i} \quad (4.5)$$

мұнда  $I_{dНОМ} = I_d$ ,  $\cos \beta = 0$ ,  $s_1 = s_{1НОМ}$  кезінде:

$$I_{dНОМ} = \frac{\pi k_1 E_{p1}}{3x_{p1}} \cdot \frac{s_{1НОМ} - \lambda}{(s_{1НОМ}(1 + k_s q) + \rho)} \quad (4.6)$$

Мына жерден:

$$k_3 U_{tr} = \left( \frac{I_{2НОМ}}{k_i} - I_{dНОМ} \right) R_{доп}, \quad (4.7)$$

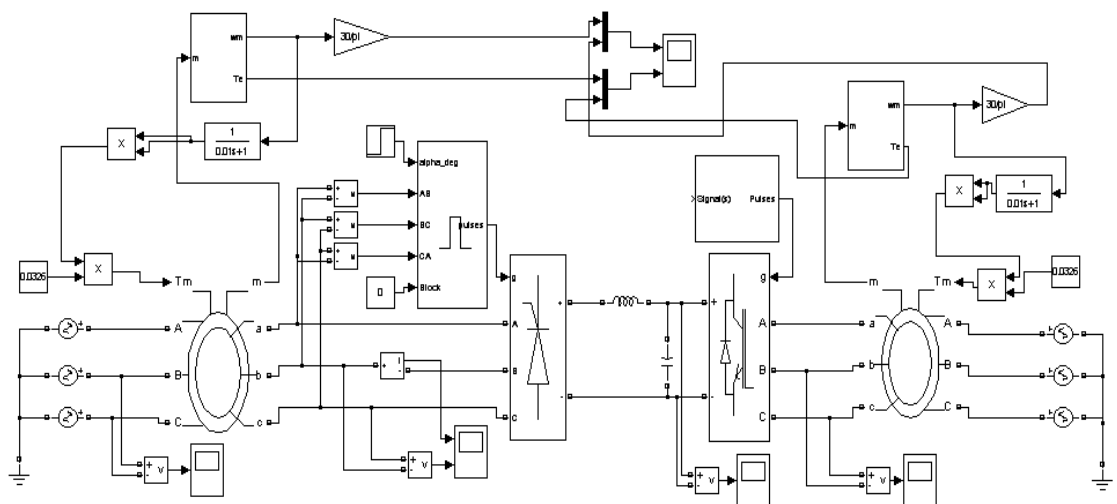
мұнда  $k_3 = 0.9$  үш фазалы көпір схемасы үшін.

Түрлендірілгеннен кейін:

$$U_{tr} = \frac{R_{доп}}{k_3} \left( \frac{I_{2НОМ}}{k_i} - I_{dНОМ} \right) \quad (4.8)$$

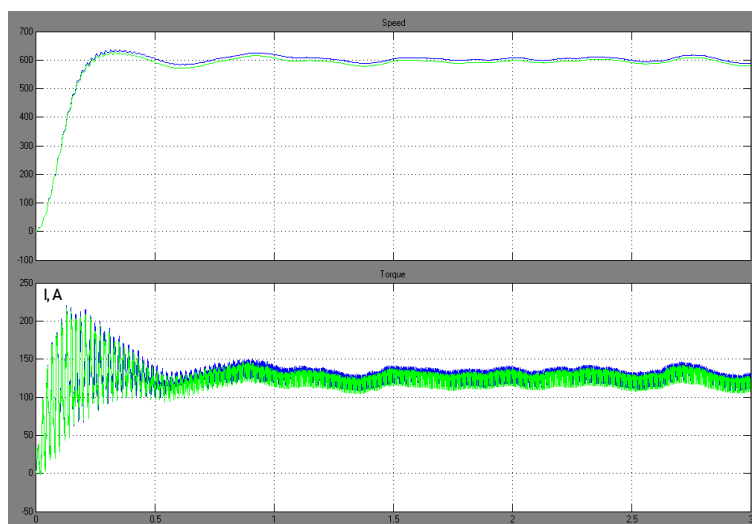
Осылайша, төмен сырғу мәндері кезінде ротордың түзету тогы тізбегіндегі каскадты схемада екі қозғалтқыштың синхронды айналуын қамтамасыз ету үшін жоғарыда келтірілген заң бойынша оның шығуында өзгеретін токтың қосымша қорек көзін көздеу қажет.

4.6-суретте 4.5 суретте көрсетілген функционалдық схемаға сәйкес келетін екі қозғалтқышты электр жетегінің имитациялық моделі бейнеленген.



4.6-сурет – Қосымша қоректендіру көзі бар MatLab ортасында екі асинхронды қозғалтқышпен реттеу схемасының имитациялық моделі

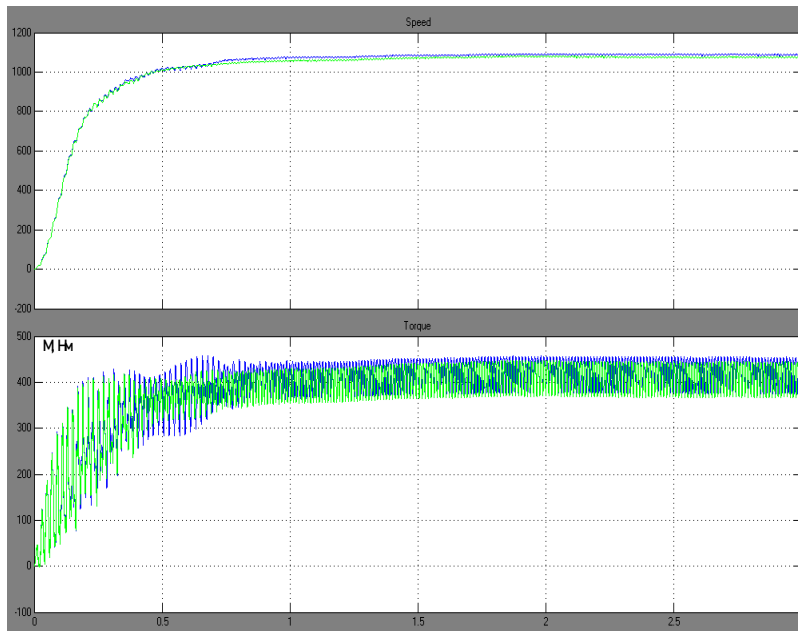




бірінші қозғалтқыштың сипаттамалары - көк сызық; екінші қозғалтқыштың сипаттамалары – жасыл сызық;

4.7-сурет – Екі қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары ( $\beta = 30^\circ$ )

Соңғы 4.7 және 4.8-суреттерден байқалғандай, ротордың түзету тогын тізбекке қосқаннан кейін қосымша қорек көзі екі қозғалтқыштың динамикалық сипаттамалары сәйкес келеді.



бірінші қозғалтқыштың сипаттамалары - көк сызық; екінші қозғалтқыштың сипаттамалары – жасыл сызық;

4.8-сурет – Екі қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары ( $\beta = 60^\circ$ )



Осылайша, екі қозғалтқыштың айналу жиілігін бір мезгілде реттеу үшін ротордың түзетілген тогының тізбегінде қосымша қоректендіру көзі бар екі қозғалтқышты электр жетегінің каскадты схемасын қолдана отырып, екі қозғалтқыштың бір номиналды параметрлерімен ғана емес, сонымен қатар бір-бірінен қуаты және синхронды айналу жиілігі бойынша ерекшеленетін келісілген айналуын қамтамасыз етуге болады.

Каскадты схема бойынша екі қозғалтқышты электр жетегі білігінің келісілген айналымының осы нұсқасының негізгі артықшылықтары машиналардың қуат коэффициентін реттеу мүмкіндігі болып табылады.

Бұдан басқа, ТПЧ қуаты төмендейді, ол басқару тізбегіне көшіріледі және сол арқылы электр жетегінің күштік бөлігінің сенімділігі арттырылады. Екі АҚ қозғалтқышының айналу жиілігін реттеу кезінде энергетикалық көрсеткіштерді арттыруға қол жеткізуге болады [6].



## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты – флотациялық машинаның реттелетін асинхронды электр жетегін жобалау және зерттеу болып табылады.

Қолданылатын реттелмейтін жетекті жұмыс және техникалық сипаттамалары бойынша реттелетін асинхронды қозғалтқышы бар жоғары сапалы айнымалы ток электр жетегімен ауыстыру ұсынылады.

Қажетті қуатының есептеу нәтижесінде MTF511-8 электр қозғалтқышының түрі және ABB ACS580 жиілікті түрлендіргіш таңдалған.

Реттелмейтін электр жетегін қазіргі заманғы электр жетегіне ауыстыру нәтижесінде жиілік реттегіші бар асинхронды электр жетегі мыналарды береді:

- ФМ-ың механикалық және электр бөлігіне біркелкі жүктеумен жүзеге асырылады;

- тәуелсіз басқару процесінде ФМ-ң біркелкі жылдамдығын бақылауға мүмкіндік береді;

- жиілікті түрлендіргіш басқару базасына оңай қосылады және автоматиканың зияткерлік бөлігі болып табылады, күрделі интегралдық схемалардан және сервистік қызметтердің ауқымды жиынтығына мүмкіндік береді, сондай-ақ электр жетегін қорғау жүйесін, келіп түсетін токты бақылауды және жылдамдықты реттеуді қамтиды.

Жұмысты орындау барысында мынадай нәтижелер алынды:

- қазіргі уақытта ФМ-ы қолданылатын реттелмейтін айнымалы токтың электр жетегінің орнына жиілік-басқарылатын асинхронды екі қозғалтқышты электр жетегін әзірлеудің орындылығы негізделген;

- ФМ-ың электр жетегін басқарудың тиімді заңын таңдау негізделген;

- ФМ-ың жиілік-басқарылатын электр жетегі үшін негіз қалаушы талдамалық арақатынастар алынды;

- ФМ-ың жиілік-басқарылатын асинхронды электр жетегін имитациялық модельдеу орындалды және электр жетегінің негізгі параметрлері мен сипаттамаларының өзара байланысы анықталды.

Зерттеулер нәтижесінде басқарылатын жиілігі реттелетін екі қозғалтқышты электр жетегі ФМ-ың электр жетектерін жаңғыртудың техникалық негізделген нұсқасы болып табылады.

Имитациялық зерттеулердің алынған нәтижелері ФМ-ың жиілікпен реттелетін электр жетегінің жылдамдықты реттеу ауқымы бойынша және асқын қабілеті бойынша техникалық талаптарды қамтамасыз етуін растайды.

Аяқталған біліктілік жұмысының нәтижесінде техникалық шарттардың талаптарына толық жауап беретін электр жетегі жобаланды.

Басқару жүй элементтерінің сипаттамалары айқындалған, сондай-ақ өтпелі процестің өтудің тегістігі мен тегістігі үшін қажетті жұмыс уақытын оңтайландыру және қысқарту үшін кепілгерді баптау бойынша практикалық ұсынымдар берілген.

Таңдалған электр жетегі ЭҚОЕ нормаларына сәйкес келеді.



## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Абрамов, А.А. Флотационные методы обогащения. Т.IV [Электронный ресурс]: учеб. для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. -М.: Изд-во МГГУ: Горная книга: Мир горной книги. - 2008. -707с. ЭС «Горное дело»; режим доступа: <http://bibl.gorobr.ru/rasshirennyjpoisk>

2 Абрамов, А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов [Электронный ресурс]: [Учеб. пособие для вузов. Допущено УМО], Т.Ш.Кн.1: Рудоподготовка и Cu,Cu-Py,Cu-Fe,Mo,Cu-Mo,Cu-Zn руды . – М.: Изд-во Моск.гос.горного ун-та, 2005. - 574с.

3 Федотов, К.В. Проектирование обогатительных фабрик: учеб. для вузов /К.В. Федотов, Н.И. Никольская. – М.: Горная книга, 2012. – 533 с.

4 Расчет клиноременной передачи: методические указания к курсовому проектированию по деталям машин для студентов всех форм обучения / сост. И.Г. Левитский. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. – 20с.

5 Васильев, Б.Ю. Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства: учебник / Б.Ю. Васильев. – СПб: Лань, 2020. – 144 с.

6 Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.

7 Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова; 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.-304 с.

8 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 272 с.

9 Терёхин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.

10 СТ КазНТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазНТУ, 2023.