

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

Уатай Әділет Амангельдыұлы

Барабанды кептіру қондырғысының жиілікпен басқарылатын электр жетегін модельдеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07101 - «Энергетика»

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
PhD қауымдастырылған профессор
Е.А. Сарсенбаев
«17» 06 2025ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Барабанды кептіру қондырғысының жиілікпен басқарылатын электр жетегін модельдеу»

6B07101-«Энергетика»

Орындаған

Уатай Ә.А.

Пікір беруші

PhD ассистент профессор

Ж.Ж. Калиев

(қолы)

« 30 » 05 2025ж.

Ғылыми жетекші

техн. ғыл. канд.,

қауымдастырылған профессор

А.А.Жуматова

(қолы)

« 05 » 06 2025 ж.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ



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»

БЕКІТЕМІН

«Энергетика» кафедрасының
меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған профессор

 Е. А. Сарсенбаев

«30» 01 2025 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы Уатай Әділет Амангельдыұлы

Тақырыбы: «Барабанды кептіру қондырғысының жиілікпен басқарылатын электр жетегін модельдеу»

Университеттің академиялық мәселелер жөніндегі проректорының 29.01.2025 ж. № 26 п/ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» мамыр 2025 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі: а) Кептіргіш барабанның параметрлері:

Барабанның диаметрі -3,5 м; барабанның ұзындығы- 27 м; барабанның көлемі – 259 м³; кептіруге түсетін материал – концентрат.

а) Кептіру цехының технологиялық үрдісінің электр жетегінің негізгі күштік элементтерін таңдау және олардың параметрлерін анықтау;

б) Электр жетегінің қозғалтқышының статикалық сипаттамаларын анықтау;

в) Қоректендіргіш электр жетегінің динамикалық сипаттамаларын анықтау.

Сызбалық материалдар тізімі сызбалық материалдар слайдтармен көрсетілген: 11

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 19 атау.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер қарастырылатын тізімі	атауы, мәселелер	Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кептіру цехының технологиялық үрдісі		05.02.2025 ж	моқ
Қоректендіргіш электр жетегі	автоматты	28.03.2025ж	моқ
ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқышының динамикалық моделі		02.05.2025 ж	моқ

Аяқталған жұмысқа қойылған
кеңесшілер мен норма бақылаушының
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, А.Ә.Т. (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Кептіру цехының технологиялық үрдісі	А.А.Жуматова Техн. ғыл. кандидаты, қауымдастырылған профессор	05.06.2025	мж
Қоректендіргіш автоматты электр жетегі	А.А.Жуматова Техн. ғыл. кандидаты, қауымдастырылған профессор	05.06.2025	мж
ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқышының динамикалық моделі	А.А.Жуматова Техн. ғыл. кандидаты, қауымдастырылған профессор	05.06.2025	мж
Норма бақылаушы	Ә. О. Бердібеков, магистр, аға оқытушы	05.06.2025	Ж.Бердібеков

Жоба жетекші _____ А.А.Жуматова
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған студент _____ Ә.А. Уатай
(қолы)

Күні «10» 06 2025 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста кептіргіш барабанды жүктеуге арналған қоректендіргіш электржетегін әзірлеу мәселелеріне арналған. Жұмыста асинхронды электрқозғалтқыштың эквиваленттік сұлбасындағы параметрлерді анықтау әдістемесі және қозғалтқышты таңдау тәртібі қарастырылған.

Негізгі электржетек жүйесі ретінде Siemens корпорациясының 6SL3200-6AM23-8AH0 үлгісіндегі жиілік түрлендіргіші базасында орындалған сериялық шығарылатын жиынтық түрлендіргіш қабылданды. Таңдалған түрлендіргіштің негіздемесі келтіріліп, оның негізгі техникалық және функционалдық мүмкіндіктеріне талдау жүргізілді.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена вопросам разработки электропривода питателя предназначенного для загрузки сушильного барабана. Рассмотрена методика определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя и выбора электродвигателя.

За базовый электропривод принят серийно выпускаемый комплектный преобразователь частоты типа 6SL3200-6AM23-8AH0 производства корпорации Siemens. Проведено обоснование выбора, а также анализ основных возможностей преобразователя частоты.

ANNOTATION

This thesis is devoted to the development of an electric feeder drive designed for loading a drying drum. A method for determining the parameters of an asynchronous motor replacement circuit and selecting an electric motor is considered.

A commercially available complete frequency converter type 6SL3200-6AM23-8AH0 manufactured by Siemens Corporation was adopted as the basic electric drive. The choice was justified, as well as the analysis of the main capabilities of the frequency converter.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Кептіру цехының технологиялық үрдісі	9
1.1 Технологиялық үдерістің сипаттамасы	9
1.2 Кептіргіш барабан	10
1.3 Кептіргіш барабанның қоректендіруі	13
2 Қоректендіргіш автоматты электр жетегі	17
2.1 Қоректендіргіш автоматты электр жетегі	17
2.2 Жүктемелерді, инерция моменттерін есептеу және қоректендіргіштің электр қозғалтқышын таңдау	19
2.3 Электр қозғалтқышының параметрлерін және оны алмастыру сұлбасын есептеу	19
3 ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқышының динамикалық моделі	23
3.1 ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқышының динамикалық моделі	26
3.2 Электр жетегінің қозғалтқышының статикалық сипаттамаларын анықтау	27
3.3 Қозғалтқыштың $\frac{U_H}{f_H} = \text{const}$ жиіліктік реттеу заңына сәйкес. Жасанды механикалық және электрмеханикалық сипаттамаларын есептеу	31
3.4 Векторлық басқарумен жабық жылдамдықты реттеу жүйесін әзірлеу	35
Қорытынды	41
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	42

КІРІСПЕ

Ағаш өңдеу өнеркәсібі – энергия тұтынуы жоғары жарылыс қаупі бар өндірістердің қатарына жатады. Қазіргі уақытта кәсіпорындардағы негізгі механизмдер электр жетегі арқылы басқарылады. Негізгі технологиялық механизмдердің электржетек жүйесіне жоғары талаптар қойылады. Себебі, электржетек жүйесінің жетілдірілуі көбіне электр энергиясын тиімді пайдалануды арттырады. Әрине, жарылысқа қауіпсіздік талабы реттелетін электржетек жүйесін қолдануға белгілі бір шектеулер қояды. Мұндай жүйелер жалпы өнеркәсіптік өндірістерде кеңінен қолданылады (мысалы: тиристорлық түрлендіргіш – тұрақты ток қозғалтқышы жүйесі), бірақ жарылысқа төзімді тұрақты ток қозғалтқыштарының сериялық өндірісінің болмауына байланысты оларды қолдану шектелген.

Технологиялық процесті үнемі жетілдіру реттелетін электржетек жүйелерін жасауды және өндіріске енгізуді талап етеді. Жарылыс қаупі бар кәсіпорындарда, негізінен, асинхронды жарылысқа төзімді электрқозғалтқыштар қолданылады. Технологиялық механизмдер жұмыс режимі бойынша бір-бірінен едәуір ерекшеленеді. Көптеген осындай механизмдер технологиялық процеске байланысты жылдамдықты 1:2-ден 1:10-ға дейінгі ауқымда реттеуді қажет етеді, бұл қажетті сапа мен өнім көлемін қамтамасыз ету үшін маңызды.

Мысалы, ағаш өңдеу өндірістерінде қолданылатын әртүрлі типтегі питательдер үшін жылдамдықты 1:3-тен 1:15-ке дейін реттеу талап етіледі, өйткені бұлай реттеу технологиялық үдерістің қажеттілігі болып табылады. Қазіргі уақытта мұндай механизмдер үшін жылдамдықты реттеу мүлде қолданылмайды немесе көп жылдамдықты асинхронды қозғалтқыштар, механикалық вариаторлар немесе әртүрлі беріліс қатынастары бар ауыспалы шкивтер пайдаланылады. Бұл жоғары өнімділікті үздіксіз технологиялық процестерді енгізуді едәуір тежейді және оларды кешенді автоматтандыруды толық жүзеге асыруға мүмкіндік бермейді.

Көптеген жағдайларда реттелетін электржетекті қолдану өнім көлемін ұлғайтып, сапасын жақсартуға ғана емес, сонымен қатар электр энергиясын едәуір үнемдеуге де алып келеді.

Қазіргі уақытта көптеген механизмдер үшін электр жетегін қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыш және статикалық жиілік түрлендіргіші негізінде жүзеге асыруға болады. Қоректендіру жиілігін өзгерту арқылы қозғалтқыштың айналу жылдамдығын реттеуді бірқалыпты, кең диапазонда, сондай-ақ табиғи сипаттамадан жоғары немесе төмен деңгейде жүзеге асыруға болады. Сонымен қатар, реттеу сипаттамалары жоғары қаттылыққа ие және қозғалтқыштың артық жүктемеге төтеп беру қабілеті жоғары болып қалады. Осы жоғары сипаттамалардың арқасында жиілікті өзгерту арқылы реттеу барған сайын кеңінен қолданыс табуда. Ағаш өңдеу кәсіпорындарында жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш (ЖТ–АҚ) жүйесі реттелетін электр жетегін жасаудың ықтимал тәсілдерінің бірі болып табылады. Тұрақты ток жетегімен салыстырғанда ЖТ–АҚ жүйесі пайдалануда

және баптауда қарапайымдылығымен ерекшеленеді, бірақ бір кемшілігі – жиілік түрлендіргішінің жоғары құны.

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты – жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш жүйесіне негізделген айнымалы ток электржетегі бар кептіру барабанының скребокты бергіш механизмін зерттеу. Жылдамдықты жиілік арқылы реттеу заңдарын қарастырып, олар негізінде скребокты бергіштің реттелетін электржетегі жүйесін модельдеу үшін имитациялық модель құру қажет.

1 Кептіру цехының технологиялық үрдісі

1.1 Технологиялық үдерістің сипаттамасы

Кептіру үдерісі үшін қажетті ыстық газ жану пешінде өндіріледі. Бұл газ кері ауамен араластырылып, араластырғыш камераға тангенциалды түрде жіберіледі, онда кептіргішке кірер алдындағы қажетті температураға дейін қызады. Ыстық газ арналары арқылы аралас ауа барабанға беріледі.

Ауаның көлемі пештегі сирету деңгейіне байланысты реттеу ысырмалары арқылы реттеледі. Шикі жаңқалар тиеу науасы арқылы айналмалы кептіргіш барабанға түседі. Барабанға түскен ылғалды жаңқалар ыстық газбен байланысып, қызған сайын ішіндегі ылғал буланып кетеді.

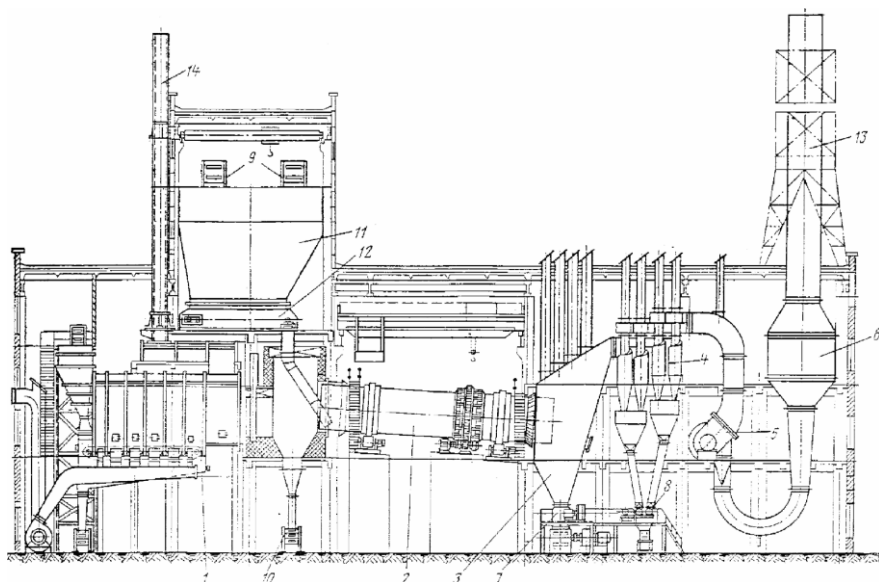
Кептіру үдерісі барысында ыстық газ буға қанығады. Материал барабанның айналуына және оның ішіндегі құрылымдық элементтер арқылы қозғалады. Ыстық газ ағыны материалдың қозғалысына механикалық қолдау көрсетеді. Ұсақ фракциялы жаңқалар тезірек кебеді және барабаннан тез өтеді, ал ірі әрі ылғалды жаңқалар ұзақ кідіреді. Осылайша барабаннан шығатын материалдың ылғалдылығы шамамен теңеседі.

Циклондардың астында ұсақ фракциялар жиналып, табақты тізбекті транспортер арқылы шығарылады. Негізгі жаңқа ағыны мен ұсақ фракция ағыны қалыпты режимде технологиялық тізбек бойынша беріледі, ал ақау немесе апат жағдайында уақытша қоймаға бағытталады.

Ауа ағынын қуатты желдеткіш жасайды. Бұл желдеткіш не жиілік түрлендіргіші арқылы, не дроссель ысырмасы арқылы реттеледі. Реттеу жүйесінің көмегімен желдеткіш жұмыс нүктесіне шығарылады. Ұсақ жаңқа фракциялары бар ауа циклон батареялары арқылы материалдан бөлініп, кері және пайдаланылған ауаға ажыратылады.

Пайдаланылған ауаның температурасы жаңқаның соңғы ылғалдылығын көрсетеді және оны реттеу мүмкіндігі бар. Шығу температурасын арттыру арқылы соңғы ылғалдылық төмендетіледі, ал температураны төмендету жоғары ылғалдылыққа әкеледі.

Жылу беру мөлшері шығу температурасына қарай реттеледі. Пешке түсетін ауаның көлемі сирету (вакуум) арқылы бақыланады. Реттеу екі электр жетекті ысырма арқылы жүзеге асырылады. Экологиялық талаптарға сәйкес шаң бөлінуін азайту үшін пайдаланылған ауа сүзгі арқылы немесе тікелей қоршаған ортаға шығарылады. (1.1-сурет)



1 – пеш; 2 – кептіргіш барабан; 3 – түсіру камерасы; 4 – циклон батареялары; 5 – түтін сорғыш; 6 – ылғалды аппарат; 7 – скребокты барабанды қоректендіргіш; 8 – шлюздік ысырма; 9 – ылғалды жаңқа тасымалдаушы конвейерлер; 10 – гидрозатвор; 11 – шикі жаңқа бункері; 12 – қоректендіргіш; 13 – түтін мұжжасы; 14 – жағу құбыры.

1.1-сурет – Технологиялық жабдықтың орналасуы:

1.2 Кептіргіш барабан

Кептіргіш барабан – ішкі қабырғасына қалақтар дәнекерленген қуыс дәнекерленген цилиндр. Барабанның ыстық жағында манжеталы жұмсақ тығыздағышты ыстық бөліктен алыстатуға арналған қаптама орналасқан. Сонымен қатар, осы жағында ұзындығы 2 метр болатын қабылдағыш-бұрандалы қалақтар орнатылған.

Қалақ көтергіш қондырғысының құрылымы кемшіліктерге ие. Орталық-осьтік қайта араластырғыш құрылғының болмауы кептірілетін материал мен газ ағыны арасындағы жылу алмасуды едәуір төмендетеді. Барабан шеттері мен қоректендіру және түсіру науаларының жапқыштарында сенімді тығыздағыштар жоқ, бұл ауа соруына алып келеді. Бұл кептіргіш агентінің жалпы ағынына шаққанда шамамен 1/3 көлемге артық газдың пайда болуына себеп болады – бұл жанған отыннан алынған кептіргіш агентінің көлемін арттырады.

Жұмыста қолданылатын кептіргіш барабанның параметрлері 1.1-кестеде көрсетілген.

1.1-кесте - Кептіргіш барабанның параметрлері

Барабанның диаметрі, м.	3,5
Барабанның ұзындығы, м.	27
Барабанның көлемі, м ³ .	259
Кептіруге түсетін материал	Концентрат
Кіретін газдың температурасы, °С.	850
Тұтынатын материалдың ылғалдылығы, %.	16-20
Кептірілген материалдың ылғалдылығы, %.	6-8
Концентраттың өндірілуі, т/сағ.	210
Буланған ылғалдың өнімділігі, т/сағ	27,5

Көтергіш-бұрандалы қондырғылар аймағында материал 2-5 секунд ішінде бір айналым жасайды.

Осы аймақтағы материал қозғалысы аз биіктікке көтерілуімен және материал массасының бағыттаушылар бойымен төмен сырғуымен сипатталады. Беткі қабатқа жақын орналасқан, түйіршіктерге жабысып қалған материал бөлігі барабанның төменгі жағында бірнеше рет домалап түседі.

Бұл аймақтағы материалдың бойлық бағыттағы жылжу жылдамдығы өнімділікке өте сезімтал, сондықтан барабанның басында материалдың жиналып қалуын және оның алдыңғы шеткі шеңберінен асып төгілуін болдырмау үшін ескеру қажет.

Материалдың барабан бойымен қозғалысына тазартқыштардың және шынжырлардың әсер ету сипаты бірдей, егер өнімділік бірдей болса. Сушильный барабанның оттыққа және түсіру камерасына кіретін шеттерінің тығыздалуы үшін тығыздағыш құрылғылар қолданылады. Кептіру процесінде артық ішкі қысымды, кемінде $4 \cdot 10^4$ Н/м² болатын, ұстай алатын тығыздағыш құрылғылар қолданылады.

Кептіргіш барабандардағы жүктеу науалары ыстыққа төзімді болаттан жасалады. Жоғары температуралы газдардың әсерінен қорғау үшін, газдар барабанға кіретін жағынан науалар отқа төзімді сылақпен футерленеді. Науалар сопақша пішінде жасалып, төменгі бөлігінде біртіндеп иілуімен тік орнатылады. Науаның төменгі бөлігі барабан кептіргішке барабанның алдыңғы шетінен кемінде 500 миллиметр тереңдікке кіруі тиіс.

Ағаш бөлшектерін кептіруге арналған барабан кептіргіштің сыртқы келбеті көрсетілген. (1.2-сурет)



1.2-сурет – Кептіргіш барабанның сыртқы көрінісі

Барабанды кептіргішті іске қосу келесі тәртіппен жүргізіледі:

- 1) шаңсорғыш желдету жүйесін қосу;
- 2) тұтандыру түтігінің клапанын ашу;
- 3) от жағу қондырғысын тұтату;
- 4) құрғақ көмірді жеткізуге арналған конвейерлерді, түсіру камерасы мен циклондардың бергіштерін, сондай-ақ көмір шаңын тасымалдайтын конвейерлерді іске қосу;
- 1) араластырғыш және түсіру камераларына қорғаныс буын беру;
- 2) кептіргіш барабанды іске қосу;
- 3) пештегі температура 500 °С-тан асқан кезде, бағыттаушы аппарат жабық күйде түтін сорғышты қосу;
- 4) технологиялық картада көрсетілген минималды өнімділікпен барабанға шикі жоңқаны беру;
- 5) түтін сорғыштың бағыттаушы аппараттарын ашып, бір мезгілде тұтандыру түтігінің клапанын жабу;
- 6) технологиялық картада көрсетілген деңгейге дейін жоңқа беру көлемін арттырып, бір мезгілде араластырғыш және түсіру камераларына қорғаныс буын беруді тоқтату;
- 7) пешке отын беру көлемін ұлғайту.

Газдардың температурасы кептіргіштің алдында және түтін сорғыштың алдында технологиялық картада көрсетілген мәндерге жеткеннен кейін, кептіргіш қондырғы шикі жоңқаны үздіксіз әрі біркелкі беру арқылы тұрақты режимде жұмыс істейді.

Кептіргіш барабанды тоқтату келесі тәртіппен жүргізіледі:

- араластырғыш және түсіру камераларына қорғаныс буын беру;
- пешке отын беруді тоқтату;
- үрлегіш желдеткіштер мен түтін сорғыштың бағыттаушы аппараттарын

жабу;

- тұтандыру түтігінің клапанын ашу;
 - шикі жоңқаны кептіргіш барабанға беруді тоқтату;
 - түтін сорғышты тоқтату;
 - түсіру камерасындағы температура 100 °С-тан төмендегенде араластырғыш және түсіру камераларына бу беруді тоқтату;
 - барабаннан жоңқа шығуы тоқтағаннан кейін кептіргіш барабанды тоқтату;
 - барабан тоқтаған соң, түсіру камерасы, циклондар (шаңұстағыш батареялар) бергіштері мен шикі жоңқаны жеткізу конвейерлерін сөндіру;
 - барлық тасымалдау құралдары тоқтаған соң, желдету жүйесін сөндіру.
- Апаттық жағдайда шикі жоңқаны кептіргішке беретін құрылғылардың тоқтауы немесе тиеу науасының бітелуі кезінде келесі әрекеттер орындалады:
- шикі жоңқаны бергіштерді тоқтату (тиеу науасы бітелсе);
 - араластырғыш және түсіру камераларына қорғаныс буын беру;
 - үрлегіш желдеткіштерді тоқтату және пешке отын беруді тоқтату;
 - түтін сорғышты тоқтатып, тұтандыру түтігінің клапанын ашу;
 - түсіру камерасындағы температура 100 °С-тан төмендегеннен кейін кептіргіш жолына бу беруді тоқтату;
 - жоңқа шығуы тоқтағаннан кейін кептіргіш барабанды, түсіру камерасының бергіштерін, циклондарды (шаңұстағыш батареялар), құрғақ жоңқа беру жолын және желдету жүйесін тоқтату.

Кептіргіш агрегатты толық тоқтатқаннан кейін кептіргіш жолды мұқият тексеріп, жоңқа мен ағаш шаңының жиналуынан тазарту қажет.

1.3 Кептіргіш барабанның қоректендіруі

Қоректендіргіш ұнтақтарды тазалап беру ылғалды ағаш бөлшектерін (40 мм дейінгі фракциялы, 30% дейінгі ылғалдылықпен) кептіргіш барабанға біркелкі беру, еріту және тиеу үшін арналған [2].

Қоректендіргіш - бұл үздіксіз жұмыс істейтін механизм, негізгі жұмысшысы - скребоктары орнатылған тізбек, ол екі пластинадан және втулкалы тізбектерден тұрады, бұл тізбектер бір-бірімен скребоктар арқылы байланысқан.

Тізбекті қозғалтқыш білігі қозғалысқа келтіреді, оның екі сегіз тісті жұлдызшасы бар және ол қозғалтқыш секциясына орнатылған.

Қырғыш питатель герметикалық болып келеді. Секцияларды бір-біріне қосу фланецтер арқылы жүзеге асады, олардың арасына асбест төсемшелері қойылып, герметиктілікті арттырады.

Секция - дәнекерленген жабық арна түрінде болады. Секция ішінде төменгі және жоғарғы бағыттаушы жолақтар орналасқан, олар арқылы скребоктары бар тартқыш тізбек қозғалады. Тартқыш тізбектің тісті жұлдызшалардан тайып кетуіне жол бермеу үшін, бағыттаушылардың үстінде шектегіштер орнатылған.

Қозғалтқыш секция - дәнекерленген металдан жасалған құрылым, онда корпус, қарау және түсіру люктері бар. Осы секцияға подшипниктері және тартқыш жұлдызшалары бар қозғалтқыш білік бекітіледі.

Тартқыш секция —герметикалық корпусы, білігі және тартқыш құрылғысы бар дәнекерленген металдан жасалған құрылым. Оның үстінде қозғалмайтын торлы жоғарғы төсегі бар. Тартқыш секцияда монтаж, жөндеу және жоғарғы төсек, тартқыш тізбек және бағыттаушы жолақтарды ауыстыру үшін люк қарастырылған.

Тарту тізбегінің кернеуі керілу арқылы жүзеге асырылады кернеуге арналған екі бұрандалы құрылғылар. Кернеу мөлшері 350 мм. бергіштің тығыздығы бұзылмауы үшін кернеу білігі тығыздағыш құрылғылармен жабдықталған.

Кернеу бөлімі арналған төрт люк бар секцияның ішкі бөлігін көзбен шолып тексеру және өткізудің ыңғайлылығы бағыттаушы қырғыштары бар тартқыш тізбекті монтаждау және жөндеу жұмыстары үйкеліс жолақтары және жоғарғы төсек.

Қоректендірудің ұзындығы бункер осінен нүктеге дейінгі қашықтыққа байланысты кептіру барабанының жүктемелері және 3,5-тен 6,5 м-ге дейін болуы мүмкін.

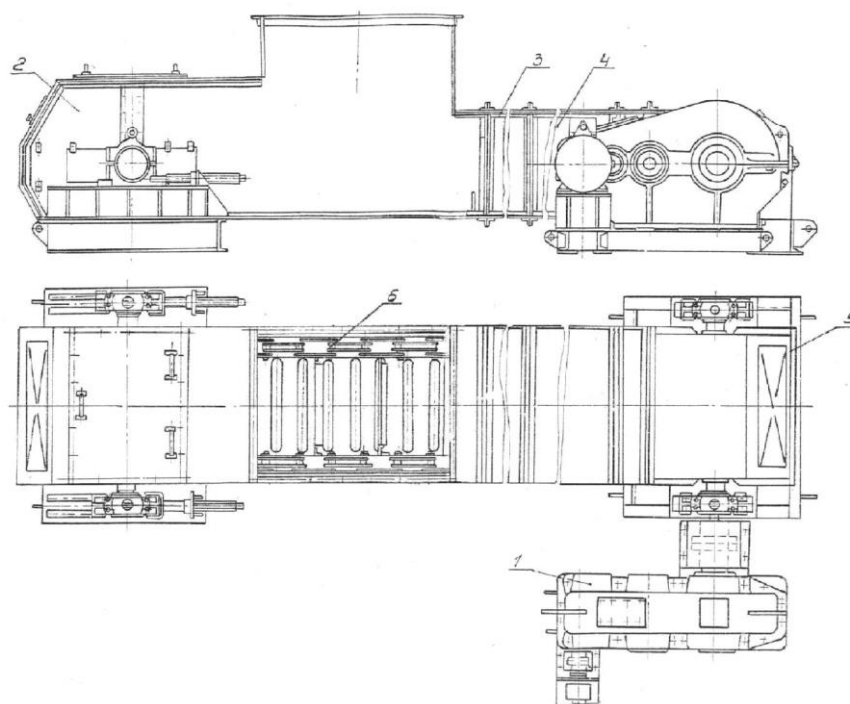
Өлшемдері және бергіш қоректендіргішінің параметрлері 1.2-кестеде келтірілген.

1.2 – кесте – Бергіш өлшемі және параметрлері

Өлшем немесе параметрлер аты	Нормасы
Өндірілуі, т/сағ.	71 – 354
Тартқыш валы мен приводтың арасындағы ара қашықтық, мм	3500
Желоб қалыңдығы, мм.	1000
Қырғыштары бар тарту тізбегінің қозғалыс жылдамдығы, м/с.	0,054 – 0,27
Қырғыштың биіктігі, мм.	90
Қырғыштың қадамы, мм.	500
Тұтынушының массасы, кг.	7700

Қоректендірудің электрлік бөлігі оны пайдалану үшін жасалған В – Ia класты үй-жайлардың жағдайларында. Орнатылған электр жабдықтары қоректі орналастыру орны, жарылыстан қорғалған, сәйкес орындалған ЭҚПЕ Б. 7.3.66. Басқару аппаратурасы қауіпті емес етіп орнатылады газ және шаң бойынша үй-жай.

Жобада пайдаланылатын сүртетін қырғыш фидер көрсетілген.(1.3-суретте)



1-жетек; 2-созылатын секция; 3, 4-секция; 5-жетек секциясы; 6-кырғыштары бар тартқыш тізбек

1.3 -сурет-Сүртетін қырғыш қоректендіргіш

Ағаш өңдеу кәсіпорындарында тұтындырғыш ауыр жағдайда жұмыс істейді, сондықтан оны пайдалануға ерекше талаптар қойылады. Питательдің ақаусыз жұмысын қамтамасыз ету үшін тұрақты бақылау, тазалау және уақтылы профилактикалық жөндеу қажет.

Тұтындырғыш жетегі төрт жылдамдықты қысқа тұйықталған роторлы ВАО–92–12/8/6/4 типті асинхронды электрқозғалтқыштан және ЦТНД-500 типті үш сатылы редуктордан тұрады. Қозғалтқыштың техникалық сипаттамалары (1.3-кестеде), ал редуктор мәліметтері (1.4-кестеде) келтірілген.

1.3 -кесте - ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқыш параметрлері

Жұп полюстар саны	6	4	3	2
Валдағы қуат, кВт	15	25	30	36
Айналу жиілігі, об/мин	490	735	980	1470
ПЭК, %	79	85	88	87
Cosφ	0,55	0,68	0,86	0,89
$M_{II}/M_{ном}$, с.б.	1,1	1	0,8	0,8
$M_{max}/M_{ном}$, с.б.	2	2	1,9	2
$I_{II}/I_{ном}$, с.б.	5	6	6	7
Ротор инерциясының моменті, кг·м ²	0,69			

1.4 -кесте – Редуктор параметрі

Редуктор типі	ЦТНД-500-У3
Тасмалдау саны	125
Айналу моментінің номиналды мәні, Нм	28500
Массасы, кг	1480

Мұқият әрі сенімді жұмыс істеуі үшін тұтынуды келесі шарттарда пайдалану қажет:

Тұтынудың технологиялық сипаттамасына сәйкес өнімділік диапазонында тоқтаусыз және бірқалыпты жүктеу жүзеге асырылуы тиіс;

Тұрақты түрде технологиялық қызмет көрсету жүргізілуі қажет. Бұл профилактикалық шаралардың бастысы болып табылады және тұтынудың қызмет ету мерзімін ұзартады, жөндеу жұмыстарының көлемін азайтады, жабдықтардың тоқтап қалуын қысқартып, жұмысшылардың еңбек өнімділігін арттырады;

Тұтындыру қолданылатын кептіру цехында тазалық сақталуы тиіс, электр жабдықтары шаң жинайтын құрылғылармен үнемі тазартылып отыруы қажет;

Бункердегі ылғалды ағаш бөлшектерінің төменгі деңгейі бункер биіктігінің кемінде үштен біріне тең болуы тиіс;

Скребокты тұтынудың қуатты электр жабдығы айнымалы токтың үш фазалы желісінен қоректенуі тиіс;

Тұтынудың қуатты электр жабдығы 380 В кернеуіндегі, 50 Гц жиіліктегі үш фазалы айнымалы ток желісінен қоректенуі қажет.

2 Қоректендіргіш автоматты электр жетегі

2.1 Қоректендіргіш жылдамдығын реттеу

Қоректендіргіштің электр жетегі диапазондағы электр қозғалтқышының айналу жылдамдығын реттеуді қамтамасыз етуі керек

$$D = \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{0,81}{0,054} = 15 \quad (2.1)$$

мұндағы: $v_{\max} = 0,81$ м/с-тарту тізбегінің ең жоғары жылдамдығы,
 $v_{\min} = 0,054$ м/с-тарту тізбегінің ең төменгі жылдамдығы.

Қазіргі уақытта фидер жетегі төрт жылдамдықты асинхронды қозғалтқышты пайдаланады, қысқа тұйықталған роторы бар, жарылыстан қорғалған, ВАО–92–12/8/6/4 типті (1.3-кесте). Ол қамтамасыз ететін реттеу ауқымы

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1470}{490} = 3$$

бірақ қозғалтқыштың төртінші жылдамдығы пайдаланылмайтындығын ескере отырып, өйткені тарту тізбегі қоректендіргіштің техникалық сипаттамасынан жоғары жылдамдықпен қозғалады, реттеу диапазоны.

$$D = \frac{980}{490} = 2$$

Қоректендіргіш бір кептіру барабанын тиеу үшін орнатылады.

Қоректендіргіштің жұмыс режимі кептіру барабанының жұмыс режиміне сәйкес келуі және оның өнімділігін қамтамасыз етуі керек. Қоректендіргіштің жұмыс режимдерін өзгертуді кептіру бөлігінің диспетчері кептіру барабанына түсетін материалдың қасиеттеріне қарай жүргізеді.

Кептіру қондырғысының жұмыс сапасының көрсеткіші-түсіру камерасындағы чиптердің ылғалдылығы, ол $2 \pm 0,5\%$ болуы керек. Ылғалдылықтың жанама көрсеткіші-түсіру камерасындағы ауаның жұқаруы.

Түсіру камерасындағы сирету ТмМП-52 типті жүк өлшегішпен өлшенеді, шкаласы нөлден минус 200 мм су бағанына дейін. Режим картасына сәйкес, түсіру камерасындағы қалыпты сирету минус 85 мм болып саналады, егер сирету аз болса, чиптің ылғалдылығы қалыптыдан төмен болады және чиптердің

кептіру барабанына түсуін арттыру керек, яғни қоректендіргіштің жылдамдығын арттыру керек. Егер сирету нормадан жоғары болса, онда чиптер кептірілмейді және чиптердің кептіру барабанына түсуін азайту керек, яғни қоректендіргіштің жылдамдығын азайту керек. Сондай-ақ, операторға қажет кептіру барабанын шамадан тыс жүктемеуді қадағалаңыз.

Қолданыстағы дискінің артықшылықтары қарапайым басқару схемасын қамтиды.

Кемшіліктерге жылдамдықты біркелкі реттеу мүмкіндігі және реттеудің шағын диапазоны жатады.

2.2 Жүктемелерді, инерция моменттерін есептеу және қоректендіргіштің электр қозғалтқышын таңдау

Қозғалтқыш білігіне берілген жүктеме моментін анықтайық:

$$M_k = \frac{F \cdot \rho}{\eta}, \quad (2.2)$$

мұнадғы F - тарту шарты; ρ - атқарушы орган мен қозғалтқыш білігі арасындағы кинематикалық схеманы келтіру радиусы; η - жалпы ПӘК.

Барабан бұрыштық жылдамдығын анықтауы:

$$\omega_6 = \frac{v_L}{R_6} = \frac{1,3}{0,3} = 4,33 \text{ c}^{-1} \quad (2.3)$$

Барабанның бұрыштық жылдамдығын қозғалтқыштың айналу жылдамдығына бөлеміз:

$$\omega_{\text{қоз}} = \omega_6 \cdot i_6 = 4,33 \cdot 17 = 73,66 \text{ c}^{-1}. \quad (2.4)$$

Біз есептелген қозғалтқыш қуатын анықтаймыз және оны таңдалған қозғалтқыштың қуатымен салыстырамыз:

$$P_{\text{ес}} = K_k \cdot M_k \cdot \omega_{\text{қоз}} \cdot 10^{-3} = 1,25 \cdot 88,21 \cdot 73,66 \cdot 10^{-3} = 8,12 \text{ кВт} < 11 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

Есептелген қуат қозғалтқыштың қуатына сәйкес келетінін көреміз. Электр жетегінің инерция моменті:

$$J_1 = 1,2 \cdot J_{\text{қоз}} = 1,2 \cdot 0,18 = 0,216 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.6)$$

Конвейердің механикалық бөлігінің қозғалтқыш жылдамдығына инерция

моменті:

$$J_1 = 1,2 \cdot J_{\text{қоз}} = 1,2 \cdot 0,18 = 0,216 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.7)$$

$$J_2 = (q_{\text{ж}} + 2q_{\text{л}} + q'_p + q''_p) \cdot L \cdot \left(\frac{\vartheta}{\omega_{\text{қоз}}} \right)^2 = (21,36 + 2 \cdot 14,72 + 15,71 + 7,91) \cdot 40 \cdot \left(\frac{1,3}{73,66} \right)^2 = 0,92 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Жүйенің соңғы инерция моменті:

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2 = 0,216 + 0,92 = 1,14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.8)$$

2.3 Электр қозғалтқышының параметрлерін және оны алмастыру сұлбасын есептеу

Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы:

$$\omega_c = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{p} = 78,5 \text{ с}^{-1}. \quad (2.9)$$

$$n_c = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ айн/мин}, \quad (2.10)$$

мұндағы $p=4$ - полюс жұптары.

Қозғалтқыштың номиналды айналу жылдамдығы:

$$\omega_H = \omega_c \cdot (1 - S_H) = 78,5 \cdot (1 - 0,025) = 76,53 \text{ с}^{-1} \quad (2.11)$$

Номиналды момент:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{11000}{76,53} = 143,73 \text{ Нм}. \quad (2.12)$$

$$M_{\text{ш}} = M_{\text{макс}} = \lambda_m \cdot M_H = 2,2 \cdot 143,73 = 316,2 \text{ Нм} \quad (2.13)$$

ВАО-92-12/8/6/4 қысқа тұйықталған роторлы салыстырмалы бірлікте берілген асинхронды қозғалтқышты алмастыру сұлбасының параметрлері келтірілген.

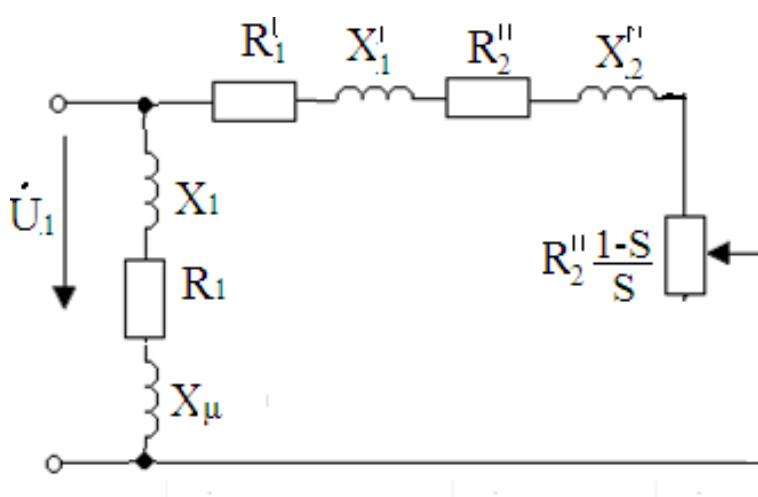
2.3 -кесте - ВАО-92-12/8/6/4 типті асинхронды қозғалтқышты алмастыру сұлбасының параметрлері

Параметрлер	Мәндері, салыстырмалы бірліктерде берілген
Статорда орналасқан орамдардың активті кедергісі R'_1	0,066
Статор орамдарының шашыраңқы индуктивті кедергісі X'_1	0,13
Роторда орналасқан орамдардың келтірілген активті кедергісі R''_2	0,031
Роторда орналасқан орамдардың келтірілген шашыраңқы индуктивті кедергісі X''_2	0,18
Магниттеуші тізбектің негізгі индуктивті кедергісі X''_μ	2,0
Қысқа тұйықталу кедергісі $X_{к.н}$, с. б.	0,19

Статордағы фазалық номиналды кернеу және ток:

$$U_{1\phi} = \frac{U_{ж}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}; \quad (2.14)$$

$$I_{1н} = \frac{P_{н}}{3U_{1\phi} \cos \varphi \eta_{н}} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,75 \cdot 0,87} = 25,54 \text{ А} \quad (2.15)$$



2.3 -сурет - Қозғалтқышты L-тәрізді алмастыру сұлбасы

Толық статор кедергісі:

$$Z_H = \frac{U_{1f}}{I_{1\phi}} = \frac{220}{25,54} = 8,61A \quad (2.16)$$

Магниттеу тізбегінің басының индуктивті кедергісі:

$$X_M = \overline{X_M} \cdot Z_H = 2,0 \cdot 8,61 = 17,23 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

L-тәрізді алмастыру тізбегінің жұмыс тізбегіндегі статор орамасының белсенді және шашыраңқы индуктивті кедергісі (абсолютті мәндер):

$$R'_1 (\text{с. б}) \cdot Z_H = 0,066 \cdot 8,61 = 0,57 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

$$X'_1 = X_1 (\text{с. б}) \cdot Z_H = 0,13 \cdot 8,61 = 1,11 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Ротор орамасының берілген белсенді және шашыраңқы индуктивті кедергісі (абсолютті мәндер):

$$R'_2 = R'_2 (\text{с. б}) \cdot Z_H = 0,031 \cdot 8,61 = 0,27 \text{ Ом}; \quad (2.20)$$

$$X'_2 = X'_2 (\text{с. б}) \cdot Z_H = 0,18 \cdot 8,61 = 1,54 \text{ Ом} \quad (2.21)$$

Қысқа тұйықталудың индуктивті кедергісі:

$$X_k = X_1 + X' = 1,11 + 1,54 = 2,65 \text{ Ом.}$$

Өзара индуктивтілікті есептеу:

$$L_M = \frac{X_m}{\omega} = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{X_m}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = \frac{17,22}{314} = 0,05 \text{ Гн}, \quad (2.22)$$

Статор орамасының индуктивтілігі:

$$L_1 = \frac{X_1}{\omega} = \frac{1,11}{314} = 0,03 \text{ Гн},$$

Ротор индуктивтілігі тең:

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = \frac{1,54}{314} = 0,04 \text{ Гн}, \quad (2.23)$$

Электр қозғалтқышының электромагниттік номиналды моментін келесі формула бойынша есептейміз:

$$M_{H.эм} = \frac{3 \cdot U_{\Phi H}^2 \cdot R'_2 / S_H}{\omega_c [(R_1 + R'_2 / S_H)^2 + X_K^2]} = 147,8 \text{ Гн},$$

Формула бойынша электр қозғалтқышының бос моментінің мәнін есептейміз:

$$M_{бж} = M_{H.эм} - M_H = 147,8 - 143,73 = 4,08 \text{ Нм} \quad (2.24)$$

Ротор орамасындағы фазалық ток:

$$I_2 = \frac{U_{1\Phi}}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2''}{S})^2 + (X_1' + X_1'')^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0,57 + \frac{0,27}{0,025})^2 + (1,11 + 1,54)^2}} = 19,03 \text{ А} \quad (2.25)$$

Сырғу басталған кезде $S_{ж} = 1$.
жүргізу кезінде ротордағы ток:

$$I'_{2ж} = \frac{220}{\sqrt{(0,57 + 0,27)^2 + (1,11 + 1,54)^2}} = 78,64 \text{ А},$$

$$M_{ж} = \frac{3 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2''}{S \cdot \omega_c} = \frac{3 \cdot (78,64)^2 \cdot 0,27}{78,5 \cdot 1} = 64,72 \text{ Нм}.$$

Шекті сырғу кезіндегі ротор тогы $S=0,15$:

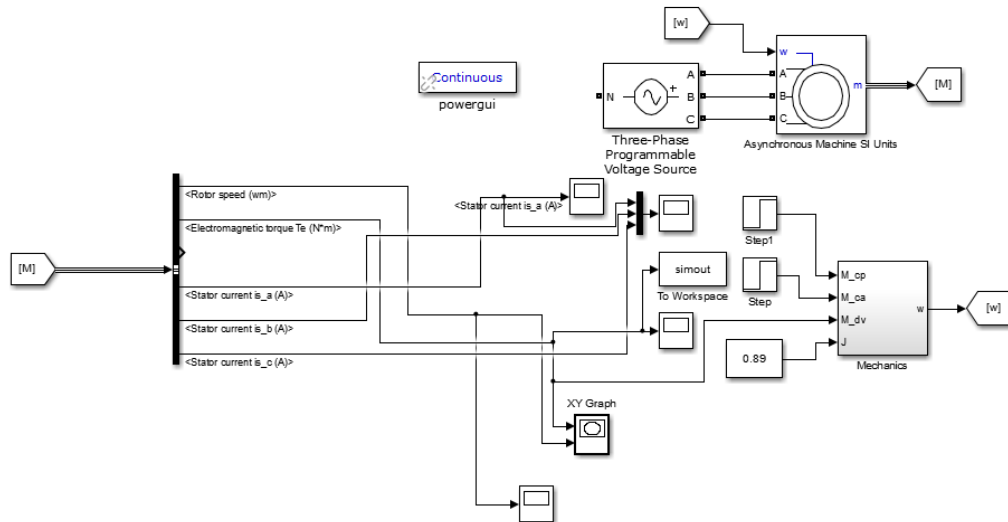
$$I'_{2ш} = \frac{220}{\sqrt{(0,57 + \frac{0,27}{0,15})^2 + (1,11 + 1,54)^2}} = 61,87 \text{ А}.$$

Шекті (максималды) момент M максимум

$$M_{\text{макс}} = \frac{3 \cdot (61,87)^2 \cdot 0,27}{0,15 \cdot 78,5} = 267,07 \text{ Нм}.$$

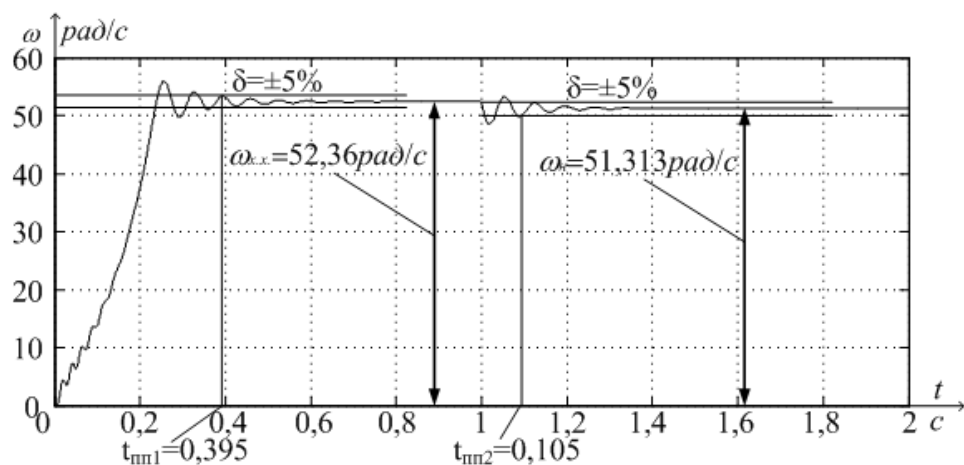
3 ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқышының динамикалық моделі

Асинхронды қозғалтқышты модельдеу MATLAB Simulink бағдарламасында жүзеге асырылады. Модельдеу моделін құру үшін қозғалтқышты ауыстыру схемасының параметрлері қолданылады. (3.1 -сурет)



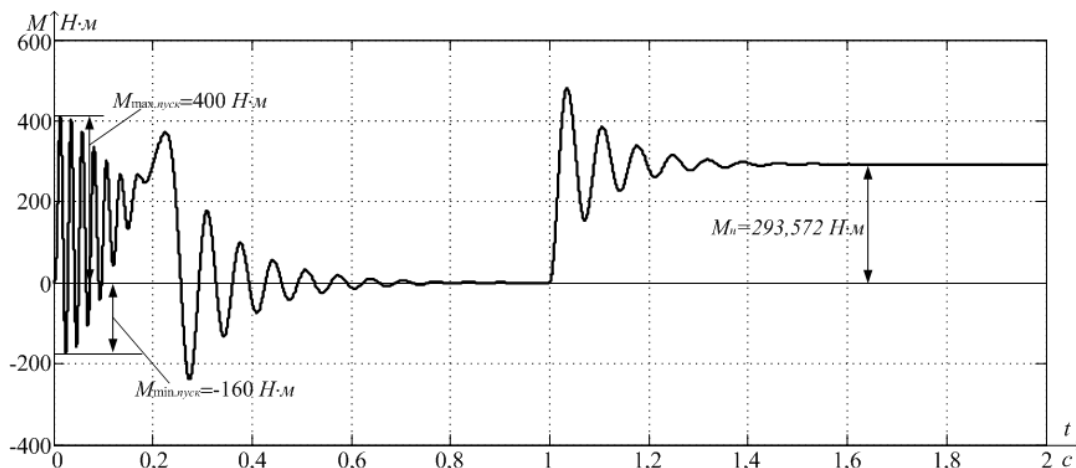
3.1 -сурет – Асинхронды қозғалтқыштың тікелей іске қосылуының имитациялық моделі

Асинхронды қозғалтқыштың (АҚ) динамикалық механикалық сипаттамасын тек өтпелі процестерді есептеу нәтижесінде ғана құруға болады. Сондықтан алдымен қозғалтқыштың тікелей іске қосылуы кезінде алынған өтпелі процесс графиктерін келтірейік 3.2-сурет және 3.3-сурет. Бұл графиктер қозғалтқыш іске қосылғаннан кейінгі жылдамдықтың және электромагниттік моменттің уақыт бойынша өзгеруін көрсетеді және қозғалтқыштың динамикалық мінез-құлқын сипаттауға мүмкіндік береді.



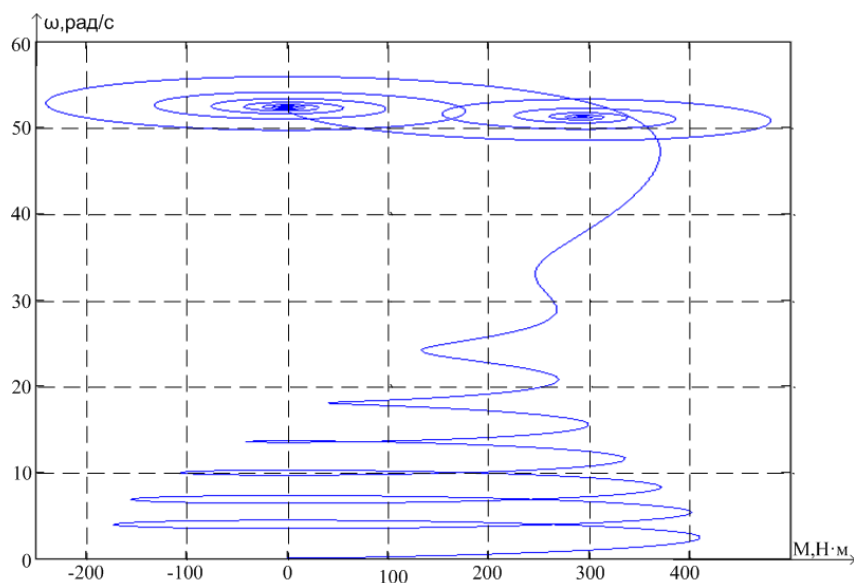
3.2 -сурет – ВАО 92-12/8/6/4 типті қысқа тұйықталған роторлы АҚ-ның тікелей іске қосылуы кезіндегі жылдамдықтың өтпелі процесі

Жылдамдық мінездемесі бойынша негізгі сапа көрсеткіші - t_p , қайта реттеу: $\sigma=2,5\%$, жүктемесіз айналу жылдамдығына дейінгі өтпелі процесс уақыты - $t_{пп1}=0,395$ с, жүктеме кенеттен қосылған кезде (1-секундта) жүктемесіз режимнен номиналды жылдамдыққа өтудің өтпелі процесс уақыты - $t_{пп2}=1,105$ с, жүктемесіз айналудың орныққан жылдамдығы $\omega_{х.х.}=52,36$ рад/с, номиналды айналу жылдамдығының орныққан мәні - $\omega_H=51,313$ рад/с. (3.3-сурет)

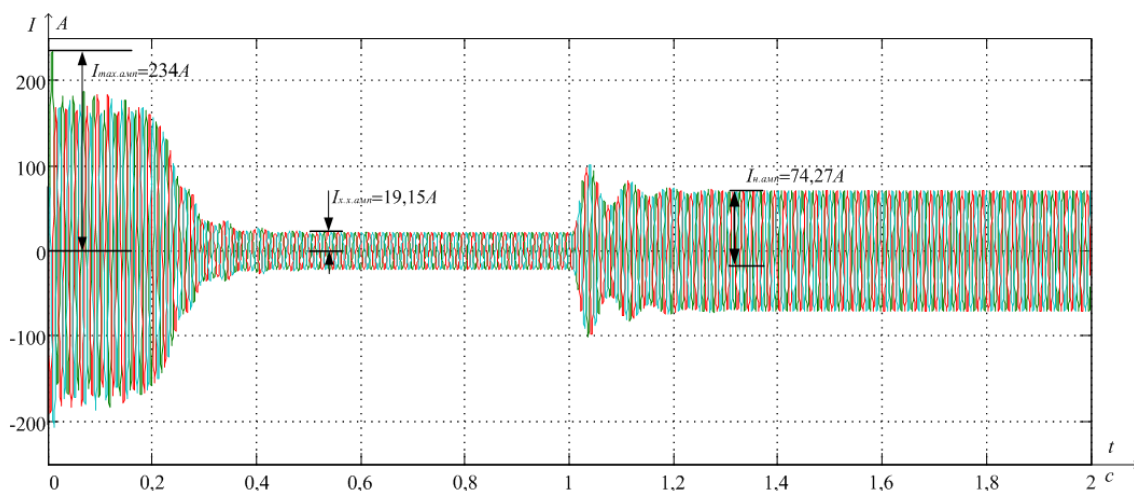


3.3-сурет – ВАО 92-12/8/6/4 қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың тікелей іске қосылуындағы электромагниттік моменттің өтпелі процесі

Алынған өтпелі процестердің графиктерін - $\omega=f(t)$ және $M=f(t)$ пайдаланып, ВАО-92-12/8/6/4 қозғалтқышының тікелей іске қосылуындағы динамикалық механикалық сипаттамасын құрамыз (3.4-сурет).



3.4-сурет – ВАО 92-12/8/6/4 асинхронды қозғалтқыштың динамикалық механикалық сипаттамасы



3.5-сурет – ВАО 92–12/8/6/4 қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың тікелей іске қосылуындағы статор тогының өтпелі процесі

Бос жүріс режиміндегі статор тогының орныққан амплитудалық мәні:
 $I_{x.x.амп.} = 19,15 \text{ A}$

Жүктемесіз режимдегі статор тогының әсерлік мәнін анықтаймыз:
 Амплитудалық мәннен әсерлік мәнді келесі формула бойынша анықтаймыз:

$$I_{x.x.дейст.} = \frac{I_{x.x.амп.}}{\sqrt{2}} = \frac{19,15}{\sqrt{2}} = 13,541 \text{ A}$$

Осылайша, жүктемесіз режимдегі статор тогының әсерлік мәні шамамен 13,54 A болады.

Номиналды статор тогының тұрақты амплитудалық мәні жүктеме кезінде $M_H = 293,572 \text{ Нм}$ теңеседі $I_{H.амп.} = 74,27 \text{ A}$.

Номиналды статор тогының ағымдағы мәнін анықтайық жүктемеде:

$$I_{H.дейст.} = \frac{I_{H.амп.}}{\sqrt{2}} = \frac{74,27}{\sqrt{2}} = 52,517 \text{ A}$$

Модельдеу кезіндегі токтың мәні $I_{x.x.дейст.} = 13,541 \text{ A}$, $I_{H.дейст.} = 52,517 \text{ A}$ есептелген токтың мәніне сәйкес келеді $I_0 = 13,355 \text{ A}$, $I_{H.} = 52,307 \text{ A}$, осыған байланысты модельдеу кезіндегі өтпелі үрдістер дұрыс шықан деп қортындылаймыз.

Желіге тікелей қосу арқылы ақ іске қосу кезіндегі өтпелі процестің түрі - 160-тан +410 Нм-ге дейін өзгертін және қозғалтқышты үдету кезінде сөнетін электромагниттік момент қисығында тербелмелі компонентке ие. Электр қозғалтқышының ең үлкен үдеуі динамикалық сипаттамамен критикалық мәнге жеткенде, момент 410 Нм мәніне жеткенде болады, электр қозғалтқышын іске

қосу кезінде үлкен соққы сәттері қоректендіру механизмінің бұзылуына әкелуі мүмкін (редуктордың бұзылуы, тарту тізбегінің үзілуі). Электр қозғалтқышын үдеткіш кезінде статор орамасының ток мәндері 165 А мәніне ие, бұл статор орамасының жұмысынан шығуына әкеледі, үдеткіш аяқталғаннан кейін ток номиналдыға дейін төмендейді. Қысымын желіге тікелей қосу арқылы бастау қанағаттанарлық өтпелі сипаттамаларға қол жеткізуге мүмкіндік бермейді деген қорытынды жасауға болады.

Сондай-ақ, қолданыстағы жетек технологиялық процеске қажетті реттеу ауқымын қамтамасыз етпейді.

Қолданыстағы жетек қажетті талаптарды қанағаттандырмайтындықтан, жаңа жетекті жобалау қажет.

3.1 Жиілік түрлендіргішін таңдау

Түрлендіргішті таңдау жетек талаптарына сәйкес жасалады. Қуат желісіне, қозғалтқыштың қуатына және жүктеме сипатына сәйкес Siemens корпорациясының қажетті функциялары бар 6SL3200-6AM23-8AH0 жалпы қолдану түрлендіргіші таңдалды. 3.6-суретте жиілік түрлендіргішінің сыртқы түрі көрсетілген.



3.6 -сурет - 6SL3200-6AM23-8AH0 жиілік түрлендіргішінің пайда болуы
Siemens фирмасы

Басқарудың негізгі функциялары:

- 4 кіріктірілген ПИД - реттегіші,
- Іске қосу моментін 1,5 M_n дейін арттыру ,
- Берілген жиілікті айналып өту,

- Кернеу транзисторларын басқару жиілігін орнату,
- Өзін-өзі іске қосу,
- Электронды жылу қорғанысы,
- Максималды және минималды айналу жылдамдығын шектеу,
- Соңғы сәтсіздіктердің параметрлерін жазу.

Қолданылатын жетекті қорғау:

- Шамадан тыс жүктеме және қысқа тұйықталу токтарынан,
- Жерге тұйықталудан,
- Тізбектің қуат элементтеріндегі асқын кернеуден,
- Жол берілмейтін ауытқулардан және кернеудің жоғалуынан,
- Жол берілмейтін ауытқулардан және кернеудің жоғалуынан,
- Технологиялық параметрдің жол берілмейтін ауытқуларынан (режимде

автоматты реттеу).

Негізгі сипаттамалары:

- Қуат кернеуі: 3х380-500В +10% -15%,
- Номиналды шығыс тогы: 38А,
- Кіріс жиілігі: 47/63 Гц,
- Шығыс жиілігі: 0-550 Гц,
- Номиналды қуаты бар тиімділік: 98 %,
- IP55 қорғау дәрежесі,
- Жалпы өлшемдері (мм): 230х620х249,
- Салмағы: 10,21 кг.

Толығырақ ақпарат пайдалану жөніндегі нұсқаулықта берілген [7].

3.2 Электр жетегінің қозғалтқышының статикалық сипаттамаларын анықтау

Электрқозғалтқыштың механикалық сипаттамасы - оның бұрыштық жылдамдығының ω айналдырушы моментке M тәуелділігі: $\omega = f(M)$. Электрқозғалтқыштың жылдамдықтық немесе электрмеханикалық сипаттамасы - ол жылдамдықтың токқа тәуелділігі: $\omega = f(I)$. қ Механикалық сипаттамаларды табиғи және жасанды сипаттамалар деп бөледі. Табиғи сипаттама қоректендіруші желінің параметрлері оның номиналдық параметрлеріне, ал қозғалтқыштың параметрлері оның құжаттық номиналдық параметрлеріне сәйкес болған және оның тізбегінде ешқандай қосымша электротехникалық элементтер (кедергілер, реакторлар, конденсаторлар) қосылмаған жағдайда тұрғызылады. Көп жағдайда табиғи сипаттаманы моменттің $M = f(s)$ сырғанауға тәуелділігі арқылы есептейді. Сырғу мен бұрыштық бұрыштық айналу жылдамдығы арасанда мынадай тәуелділік бар:

$$\omega = \omega_0(1 - S)$$

Мұндағы:

ω_0 - синхрондық бұрыштық жылдамдық.

Механикалық сипаттамаларды нақты есептеу Клосс формуласы арқылы жүргіземіз:

$$M = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S} + 2 \cdot \varepsilon}$$

мұндағы M_K – қозғалтқыштың шектік моменті; S_K – сырғанаудың шектік мәні; S - ағымдық мәні ,сырғанаудың ағымдық мәні;

$$\varepsilon = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} = \frac{0,56}{\sqrt{0,56^2 + 2,65^2}} = 0,2$$

Шектік моменттің есептік мәнін мына формула арқылы анықтаймыз:

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 78,5 \cdot \left[0,57 + \sqrt{0,57^2 + 2,65^2} \right]} = 280,39 \text{ Нм};$$

Шектік сырғанаудың мәнін мына формула арқылы анықтаймыз:

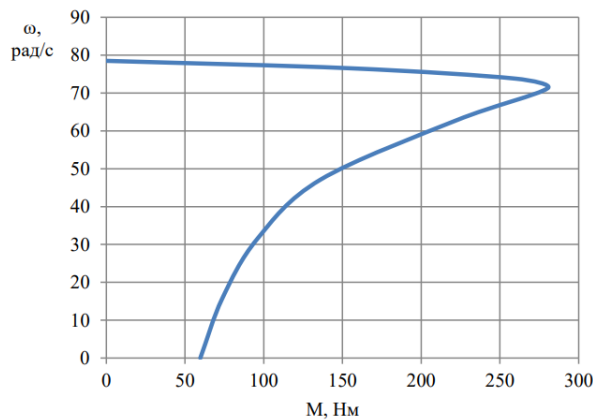
$$S_K = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} = \frac{0,27}{\sqrt{0,57^2 + 2,65^2}} = 0,092$$

Сырғу s мәнін 0...1 аралығында өзгертіп, моменттің мәндерін анықтаймыз да, ендіреміз. (3.1 кесте)

3.1 -кесте – Есептеу нәтижелері

0	0,025	0,06	0,092	0,2	0,4	0,6	0,8	1
78,5	76,54	73,79	71,28	62,8	47,1	31,4	15,7	0
0	154,83	260,20	280,40	222,42	135,94	95,75	73,60	59,69

Есептеу нәтижелері бойынша тұрғызылған табиғи механикалық сипаттаманың графигі келтірілген. (3.7 суретте)



3.7 -сурет - Электрқозғалтқыштың табиғи механикалық сипаттамасы

Ротор тогының I'_2 сырғанауға S тәуелділігін мына формула бойынша есептейміз:

$$I'_2 = \frac{U_H}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + X_K^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,57 + \frac{0,27}{S}\right)^2 + 2,65^2}}$$

мұндағы U_H -статор орамының номиналды фазалық кернеуінің мәні, X_K - қысқа тұйықталудың индуктивтік кедергісі, Ом.

Сырғанау мәндерін $0...1$ аралығында өзгерте отырып, I'_2 тогының мәндерін анықтаймыз. Есептеу нәтижелерін ендіреміз.(3.2 кесте)

3.2 -кесте - Есептеу нәтижелері

0	0,025	0,06	0,092	0,2	0,4	0,6	0,8
78,5	76,54	73,79	71,28	62,8	47,1	31,4	15,7
0	19,03	38,70	50,24	67,09	74,77	77,03	78,06

3.8 - суретте $f=50$ Гц болған кездегі ротор тогының I'_2 сырғуға (ω) тәуелділігінің графигі көрсетілген. Бұл сипаттама табиғи электрмеханикалық сипаттама болып саналады.

I_1 статор тогын ротор тогы I'_2 мен I_μ магниттеу тогының векторлық қосындысы деп қарастырып, оның модулін мына формула бойынша есептейміз:

$$I_1(S) = \sqrt{(I'_2)^2} + I_\mu^2 + 2I_\mu I'_2 \sin \psi_2$$

мұндағы $\sin \psi_2$ – статор тогының фаза бойынша ығысуы.

$$\sin \psi_2 = \frac{X_1 + X_2'}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + X_K^2}} = \frac{1,11 + 1,54}{\sqrt{\left(0,57 + \frac{0,27}{S}\right)^2 + 2,65}}$$

I_μ – магниттеуші ток:

$$I_\mu = \frac{U_H}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,57^2 + (1,11 + 17,22)^2}} = 12 \text{ A}$$

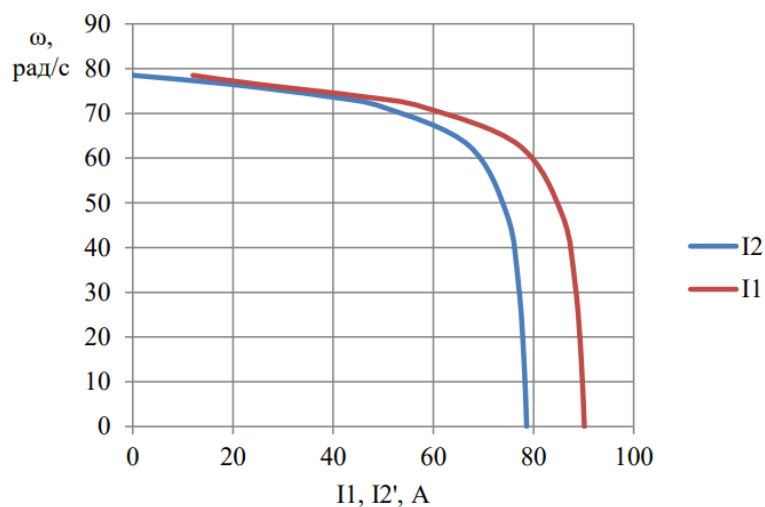
Сырғуға әртүрлі мән бере отырып, ротор тогының мәндерін $I_2'(S)$ (3.5) формула бойынша, ал $\sin \psi_2$ мәндерін (3.7) формула бойынша, $I_1(S)$ мәндерін (3.6) формула бойынша анықтаймыз.

Бұл формулалар бойынша жүргізілген есептеу нәтижелерін ендіреміз. (3.3 кесте)

3.3 -кесте - $I_1(S)$ тәуелділігін есептеу нәтижелері

	0	0,025	0,06	0,092	0,2	0,4	0,6	0,8
$\sin$	0	0,23	0,47	0,61	0,81	0,91	0,93	0,95
I_2	0	19,03	38,70	50,24	67,09	74,77	77,03	78,06
I_1	11,99	24,72	45,58	58,33	77,17	85,80	88,34	89,50
ω	78,5	76,54	73,79	71,28	62,8	47,1	31,4	15,7

3.8-суретте $I_1(\omega)$ және $I_2' = f(\omega)$ тәуелділіктерінің графиктері көрсетілген.



3.8 -сурет - $I_1(\omega)$ және $I_2' = f(\omega)$ тәуелділіктерінің графиктері

3.3 Қозғалтқыштың жасанды механикалық және электрмеханикалық сипаттамаларын есептеу

Қоректендіруші желінің параметрлері номиналдық мәндерден өзгеше болған кезге немесе статор орамалардың қосылу сұлбасы өзгерген кезде немесе қозғалтқыш тізбегіне қосымша электротехникалық элементтер қосылған кездегі жұмыс режимдеріне сәйкес келетін сипаттамаларды электрқозғалтқыштың жасанды сипаттамалар дейді. Қозғалтқышта мұндай сипаттамалар сан жағынан шектеусіз көп болуы мүмкін. Егер жасанды сипаттамалар қозғалтқыштың координаттарын (токты, моментті, жылдамдықты, орынжағдайды) реттеу үшін арнайы түрде қолданылған жағдайда оларды кейде реттеушілік сипаттамалар деп те аталуы мүмкін.

Жүктеме моментінің сипаттамасына сәйкес жиіліктік реттеу заңы (U_{1i}/f_{1i}) таңдалады. Жүктеме моменті әртүрлі болуы мүмкін.

Егер жүктеме моменті жылдамдыққа тәуелді сипаты сызықтық емес болса, онда ол мына өрнекпен жазылады:

$$M_c = M_0 + \frac{k''}{\omega}$$

мұндағы ω - ротордың бұрыштық айналу жиілігі, c^{-1} ; k'' - жүктеме моментінің өзгеруін анықтайтын коэффициент.

Егер жүктеменің моментінің жылдамдыққа тәуелді сипаты желдеткіштік сипатта болса, онда ол мына өрнекпен сипатталады:

$$M_c = M_0 + k' \omega^x$$

мұндағы $M_0=0,1$.

M_H - бос жүріс моменті, Нм.

$$K_H = (M_H - M_{xx})/\omega^2$$

Жүктеменің моменті жылдамдыққа тәуелді сипаты тұрақты ($M_c = M_H = const$) болуы да мүмкін Біз жобада скалярлық басқару заңын ($U_H = f_H = const$) таңдағандықтан жасанды механикалық сипаттамалар осы заңға сәйкес тұрғызамыз. Қозғалтқыштың статор орамаларына берілетін кернеудің жиілігін өзгерткен кезде жиілікке тәуелді параметрлер - синхронды айналу жиілігі ω_0 , сырғанау S және статор кедергісі мен ротордың шашыраңқы индуктивті кедергісі - өзгереді:

Енді механикалық сипаттаманы есептеу мына өрнек бойынша жүргізіледі:

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi, \text{ном}} \cdot f^*)^2 \cdot R'_2}{\omega_{0H} \cdot f^* s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_k \cdot f^*)^2 \right]}$$

Егер жиілік $f_1 = 40$ Гц болса, онда $f^* = f_1 / f_{1H} = 40 / 50 = 0,8$, ал $U_1 = 220 \cdot 0,8 = 176$ В тең болады. Бұл жиілікте шектік сырғу мынаған тең:

$$S_{k40} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + [(X_1 + X_2 \cdot f^*)]^2}} = \frac{0,27}{\sqrt{0,57^2 + ((1,11 + 1,54) \cdot 0,8)^2}} = 0,121$$

Сырғудың мәнін 0...1 аралығында өзгерте отырып, моменттің мәнін анықтаймыз. Ол мәндерді ендіреміз. (3.4 кесте)

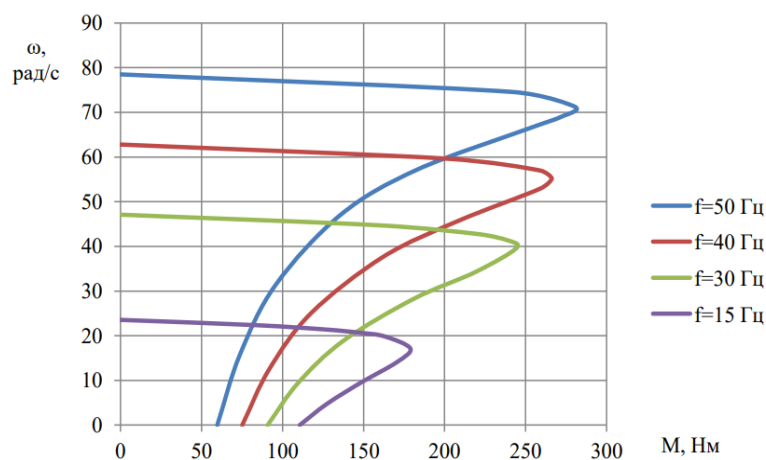
3.4 -кесте - $f_1 = 40$ Гц болған кездегі есептеу нәтижелері

f=40 Гц		0,05	0,092	0,121	0,157	0,272	0,4	0,6	0,8	1
	2,8	59,66	57,02	55,20	52,94	45,72	37,68	25,12	12,56	0
		200,18	258,58	266,25	259,13	208,54	162,19	117,80	91,86	75,10

Егер жиілік $f_1 = 30$ Гц болса, онда:

$$f^* = \frac{30}{50} = 0,6,$$

$$U_1 = 220 \cdot 0,6 = 132 \text{ В}$$

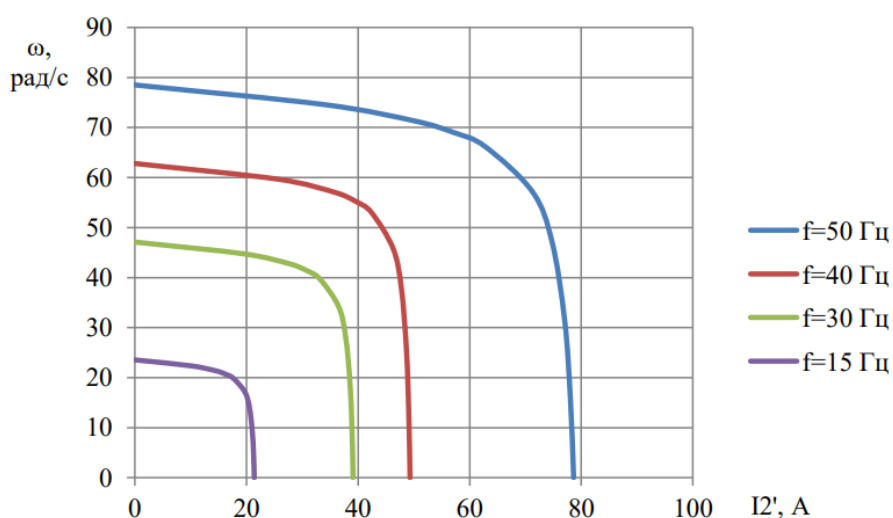


3.9 -сурет - Асинхронды қозғалтқыштың әртүрлі жиілік ($f = 50; 40; 30; 15$ Гц) кезіндегі жасанды механикалық сипаттамалары

Сырғудың мәнін 0...1 аралығында өзгерте отырып, моменттің мәнін анықтаймыз. Ол мәндерді ендіреміз(3.5 кесте)

3.5 -кесте - $f_1=15$ Гц болған кездегі есептеу нәтижелері

f=15 Гц			0,05	0,092	0,121	0,157	0,272	0,4	0,6	0,8	1
		3,55	22,37	21,38	20,70	19,85	17,14	14,13	9,42	4,71	0
			83,35	126,94	146,77	162,97	178,92	170,75	147,98	127,23	110,60



3.10 -сурет – Қозғалтқыштың әртүрлі жиіліктегі (50 Гц;40Гц;30 Гц;15 Гц) электрмеханикалық сипаттамалары

Жетектің алынған электромеханикалық және механикалық сипаттамаларынан тоққа оң кері байланыс енгізген кезде максималды моменттің мәні артады, бірақ сонымен бірге бұл статор орамасындағы кернеудің жоғарылауына әкеледі.

Электр жетегінің салынған механикалық және электромеханикалық сипаттамаларынан оң ток кері байланысын енгізу механикалық сипаттамалардың максималды моментінің мәнін арттырады, бірақ сонымен бірге статор орамасындағы кернеудің қосымша өсуіне әкеледі. Номиналды айналу жиілігіне жақын аймақта механикалық сипаттамалардың қаттылығы шамалы артады.

Электр қозғалтқышының төмен жылдамдықтарындағы жүйенің қосымша магниттелуінің әсері қозғалтқыштың қызып кетуіне әкелуі мүмкін және жылдамдықты реттеудің берілген диапазонында бұл ескерту маңызды. Қозғалтқыш төмен жылдамдықта ұзағырақ жылдамдайды, бұл оның қызып кетуіне және сырғудың жоғарылауына әкеледі. Сондай-ақ, бұл динамикадағы сәттің үлкен лақтыруларына әкеледі, бұл кинематикаға үлкен жүктемелерге

Сондықтан кептіру барабанының қоректендіргішінің электр жетегі үшін векторлық басқарылатын электр жетегі жүйесін қолданған жөн.

Күштік тізбектің параметрлерін есептеу. Ток бойынша кері байланыс коэффициенті:

$$k_{mx} = k_{my} = \frac{U_{\text{ЭТ макс}}}{I_{\text{ЭП макс}}} = \frac{10}{38} = 0,263 \text{ В/А}$$

Ағынның кері байланыс коэффициенті:

$$k_{\Psi} = \frac{U_{3\Phi \text{ макс}}}{\Psi_{\text{H}}} = \frac{10}{1} = 10 \text{ В/Вб}$$

$$\Psi_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi_H}}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1$$

Жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенті:

$$k_c = \frac{U_{\text{эс макс}}}{\omega_{\text{эл макс}}} = \frac{10}{102,09} = 0,098 \text{ В} \cdot \text{с/рад}$$

Қабылдаймыз $U_{\text{эс макс}} = 10 \text{ В}$;

Статор тогының лездік мәнін есептеудегі ең аз кідіріс уақытын В. А. Котельников теоремасының позициясы негізінде анықтауға болады. Ақпаратты бұрмалау келесі шартты орындау кезінде болмайды:

$$k_k \cdot f_n \leq f_{\text{мо}}$$

мұндағы f_n -кернеу инверторының тасымалдаушы жиілігі; $f_{\text{то}}$ -статор тогының лездік мәнін есептеу жиілігі; k_k - коэффициенті.

Содан кейін статор тогының лездік мәнін есептеудегі ең аз кідіріс уақыты:

$$T_{\text{мо}} \geq \frac{1}{f_{\text{мо}}} = \frac{1}{k_k \cdot f_n}$$

Жоғары тасымалдаушы жиілігі f_n инвертор қозғалтқыштың статор тогын синусоидаға жақындатады. Бұл инвертордың тасымалдаушы жиілігін ондаған килогерцке дейін арттырудың себептерінің бірі. Алайда, тасымалдаушы жиілігінің шамадан тыс жоғарылауы инвертор кілттеріндегі коммутация шығындарының жоғарылауына әкеледі. Тасымалдаушы жиіліктің оңтайлы мәні инвертор кілттеріндегі қолайлы коммутациялық шығындар кезінде статор тогының синусоидалық мәніне жақын болуы керек. Әдетте, қазіргі кернеу түрлендіргіштерінде тасымалдаушы жиілігі 5 кГц-тен 20 кГц-ке дейін болады және түрлендіргіштің соңғы параметрінде іс жүзінде анықталады.

Біз тасымалдаушы жиіліктің мәнін қабылдаймыз 10000 f_n шегі және k_k шегі.

Содан кейін статор тогын есептеу кезеңі

$$T_{\text{мо}} \geq \frac{1}{f_{\text{мо}}} = \frac{1}{k_k \cdot f_n} = \frac{1}{2 \cdot 10000} \geq 0,00005$$

Қозғалтқыш статорының тогын есептеудегі кездейсоқтықтарды болдырмау үшін оны сүзгілермен тегістейді. Бұл жағдайда біз түпкілікті қабылдаймыз

$$T_{\mu\text{мо}} = 5 \cdot T_{\text{мо}} = 5 \cdot 0,00005 = 0,00025 \text{ с}$$

Ағын тізбегіндегі кідіріс уақытының тұрақтысы

$$T_{\mu\psi_0} = 8 \cdot T_{\mu TO} = 8 \cdot 0,00025 = 0,002 \text{ с}$$

Жылдамдық тізбегіндегі кідіріс уақытының тұрақтысы

$$T_{\mu\omega_0} = 4 \cdot T_{\mu TO} = 4 \cdot 0,00025 = 0,001 \text{ с}$$

Инвертор уақытының тұрақтысы

$$T_u = \frac{1}{f_u} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с.}$$

Статор орамасының толық индуктивті кедергісі

$$X_1 = X_{\mu H} + X_{1\sigma} = 23,409 + 0,609 = 24,018 \text{ Ом.}$$

Ротор орамасының толық индуктивті кедергісі

$$X_2 = X_{\mu H} + X'_{2\sigma} = 23,409 + 0,824 = 24,233 \text{ Ом.}$$

Шашырау коэффициенті

$$\sigma = 1 - \frac{X_{\mu H}^2}{X_1 \cdot X'_2} = 1 - \frac{23,409^2}{24,018 \cdot 24,233} = 0,058.$$

Онда

$$K_2 = \frac{X_m}{X_2} = \frac{23,409}{24,233} = 0,966.$$

Ротор тізбегінің индуктивтілік мәні

$$L_2 = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{24,233}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0772 \text{ Гн}$$

Айналмалы тізбектің уақыт константасы

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,0772}{0,168} = 0,459 \text{ с.}$$

Статор тізбегінің индуктивтілігінің мәні

$$L_1 = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{24,018}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0765 \text{ Гн.}$$

Айналмалы тізбектің индуктивтілігінің берілген мәні

$$L'_2 = \sigma \cdot L_2 = 0,058 \cdot 0,0772 = 0,00448 \text{ Гн.}$$

Толық белсенді кедергінің берілген мәні

$$R' = R_1 + K_2^2 \cdot R_2 = 0,171 + 0,966^2 \cdot 0,168 = 0,328 \text{ Ом.}$$

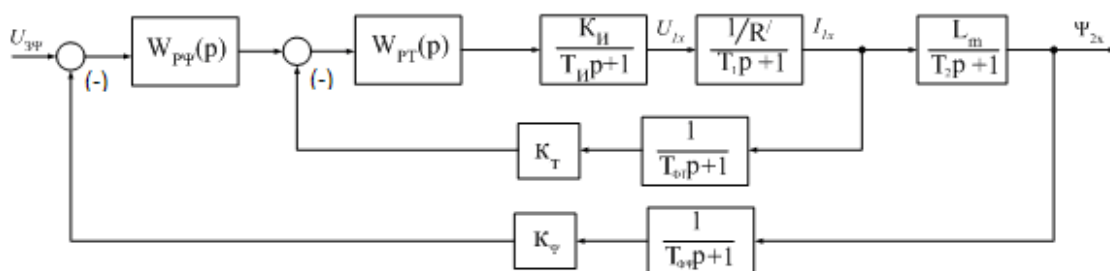
Статор тізбегінің уақыт константасы

$$T_1 = \frac{L'_1}{R'} = \frac{0,00448}{0,328} = 0,014 \text{ с.}$$

Магниттеу тізбегінің индуктивтілігінің мәні:

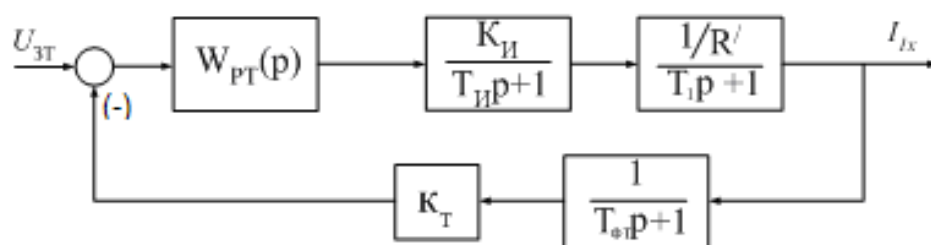
$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{23,409}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,07455 \text{ Гн.}$$

3.12 -суретте - сызықты екі тізбекті ағын сызықталған құрылымдық схемасы келтірілген.



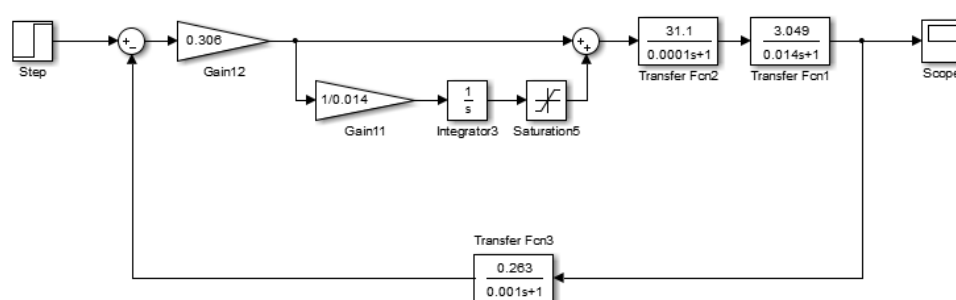
3.12 - сурет-Сызықтық екі тізбектің құрылымдық диаграммасы

Контурдың құрылымдық диаграммасы көрсетілген. (3.13-сурет)



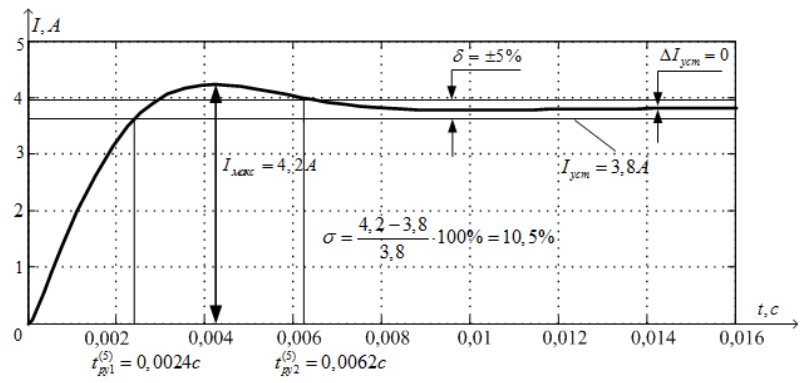
3.13 -сурет - Ток тізбегінің құрылымдық схемасы

Ток тізбегінің құрылымдық схемасы негізінде біз келтірілген модельдеу имитациялық моделін саламыз. (3.13-3.14суретте)



3.14 -сурет - Ток контурының имитациялық моделі

$U_{зт}=0,1$ В -да сатылы кіріс әсерін пысықтау кезінде МО-ға реттелген ток контурын модельдеудегі өтпелі процестердің нәтижелері $I(t)$ сипаттамасы түрінде ұсынылған.(3.15-сурет)



3.15 -сурет - құрылымдық схема бойынша ток тізбегінің $I(t)$ өтпелі сипаттамасы

Алынған модельдеу нәтижелерін талдай отырып, олар контурдың күтілетін көрсеткіштеріне сәйкес келеді деп айтуға болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы жұмыстың мақсаты – 6SL3200-6AM23-8АН0 типті жинақталған жиілік түрлендіргіші негізінде барабанды кептіргіштің питателінің реттелетін электржетегінің ықтимал құрылымын зерттеу болды.

Жұмыста қоректендірудің РЭЖ (реттелетін электр жетегі) жүйесін «жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш» құрылымы негізінде, ашық цикл бойынша скалярлық басқару заңдарын жүзеге асыру мүмкіндігімен іске асыру ұсынылды.

Скалярлық басқарудың статикалық жұмыс режимі зерттелуінің нәтижесінде, электржетек көрсетілген жылдамдық реттеу ауқымында қажетті жұмыс аймағын қамтамасыз етпейтіні және бұл техникалық талаптарға сәйкес келмейтіні анықталды.

Имитациялық модельдеу кезінде динамикалық жұмыс режимдері зерттеліп, скалярлық басқару жүйесінің қажетті диапазонда тұрақты жұмыс істемейтіні және 1:15 реттеу диапазонында электржетек шекті жағдайда жұмыс істейтіні анықталды.

Сондай-ақ, жүйе берілген қозғалыс диаграммасын дәл орындай алмайтыны және сапа көрсеткіштерін қамтамасыз етпейтіні де белгілі болды.

Осы себепті асинхронды электржетекке датчиксіз векторлық басқару енгізілді.

Векторлық басқару заңының артықшылығы – өтпелі сипаттамалардың сапасының жоғары болуы, бірақ бұл үшін ағын, жылдамдық және ток контурларының реттегіштерін баптап, олардың уақыт тұрақтыларын дұрыс таңдау қажет. Параллель контурларды оңтайландыру процесі тұрақты ток электржетегінің екі аймақты жүйесін оңтайландыруға сәйкес келеді, мұнда кері байланыс әсерлері ескерілмейді.

Қоректендіргішті РЭЖ жүйесінде векторлық басқару заңдарын қолдану кезінде жүктеме номиналдан жоғары немесе төмен болған жағдайларда нәтижелер шамамен бірдей болды.

Векторлық жиілік-токтық басқару жүйесінде қозғалтқышты іске қосу кезінде реттегіш параметрлерінің бапталуына сәйкес өтпелі ток процесі апериодтық сипатта болады және максималды мәнге ие.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 СТ КазНИТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазНИТУ, 2023
- 2 Шеховцев П.В. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / М.:ФОРУМ, 2010.-352с.
- 3 В.В Москаленко.Автоматизированный электропривод. М.:1986. –416 с.
- 4 М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В. М. Терехов, А.В. Шинянский Основы автоматизированного электропривода. Учеб. пособие для вузов. М., «Энергия», 1974. – 568 с.
- 5 А.В Ляхомский., В.Н Фащиленко. Автоматизированный электропривод горных машин и установок. / Под ред. А.В. Ляхомского. – М.: Издательство «Горная книга», 2014. – 476 с.
- 7 Питатель скребковый протирочный ПСП для загрузки сушильных барабанов. Руководство по эксплуатации. 1985.
- 8 Ю.С Пухов. Транспортные машины. М., «Недра», 1991.
- 9 Мощинский Ю. А., Беспалов В. Я., Кирякин А. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным. – Электричество, 2015.
- 10 Справочник по электрическим машинам. В 2 т. Под общ. ред. Копылова И.П. Т.1. М., «Юрайт», 2012.
- 11 Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студентов высших учебных заведений. – М., «Академия», 2011. 368 с.
- 12 Преобразователь частоты 6SL3200-6AM23-8AN0 фирмы Siemens: Руководство по эксплуатации.
- 13 А. Ю. Чернышев ,Ланграф С. В., Чернышев И. А. Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»: Методические указания. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. 24с.
- 14 А.Д Поздеев. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых электроприводах. – Чебоксары: 1998. 172 с.
- 15 Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. Елисеева и Шинянского. – М.: Энергоатомиздат: 1983. 616 с.
- 16 Дементьев Ю. Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Электрический привод: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2018. 223 с.
- 17 Чернышев А. Ю., Ланграф С. В., Чернышев И. А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Методические указания. – Томск: Изд. ТПУ, 2012. 23с.
- 18 Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М: Издательский центр «Академия», 2014. 576 с.
- 19 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Учебное пособие. – Томск, 2010. – 448с