

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Сергій ПЕРЕСАДА

(підпис)

“ ___ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи автоматизації,

електропривод та електромобільність»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

на тему: «Електропривод і автоматизація дробильної установки»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕП-61

(шифр групи)

Молдавський Андрій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник

доцент Теряєв Віталій Іванович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові)



(підпис)

Консультант

(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Рецензент

ст. викладач Дубчак Євген Михайлович


(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові)



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
відсутні запозичення з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

Київ – 20__ р.

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: «Електропривод і автоматизація дробильної установки»

Київ – 2020 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Сергій ПЕРЕСАДА
(підпис)

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Молдавському Андрію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: «Електропривод і автоматизація дробильної установки»,

керівник проекту: Теряєв Віталій Іванович к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ___ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту: 09.06.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту: дробарка: діаметр основи внутрішнього конуса 1,2 м; ширина завантажувального отвору 0,6 м; ширина розвантажувальної щілини в фазі розкриття 0,06 м; розмір максимального шматка залізної руди 0,3 м; продуктивність 50 т/год.

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналітичний огляд в області автоматизованого електроприводу промислових комплексів з переробки копалин. 2. Визначення потрібної потужності електродвигуна. 3. Вибір електродвигуна та силового

обладнання. Розробка силової схеми перетворювального пристрою.
4.Математична модель електромеханічного об'єкта. Розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу. 5.Синтез (проектування) системи керування. 6. Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи (дослідження динаміки шляхом моделювання). Аналіз результатів.
7.Спецчастина. Автоматизація технологічного процесу. 8.Розробка схеми керування.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1.Загальний вид агрегату. 2.Схема електрична принципова. 3. Результати моделювання.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.


7. Дата видачі завдання 24 березня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН виконання дипломного проекту на тему «Електропривод і автоматизація дробильної установки»

Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Обсяг, с	Термін виконання	Позначк и про виконан ня
1. Аналітичний огляд в області автоматизованого електроприводу промислових комплексів з переробки копалин 1.1. Галузі використання та типові технічні рішення дробильних установок (з ілюстраціями) 1.2. Опис технологічного процесу та промислової дробильної установки (з ілюстраціями) 1.3. Формулювання вимог до електроприводу, систем автоматичного керування та автоматизації	15	01.04.20	
2. Визначення потрібної потужності електродвигуна 2.1. Енергосиловий розрахунок параметрів технологічного об'єкта 2.2. Обґрунтування вибору потужності електродвигуна	10	20.04.20	
3. Вибір електродвигуна та силового обладнання. Розробка (опис) силової схеми перетворювального пристрою	10	05.05.20	
4. Математична модель електромеханічного об'єкта. Розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу	10	10.05.20	


5. Синтез (проекування) системи керування 5.1. Обґрунтування принципу керування електроприводом 5.2. Структурно-параметричний синтез системи керування 5.3. Розрахунок параметрів регуляторів і зворотних зв'язків	5	15.05.20	
6. Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи (дослідження динаміки шляхом моделювання). Аналіз результатів.	10	28.05.20	
7. Спецчастина. Автоматизація технологічного процесу	5	31.05.20	
8. Розробка (опис) схеми керування	5	03.06.20	
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготовка презентації		05.06.20	
Разом	60-90		

Студент


 (підпис)

Андрій МОЛДАВСЬКИЙ

Керівник проекту


 (підпис)

Віталій ТЕРЯЄВ

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 70 сторінках та вміщує 19 рисунків, 2 таблиці та 3 плакати А1.

В даному дипломному проекті проведено аналітичний огляд існуючих агрегатів для дроблення корисних копалин. На основі аналізу техніко-економічних показників обґрунтовано вибір конусної дробарки, як найбільш ефективної для поставленої задачі. Здійснено вибір двигуна та силового електрообладнання, виконана автоматизація технологічного процесу подрібнення руди. Спроектована схема керування електроприводами дробильного комплексу, складені алгоритми роботи програмного забезпечення контролера, що дає нам змогу виконувати всі операції в автоматичному режимі. Методами математичного моделювання отримано графіки перехідних процесів.

ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ, КЕРУВАННЯ, ВЕКТОРНЕ, УСТАНОВКА, ДРОБИЛЬНА, РОЗРОБКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА, МОДЕЛЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ДИНАМІКА

					141. 61106.015.БР			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Молдавський			Електропривод і автоматизація дробильної установки <i>Реферат</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Теряев В.І.					7	70
Н. Контр.		Желінський М.			«КПІ ім. Ігоря Сікорського» Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -61			
Затверд.		Пересада С.						

SUMMARY

The diploma project contains on 70 pages and 19 pictures, 2 tables and 3 posters A1.

In this diploma project the analytical review of existing units for crushing of minerals is carried out. Based on the analysis of technical and economic indicators, the choice of the conical crusher as the most effective for the task is substantiated. The choice of engine and power electrical equipment was made, automation of the technological process of ore grinding was performed. The control scheme of electric drives of a crushing complex is designed; algorithms of work of the software of the controller which allows us to carry out all operations in an automatic mode are made. Graphs of transients are obtained by methods of mathematical modeling.

ELECTRIC, FREQUENCY CONTROL, DRYING APPLIANCE,
DEVELOPMENT, AUTOMATIC, MATHEMATIC MODEL, RESULTS

					141. 61106.015.BW			
	Letter	№ of doc.	Sign	Date	"Electric drive and automation of the milling plant" <i>Summary</i>	L.	Page	Pages
Devel.	Moldavskiy A.V.						8	70
Checked	Teriaev V.I.					NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», FEA		
N. Contr.	Zhelinskyj M.							
Approved	Peresada S.M.							

ЗМІСТ

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Загальні відомості	12
1.2 Принцип роботи та опис технологічного процесу	13
1.3 Дробильні установки в гірництві	19
Висновки до розділу 1	25
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА	26
2.1 Розрахунок параметрів технологічного об'єкта	26
2.2 Розрахунок номінальних даних АД	28
2.3 Методи керування координатами АД	32
2.3.1 Керування зміною величини напруги живлення.....	32
2.3.2 Введення додаткового опору в коло ротора	33
2.3.3 Перемикання кількості пар полюсів	33
2.3.4 Скалярний метод частотного керування.....	34
2.3.5 Метод векторного керування.....	35
Висновки до розділу 2	36
3 ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ. РОЗРОБКА СИЛОВОЇ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ	37
3.1 Огляд сучасних перетворювачів частоти	37
3.2 Функціональна схема асинхронного електроприводу.....	41
Висновки до розділу 3	45
4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЇЇ СТРУКТУРНА СХЕМА.....	46
4.1 Алгоритм непрямого векторного керування АД.....	48
Висновки до розділу 4.....	53
Висновки до розділу 5.....	56
6 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ. 58	58
6.1 Структура лінії дроблення	58
6.2 Розробка програмного забезпечення.....	59

Висновки до розділу 6.....	62
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	65
Додаток А	67

ВСТУП

На сьогодні подрібнення використовуються в багатьох галузях промисловості, таких як: гірнична, харчова, хімічна, деревообробна.

Дробленню піддають тверді корисні мінерали, будівельні матеріали, хімічну сировину, абразивні матеріали, тверду вторинну сировину, деякі види рослинної сировини. Серед усіх видів сировини, яке піддається дробленню, домінують руди чорних і кольорових металів і нерудні корисні копалини (вугілля, граніти, вапняки). За наближеною оцінкою, щорічно в світі піддають дробленню 2,5 - 3 млрд. тон твердої сировини.

Очевидно, що дробити тверду сировину необхідно для отримання з неї шматків меншою крупності в порівнянні з вхідним матеріалом, оскільки спочатку цей матеріал, наприклад добутий в кар'єрі руда, може бути дуже великим - з шматками розміром до 1-1,5 м.

Метою даного дипломного проекту є вибір найбільш раціонального типу дробильної установки при умовах використання у кар'єрі ПАТ «Південний ГЗК», обчислення її потужності та ЕП, створення алгоритму для керування приводом дробарки, та лінії подрібнення.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні відомості

Процес дроблення призначений для зниження крупності шматків руди, що видобуваються в кар'єрі (максимальна допустима крупність шматка руди - 1200 мм), в шахті (максимальна крупність шматків до 800 мм), до крупності, прийнятної для подальших процесів підготовки руди до збагачення в циклі подрібнення (максимальна крупність шматків руди, що надходять на подрібнення 20-40 мм).

За принципом дії розрізняють такі типи грохотів:

а) нерухомі (колосникові, гідрогрохоти, конусні та дугові);

б) з рухомими елементами:

- з коливаннями та вібраціями робочого органу (інерційні, резонансні, плоско-хитні, гіраційні);
- з обертальним робочим органом (барабанні та грохоти-дробарки, відцентрові, конусні самоочисні, імовірнісні);
- з частково рухомою просіювальною поверхнею (валкові, шнекові, з пружно-деформованим ситом, з безпосереднім збудженням сита).

За розташуванням просіювальної поверхні розрізняють:

- похилі;
- горизонтальні грохоти;

Відповідно до форми просіювальної поверхні грохоти поділяють на:

- плоскі;
- зі змінним кутом нахилу;
- дугові;
- конічні;
- циліндричні (барабанні).

За призначенням розрізняють:

- грохоти попередньої класифікації (крупність матеріалу 80–100 мм і більше);
- грохоти підготовчої класифікації (крупність матеріалу 3–25 мм);
- грохоти дешламаційні (для мокрого відокремлення дріб'язку до 0,5– 1,0 мм);
- грохоти зневоднювальні; грохоти для розсортування (головним чином вугілля);

Дробарки:

- щоківі;
- конусні крупного дроблення;
- конусні середнього і дрібного дроблення;
- валкові;
- ударної дії ;

Млини:

- барабанні або гравітаційні (кульові, стержневі, роликові, самоподрібнення);
- відцентрові, вібраційні (інерційні, гіраційні); маятникові (вихрові, аеробильні, молоткові, пальцеві); струменеві, колоїдні та ін.

1.2 Принцип роботи та опис технологічного процесу

Дроблення крупної породи проводиться в дробарках великого дроблення конусного типу (КВД - конусні великого дроблення) або в щоківих дробарках типу ЩКД (щоківі крупного дроблення).

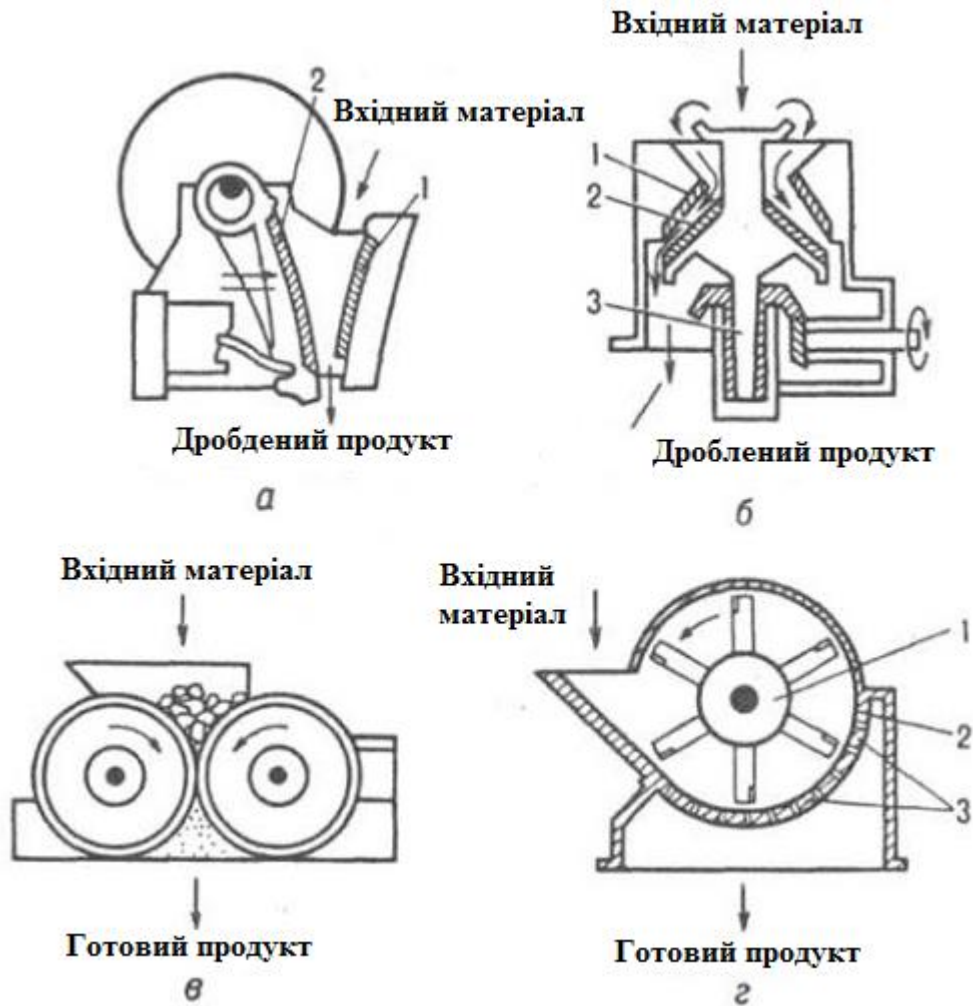


Рисунок 1.1 - Основні типи дробарок: а - щокова (1, 2 - нерухома і рухома щоки); б - конусна (1, 2 - нерухомий і хитний конуси, 3 - вал); в - валкова; г - роторна (1 - ротор з молотками, 2 - статор, 3 - колосники)

Щокові дробарка зі складним хитанням рухомої щоки посаджена на горизонтальну вісь, що спирається на два підшипники. Кожна точка рухомої щоки, періодично наближаючись і віддаляючись від нерухомої, описує дугу окружності. Щілина між нерухомою і рухомою щоками при цьому то зменшується то збільшується, і шматки матеріалу, що знаходяться між ними, спочатку роздавлюються, а потім випадають з дробарки.

У дробарок зі складним хитанням рухомої щоки верхній кінець її підвішений до обертається ексцентрикових валу, а нижній шарнірно пов'язаний тягою з задньої торцевої стінкою корпусу дробарки. При обертанні вала кожна

точка щоки рухається по замкнутій кривій, тобто гойдається по дузі кола і поступально переміщається вгору - вниз уздовж щоки. Матеріал, затиснутий між щоками такої дробарки, не тільки роздавлюється, але і стирається. У таких дробарок відносно невелика продуктивність.

Валкові дробарки (рис. 1.1, в), які використовуються для дрібного дроблення, складаються з однієї або двох пар горизонтальних зубчастих валків, які, обертаючись назустріч один одному, захоплюють і розчавлюють шматки матеріалу; при різній частоті обертання валків відбувається також стирання матеріалу. Основні переваги: простота конструкції, рівномірність подрібнення матеріалу; недоліки: мала продуктивність і непридатність для дроблення високоміцних матеріалів, нерівномірний знос валків; ступінь подрібнення 2-4.

Для дроблення всіх видів копалин використовуються роторні, або молоткові дробарки (рис. 1.1, г), де матеріал подрібнюється ударами обертових шарнірно підвішених молотків або жорстко закріплених на роторі бив, а також при ударах шматків матеріалу одна об одну і об поверхню статора або відбійних плит. Основні особливості: компактність конструкції, високі продуктивність і ступінь подрібнення, низькі енерговитрати; недолік - підвищений абразивний знос [1].

На рис. 1.2 показана дробарка з вільно підвішеними молотками, що застосовується для розмелювання різних сипучих харчових продуктів

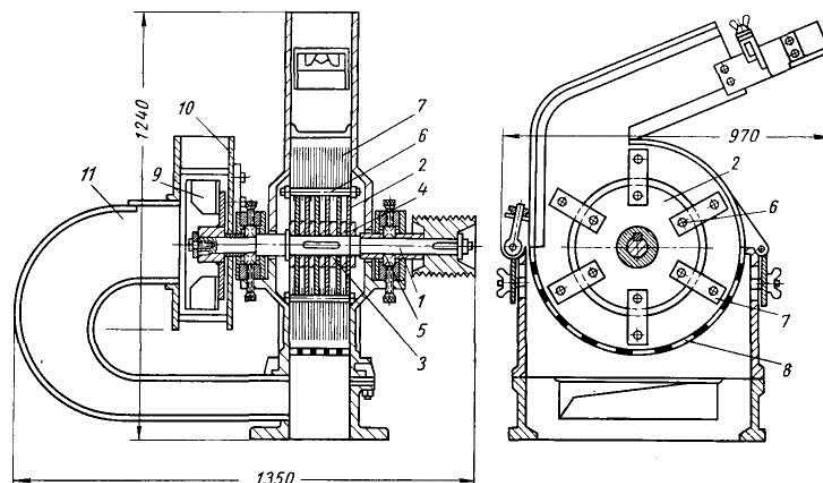


Рисунок 1.2 - Будова молоткової дробарки з вільно підвішеними молотками

На валу 1 за допомогою шпонки укріплені диски 2 з проміжними кільцями 3. В осьовому напрямку диски закріплені гайкою 4. Вал обертається в двох роликотідшипниках 5. На стержнях 6 підвішені молотки 7. У нижній частині машини є змінне сито 8, укріплене в кільцевих пазах корпусу. На одному кінці вала змонтовано колесо 9 вентилятора, що обертається в корпусі 10. Всмоктуючий отвір вентилятора з'єднаний повітропроводом 11 з нижньою частиною дробарки. Отвір, через який нагнітається повітря, з'єднаний зазвичай зі збіркою, що складається з циклону і матерчастого фільтра. Подвійний патрубок із засувками для випуску розмеленого продукту знаходиться в нижній частині циклону.

Одна з нових конструкцій молоткових дробарок з пропускнуою спроможністю до 3 т/год зображена на рис. 1.3.

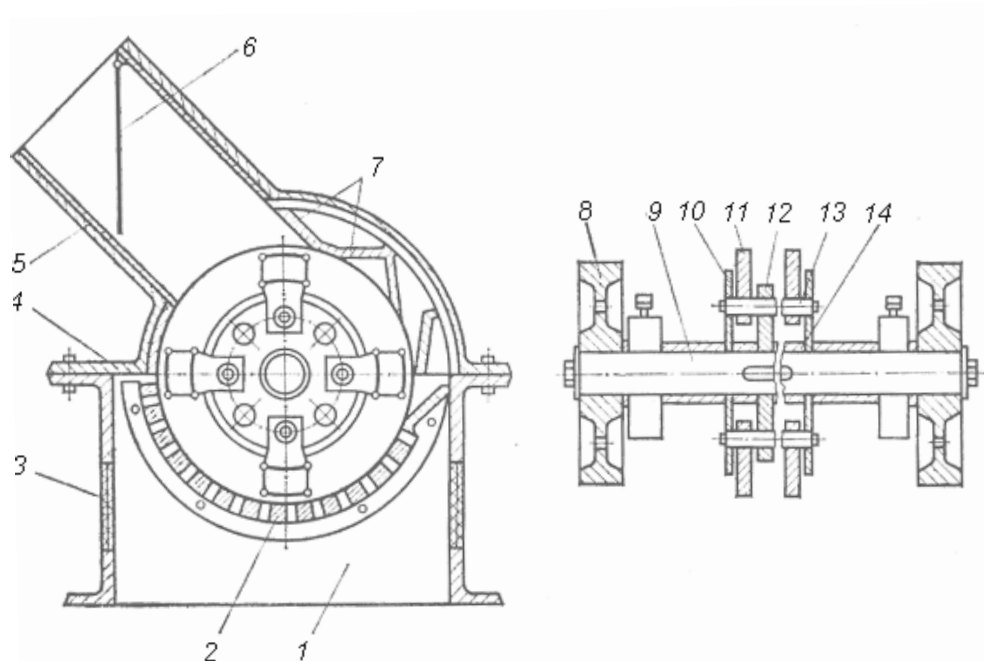


Рисунок 1.3 - Молоткова дробарка для розмелювання вільним ударом:

1 – основа; 2 – подова решітка; 3 – відкидна кришка; 4 – верхня частина корпусу; 5 – завантажувальний пристрій; 6 – шторка; 7 – броньова плита, яка запобігає викиду матеріалу із зони подрібнення; 8 – шків; 9 – вал ротора; 10 – кінцеві шайби; 11 – молотки; 12 – диски; 13 – стяжки; 14 – фіксувальні кільця

Основними вузлами молоткових дробарок є статор-корпус та ротор із закріпленими на ньому молотками. Матеріал розмелюється ударами молотків, які обертаються з великою швидкістю. Матеріал у камері розмелювання через завантажувальний пристрій 5 попадає під удар молотків, подрібнюється і відкидається на броньову плиту 7. Після зіткнення з нею частинки відлітають і знову попадають під удар молотків. Знову подрібнені й відкинуті від броньової плити частинки далі розмелюються молотками доти, доки їх розмір не стане меншим за розмір отворів подової решітки. Після цього продукти розмелювання виходять через ці отвори із зони подрібнення і попадають у приймальний бункер. Розмір частинок розмеленого матеріалу визначається розміром отворів у подовій решітці, яка залежно від вимог до властивостей продуктів подрібнення може замінюватись на іншу.

В цих дробарках використовують металеві штамповані сита з діаметром отворів до 0,5 мм або плетені дротяні сітки з відповідним розміром осередку. За даними заводів, що випускають ці дробарки, їх застосування доцільно в тих випадках, коли необхідно забезпечити розмелювання холодного матеріалу [3].

Основними робочими органами молоткових дробарок є молотки, сита і броньові плити. У комбікормової промисловості застосовують дробарки з пластинчастими молотками прямокутної форми, що мають два отвори. До переваг цих молотків відносяться простота виготовлення, можливість максимального використання їх робочої поверхні, так як при зносі одного кінця молотка може працювати інший після повороту молотка. Для виготовлення молотків застосовують леговану сталь 30ХГС.

Довготривалість роботи молотків залежить від їх якості, виду матеріалу, що подрібнюється продукту, режиму роботи дробарки і коливається в межах 72-280 год. При зносі молотків відстань між їх зовнішньої кромкою і внутрішньою поверхнею ситового барабана збільшується, внаслідок чого продукт, що знаходиться в цій зоні, погано подрібнюється, а витрата енергії на подолання тертя збільшується. Крім того, при надмірному і нерівномірному

зносі молотків порушується балансування ротора, в результаті чого виникають вібрації, що негативно впливають на міцність машини [2].

Ситові поверхні молоткових дробарок служать для виведення подрібненого продукту з робочої зони дробарки, а броньові - для посилення ефекту подрібнення. Сита виготовляють з металевих листів товщиною від 3 до 8 мм з круглими, квадратними і продовгуватими отворами. Отвори сит розташовують в шаховому порядку.

Залежно від форми отворів і товщини листа сита роблять штампованими пробивним і свердління. На рисунку 1.4 показані сита, які найбільш часто застосовуються в комбикормовій промисловості. Лускаті сита з пробивним отворами роблять з листів сталі товщиною 2,5-3 мм. При виготовленні лускатих сит надрізану частину металу видавлюють або відгинають в одну сторону; при цьому утворюються отвори напівовальної або прямокутної форми. Поверхня лускатих сит з одного боку гладка, а з іншого - гострошорстка з відігнутими краями отворів. При установці сита в дробарку гострошорстка поверхня звернена до ротора, а відігнуті кромки отворів спрямовані проти руху ротора.

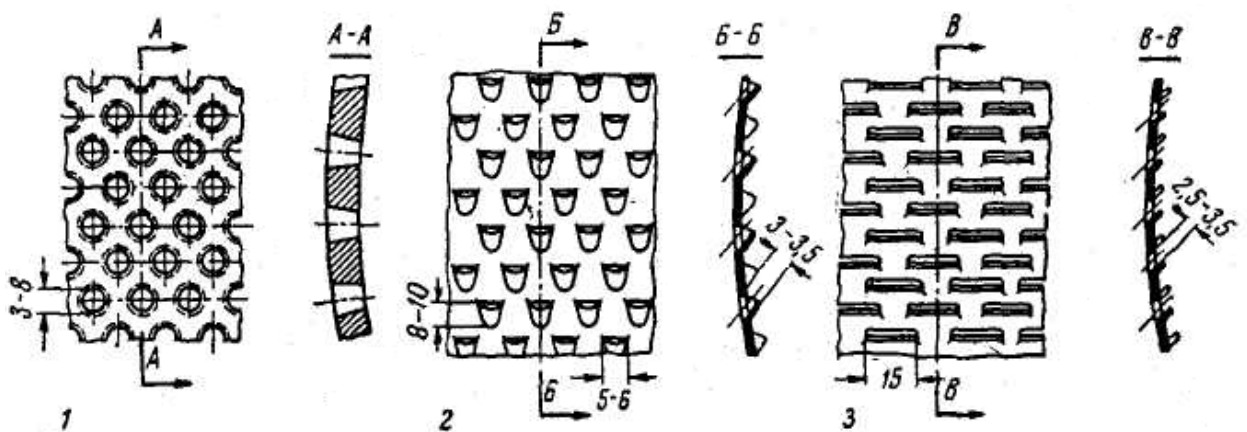


Рисунок 1.4 - Сита молоткових дробарок: 1 - з висвердленими отворами конічної форми; 2-луската з пробивним отворами напівовальної форми; 3 - луската з пробивним отворами прямокутної форми

Допускається на всіх типах дробарок для розмелювання зерна і кормових продуктів харчових виробництв застосування сит зі сталі товщиною 3-5 мм з круглими отворами діаметром 2-8 мм. [2]

1.3 Дробильні установки в гірництві

Показники роботи дробарок залежать від фізичних властивостей матеріалу (міцності, крупності, текстурних особливостей та ін.), а також від умов їхньої експлуатації. Основна умова високої продуктивності дробарок при збереженні заданої крупності дробленого продукту — рівномірне завантаження і своєчасна заміна зношеної футеровки.

Розрізняють щоківі, конусні, валкові, барабанні, молоткові і роторні дробарки та ступи, дробарки спеціального призначення.

Щоківі дробарки установлюють переважно на збагачувальних фабриках невеликої продуктивності. Вони в порівнянні з конусними дробарками більш пристосовані для дроблення твердих окові дробарки працюють за принципом роздавлювання і часткового стирання матеріалів, займають менше місця по висоті, простіші конструктивно, але менш пристосовані для дроблення матеріалів пластинчастої форми. Трощення відбувається між двома щоками, з яких одна — нерухома, а інша — рухома. Щоківі дробарки розділяються на два кінематичних класи: із простим рухом щоки — ЩДП і складним — ЩДС.

Валкові дробарки виготовляються з гладкими — ДГ і зубчатими валками — ДДЗ.

Принцип дії дробарок однаковий: вихідний матеріал подається зверху, затягується валками, що обертаються назустріч один одному, і при проходженні між ними дробиться.

Валкові дробарки з гладкими валками працюють за принципом роздавлювання вихідного матеріалу при затягуванні його в щілину між валками. Вони застосовуються для середнього і дрібного дроблення руд, коли

недопустиме переподрібнення цінного крихкого мінералу (марганцеві, каситеритові, вольфрамітові руди, калійні солі), іноді їх застосовують для середнього дроблення вугілля й коксу.

При виборі дробарок з гладкими валками треба дотримуватися умови захоплення валками шматка матеріалу, що дробиться: $D_B = (15:20)D_{\max}$, де D_B — діаметр валків, мм; D_{\max} — максимальний розмір грудок матеріалу, що дробиться, мм.

На збагачувальних фабриках дробарки з гладкими валками звичайно використовують при ступені дроблення 3-4.

Валкові дробарки з зубчатими валками призначені для крупного і середнього дроблення м'яких і крихких порід (вугілля, антрацитів і сланців) при необхідності одержати грудковий дроблений продукт із невеликим вмістом дріб'язку.

Процес дроблення в дробарках із зубчатими валками відбувається за рахунок розколювання порід і здійснюється при меншому переподрібненні та витраті енергії, ніж у щоккових і конусних дробарках.

Зубчаті дробарки працюють при ступенях дроблення 4-6. Для зубчатих дробарок також повинна виконуватися умова захоплення шматка матеріалу, що дробиться: $D_B = (1,5 — 3,5) D_{\max}$, де D_B і D_{\max} — діаметр валків і максимальний розмір грудок матеріалу, що дробиться, мм.

Валкові дробарки мають багато переваг:

- простота конструкції;
- компактність;
- надійність в експлуатації і невеликий вміст дріб'язку в готовому продукті.

Однак вони мають низьку продуктивність і великі питомі витрати електроенергії.

Дробарки ударної дії (молоткові — М і роторні — ДРК і ДРС) використовуються для крупного, середнього і дрібного дроблення матеріалів не тільки низької і середньої, але й підвищеної міцності. До переваг дробарок ударної дії слід віднести:

- простоту конструкції;
- надійність, компактність;
- велику продуктивність;
- високий ступінь дроблення (20 і більше);
- порівняно невеликі питомі витрати електроенергії.

Тому вони широко застосовуються для дроблення кам'яного вугілля, коксової шихти, вапняку, руд чорних, кольорових, рідкісних і благородних металів, калійних солей, баритових, флюоритових і азбестових руд, будівельних матеріалів.

Роторні дробарки випускають двох типів: ДРК — для крупного дроблення і ДРС — для середнього і дрібного. У роторних дробарок співвідношення між діаметром ротора (D_P) і максимальним розміром шматка в живленні (D_{max}) складає: — для дробарок ДРК: $D_P = (1,7 \dots 2) D_{max}$, — для дробарок ДРС: $D_P = 3,3D_{max}$.

Двороторні дробарки в порівнянні з однороторними менш піддані забиванню і звичайно застосовуються для дроблення вологіших матеріалів і матеріалів, що злипаються, вони також дозволяють завантажувати матеріал більшої крупності. Ширину щілини колосникових решіток і відстань між ними та кінцем бил (молотків) вибирають залежно від необхідної крупності дробленого продукту і вологості матеріалу, що дробиться. При дробленні глинистих вологих руд, щоб уникнути забивання колосникових решіток, відстань між колосниками збільшують. У важких випадках дробарки працюють без колосникових решіток. Без колосникових решіток продуктивність дробарки підвищується, але при цьому в дробленому продукті з'являються зерна крупніші допустимих розмірів.

Конусні дробарки встановлюють на збагачувальних фабриках великої продуктивності. Основне подрібнююче зусилля в конусних дробарках — роздавлювання, але має місце і розлам грудок при вигині, що виникає, коли грудка затиснута між увігнутою поверхнею чаші 1 і опуклою поверхнею

рухомого конуса 2. Конусні дробарки за своїм призначенням розділяються на дробарки для крупного дроблення — ККД (рис.1.5 а), середнього дроблення — КСД (рис. 1.5 б) і дрібного дроблення — КМД (рис.1.5 в).

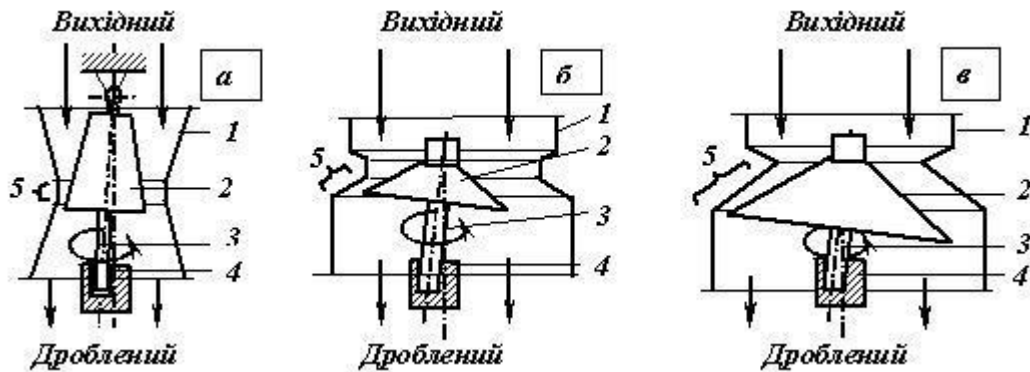


Рисунок 1.5 - Схеми конусних дробарок: а — крупного дроблення; б — середнього дроблення; в — дрібного дроблення. 1 — конічна нерухома чаша; 2 — подрібнюючий конус; 3 — вал; 4 — ексцентриковий стакан; 5 — зона дроблення

Конусні дробарки застосовуються для всіх видів дроблення порід високої і середньої міцності і встановлюються як на стаціонарних дробильних підприємствах, так і на пересувних дробильно-сортувальних установках. Камера дроблення конусних дробарок утворюється двома усіченими конічними поверхнями, одна з яких (зовнішня) нерухома, а інша (внутрішня) — рухома, причому розташована ексцентрично відносно нерухомої. Дроблення матеріалу в конусних дробарках відбувається при наближенні конічних поверхонь, а вивантаження готового продукту – при віддаленні їх один від одного, причому ці процеси відбуваються безперервно в різних зонах камери дроблення. Руйнування матеріалу відбувається під дією стискаючих, стираючих і таких, що вигинають, навантажень; останні дуже великі завдяки круговій поверхні камери дроблення.

Будучи машинами безперервної дії, конусні дробарки забезпечують високу врівноваженість рухомих частин. До їх переваг відносять також

можливість запуску машин під завалом, високий ступінь дроблення матеріалу, надійність у роботі та інші. Це зумовлює їх широке розповсюдження. Залежно від призначення і кінематичної схеми конусні дробарки бувають крупного (ККД), середнього (КСД) і дрібного (КМД) дроблення.

Конусні дробарки використовують для дроблення твердих і в'язких порід. Конусні дробарки крупного дроблення звичайно працюють при ступені дроблення до 4, середнього і дрібного — до 7.

В даній роботі модернізується конусна дробарка крупного дроблення ККД 500/75 (див. рис. 1.6).

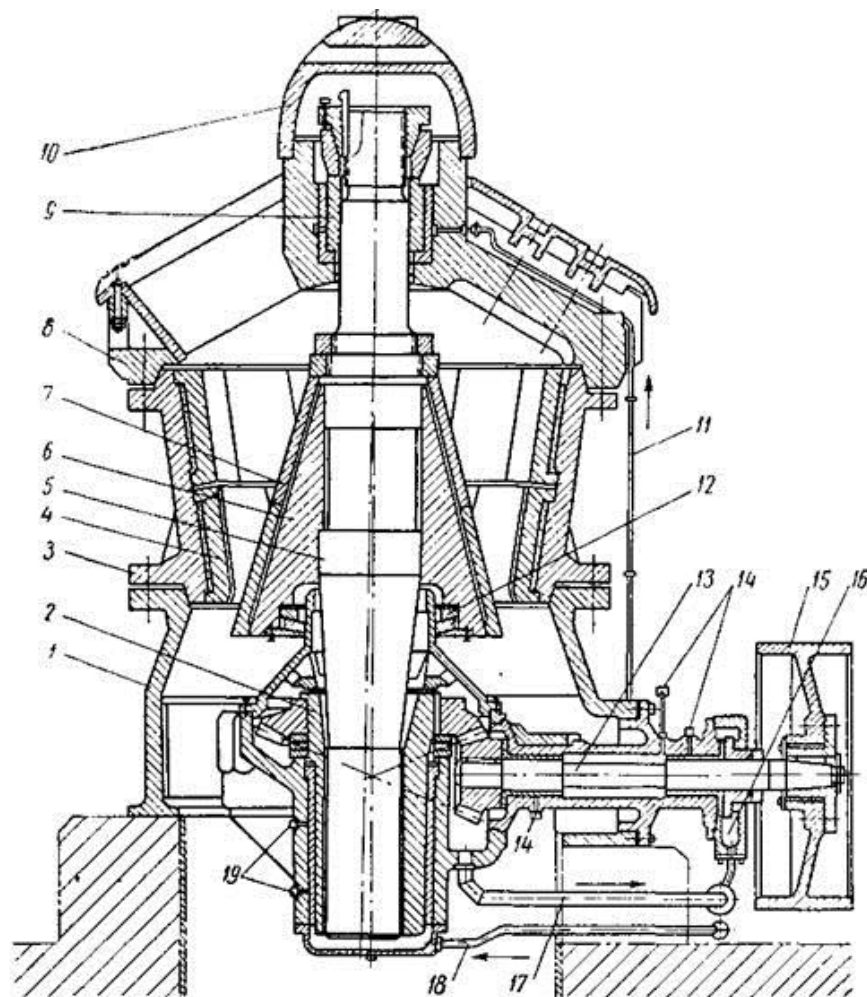


Рисунок 1.6 - Конусна дробарка: 1- нижня частина станини; 2 - ексцентрик; 3 - середня частина станини; 4 - броня; 5 - вал конуса; 6 - корпус конуса; 7 - броня; 8 - траверса; 9 - обойма верхнього підвісу; 10 - ковпак; 11 - труба для підведення густого змащування; 12 - протипиловий пристрій; 13 - приводний вал; 14 - термодатчики приводного валу; 15 - шків; 16 - маслозбірник; 17 - труба для зливу масла; 18 - маслопідвідна труба; 19 - термодатчики ексцентриккового вузла

На верхню частину корпусу ексцентрика напесовано зубчасте колесо, що спирається на кільцевий підп'ятник, розташований на стакані у нижній частині станини. У стакан запресована сталева циліндрична втулка, в якій і обертається ексцентрик. Передача обертання ексцентрика здійснюється за допомогою одного приводного валу.

Особливості пуску конусної дробарки. Однією з особливостей експлуатації конусних дробарок крупного дроблення є можливість запуску їх під завалом. Засобами полегшення запуску дробарки під завалом є реверсування пуску і опускання рухомого конуса, що можливо в дробарках з гідравлічною опорою рухомого конуса.

Натурні випробування і теоретичні дослідження дозволяють стверджувати: найбільш складним є запуск дробарки, зупиненої під завалом. У цьому випадку режим мастила ексцентрикового вузла в перший момент пуску по суті є напівсухим, і основний опір пуску надають сили тертя в ексцентриковому вузлі.

У звичайних дробарках в пусковий апаратурі приводних двигунів повинні бути передбачені засоби, що полегшують реверсування під час пуску такі, як пристрої плавного пуску.

Пристрій плавного пуску або софт-стартер - електротехнічне обладнання для забезпечення старту і розгону двигуна, а також узгодження пускового моменту на валу з навантаженням. Пристрій являє собою безтрансформаторний, напівпровідниковий, безступінчатий перетворювач напруги. Пристрої плавного пуску застосовують:

- для включення потужних асинхронних електродвигунів в мережу малої потужності;
- для плавного запуску, розгону і зупинки електричних машин;
- при необхідності пуску двигуна під навантаженням;
- для зниження пускових струмів.

Ще більш ефективним є використання перетворювачів частоти, які дозволяють відмовитися від дорогих і недосконалих схем запуску електродвигунів, а також значно розширити сфери застосування недорогих і функціональних асинхронних машин з короткозамкненим ротором за рахунок можливості регулювання швидкості і моменту. Асинхронний електропривод з векторним керуванням передбачається використовувати в конусній дробарці, яка модернізується в даному дипломному проекті.

Висновки до розділу 1

1. На даний момент в гірництві здебільшого використовуються щоківі, конусні, валкові, барабанні, молоткові і роторні дробарки. Їх використовують для дроблення кам'яного вугілля, коксової шихти, вапняку, руд чорних, кольорових, рідкісних і благородних металів, калійних солей, баритових, флюоритових і азбестових руд, будівельних матеріалів, твердих, крихких, в'язких, та навіть вологих порід.

2. В даному проекті розглядається процес подрібнення залізної руди під час процедури збагачення. Для цих цілей найкращою є конусна дробарка крупного дроблення ККД 500/75. Вибір даної дробарки обумовлений тим, що конусні дробарки крупного дроблення у порівнянні з щоківими мають більшу продуктивність, більшу надійність в роботі, для них характерні менші питомі витрати електроенергії. Ці дробарки дозволяють отримати більш рівномірний за крупністю дроблений продукт, що є необхідним для технологічного процесу дроблення.

3. Задача модернізації конусної дробарки полягає в заміні існуючого нерегульованого головного електроприводу на регульований асинхронний електропривод з векторним керуванням.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

2.1 Розрахунок параметрів технологічного об'єкта

Вихідні дані і вимоги для розрахунку потужності приводного електродвигуна наведені в нижче:

- діаметр основи внутрішнього конуса в м: 1,2
- ширина завантажувального отвору в м: 0,6
- номінальна ширина розвантажувальної щілини в фазі розкриття профілів, 0.06 м
- розмір максимального шматка харчування, 0.3 м
- продуктивність, т/год: 50
- встановлена потужність головного приводу, кВт, не більше 150
- габаритні розміри в мм: $\ell \times b \times h = 4500 \times 4500 \times 5000$ мм
- маса дробарки, т, не більше 30

Розрахуємо частоту обертання ексцентричного стакану за наступною формулою:

$$n = 15 \sqrt{\frac{g(tg\gamma_1 + tg\gamma_2)}{2S}}$$

$$n = 15 \sqrt{\frac{9.81(tg10 + tg19)}{2(0.02B + 0.01)}}$$

$$n = \frac{240}{\sqrt{2B + 1}}$$

$$n = \frac{240}{\sqrt{2 \cdot 0.6 + 1}} = \frac{240}{1.4832} = 161.8, \text{ об / хв}$$

Потужність двигуна конусного подрібнювача можна визначити за наступною формулою:

$$N = \frac{\sigma_{сж}^2 n d_2 (d_n^2 - d_k^2)}{24 E 1000 \eta}$$

$$N = \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 161.8 \cdot 120 \cdot (60^2 - 30^2)}{24 \cdot 0.42 \cdot 10^{10} \cdot 1000 \cdot 0.8}$$

$$N = 13, \text{ кВт}$$

Виходячи з результатів розрахунків потрібної потужності та тривалого режиму роботи обираємо АД з короткозамкненим ротором типу 4А180М8У3. Паспортні дані двигуна наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані двигуна 4А180М8У3

Номінальна потужність	$P_n = 15 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга	$U_{лн} = 380 \text{ В}$
Число пар полюсів	$p_n = 4$
Момент інерції	$J = 0.25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальний ККД	$\eta_n = 87.0$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi_n = 0.82$
Перевантажувальна здатність	$\lambda_k = 2.0$
Номінальне ковзання	$s_n = 2.6$
Критичне ковзання	$s_k = 13.0$
Номінальна частота напруги	
Параметри Г-подібної схеми заміщення у (відносних одиницях)	
Індуктивний опір розсіювання статора	$x'_{1v} = 0.13$
Активний опір статора	$r'_{1v} = 0.064$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$x''_{2v} = 0.17$
Приведений активний опір ротора	$r''_{2v} = 0.030$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$x'_{mv} = 2.4$

2.2 Розрахунок номінальних даних АД

Кутова швидкість напруги статора:

$$\omega_{on} = 2\pi f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с} \quad (2.1)$$

Швидкість обертання ідеального холостого ходу:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{on}}{p_n} = \frac{314}{4} = 78.5 \text{ рад/с} \quad (2.2)$$

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - s_n) = 78.5 (1 - 0.026) = 76.46 \text{ рад/с} \quad (2.3)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{15 \cdot 10^3}{76.46} = 196.18 \text{ Нм} \quad (2.4)$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = \lambda_k M_n = 2.0 \cdot 196.18 = 392.36 \text{ Нм} \quad (2.5)$$

Фазна номінальна напруга двигуна:

$$U_n = \frac{U_{лн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В} \quad (2.6)$$

Номінальний струм статора:

$$I_n = \frac{P_n}{3U_n \cos \varphi_n \eta_n} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0.82 \cdot 0.87} = 31.86 \text{ A} \quad (2.7)$$

Амплітудне значення напруги:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ B} \quad (2.8)$$

Амплітудне значення струму:

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 31.86 = 45.06 \text{ A} \quad (2.9)$$

Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $r_1 = 0$:

$$\psi_{1.xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{on}} = \frac{311}{314} = 0.99 \text{ Bб} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт перерахування між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\overline{X}_\mu + \sqrt{\overline{X}_\mu^2 + 4\overline{X}'_1 \overline{X}_\mu}}{2\overline{X}_\mu} = \frac{2.4 + \sqrt{5.76 + 4 \cdot 0.13 \cdot 2.4}}{2 \cdot 2.4} = 1.05 \quad (2.11)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\begin{aligned}
 x_{1v} &= \frac{x'_{1v}}{c_1} = \frac{0.013}{1.05} = 0.124; & r_{1v} &= \frac{r'_{1v}}{c_1} = \frac{0.064}{1.05} = 0.06; \\
 x'_{2v} &= \frac{x''_{2v}}{c_1^2} = \frac{0.17}{1.05^2} = 0.154; & r'_{2v} &= \frac{r''_{2v}}{c_1^2} = \frac{0.030}{1.05^2} = 0.027;
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

Активний опір статора:

$$r_1 = r_{1v} \frac{U_n}{I_n} = 0.06 \frac{220}{31.86} = 0.414 \text{ Ом} \tag{2.13}$$

Індуктивний опір статора:

$$x_1 = x_{1v} \frac{U_n}{I_n} = 0.124 \frac{220}{31.86} = 0.85 \text{ Ом} \tag{2.14}$$

Активний опір ротора, приведений до статора:

$$r_2 = r'_{2v} \frac{U_n}{I_n} = 0.027 \frac{220}{31.86} = 0.186 \text{ Ом} \tag{2.15}$$

Індуктивний опір ротора, приведений до статора:

$$x_2 = x'_{2v} \frac{U_n}{I_n} = 0.154 \frac{220}{31.86} = 1.06 \text{ Ом} \tag{2.16}$$

Індуктивний опір розсіювання:

$$x_m = x'_{mv} \frac{U_n}{I_n} = 2.4 \frac{220}{31.86} = 16.57 \text{ Ом} \tag{2.17}$$

Індуктивність намагнічуючого контуру

$$L_m = \frac{x_m}{\omega_{on}} = \frac{16.57}{314} = 0.053 \text{ Гн} \quad (2.18)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_{on}} = \frac{0.85}{314} = 0.0027 \text{ Гн}$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2}{\omega_{on}} = \frac{1.06}{314} = 0.0034 \text{ Гн} \quad (2.19)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.053 + 0.0027 = 0.055 \text{ Гн}$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.053 + 0.0034 = 0.0564 \text{ Гн} \quad (2.20)$$

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри двигуна 4А180М8У3

$P_n = 15 \text{ кВт}$	$\cos \varphi_n = 0.82$	$\lambda_k = 2.0$
$\omega_{xx} = 78.5 \text{ рад/с}$	$J = 0.25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$I_n = 36.86 \text{ А}$
$\omega_n = 76.46 \text{ рад/с}$	$r_1 = 0.414 \text{ Ом}$	$\psi_{1xx} = 0.99 \text{ Вб}$
$M_n = 196.18 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$r_2 = 0.186 \text{ Ом}$	$L_2 = 0.0564 \text{ Гн}$
$M_k = 392.36 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$L_1 = 0.055 \text{ Гн}$	$L_m = 0.053 \text{ Гн}$

Оскільки навантаження прикладається при тривалому режимі із невеликими змінами, а номінальна потужність двигуна наближається до його середнього навантаження, тобто $P_{ном} \geq P_{ср}$, двигун на нагрів не перевіряється [13].

2.3 Методи керування координатами АД

Із розгляду існуючих видів керування швидкістю асинхронного двигуна варто виділити наступні методи регулювання координат:

- зміною величини напруги живлення U_1 ;
- введенням додаткового опору в коло ротора $R_{2доd}$ (для двигунів з фазним ротором);
- перемиканням кількості пар полюсів p_n ;
- скалярний метод керування – частотне керування;
- векторний метод керування.

2.3.1 Керування зміною величини напруги живлення

Для реалізації даного методу керування АД, двигун має живитись від силового регулятора змінної напруги. Для запобігання насиченню магнітної системи двигуна напругу статора потрібно зменшувати відносно номінального значення, так як при номінальній напрузі статора утворюється номінальний потік, який знаходиться близько до потоку насичення.

Зниження напруги статора не впливає на синхронну швидкість двигуна та на значення критичного ковзання. При зміні напруги статора змінюється лише значення критичного моменту M_k , що обумовлено наступним виразом:

$$M_k = \frac{U_1^2}{2 \cdot \omega_c \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right)}$$

Перевагою даного методу керування є можливість плавної зміни швидкості робочої точки. Недоліками є суттєве зменшення перевантажувальної здатності двигуна та збільшення ковзання. Зі збільшенням ковзання, в свою чергу, збільшуються втрати у колі ротора. Даний спосіб керування використовується при невеликому діапазоні регулювання швидкості (1.5 - 2), а також для плавного запуску механізмів (soft start).

Даний спосіб найкраще підходить для струминних механізмів (вентиляторів, насосів і тощо), так як їх момент опору залежить від квадрату швидкості.

2.3.2 Введення додаткового опору в коло ротора

Даний метод використовується лише для АД з фазним ротором. Для керування швидкості в даному методі в коло ротора підключається трифазний реостат. Електричний опір реостата змінюється ступінчасто шляхом закорочення секцій силовими контактами. При введенні додаткового опору в коло ротора значення синхронної швидкості ω_c та критичного моменту M_k не змінюється. Так як критичне ковзання двигуна s_k прямо пропорційне до активного електричного опору ротора, то при збільшенні додаткового опору жорсткість механічної характеристики зменшується.

Перевагою даного методу є простота реалізації та підвищення пускового моменту ($M_{II} = M_k$ при $s_k = 1$). Основними недоліками даного методу є те, що керування відбувається ступінчасто, зменшення жорсткості механічної характеристики призводить до сильного збільшення втрат у колі ротора [1].

2.3.3 Перемикання кількості пар полюсів

Регулювання швидкості зміною кількості пар полюсів стало можливим через секційну конструкцію статора АД з короткозамкненими ротором. В даний

час випускають 2-х, 3-х, 4-х швидкісні АД. Найчастіше використовуються наступні схеми ввімкнення обмоток статора:

- зірка – подвійна зірка (з постійним моментом);
- трикутник – подвійна зірка (з постійною потужністю).

Даний спосіб регулювання швидкості найчастіше здійснюється перемиканням швидкості з частковою рекуперацією енергії. Зазвичай він застосовується в вантажопідйомних механізмах. Це обумовлено тим, що при зміні кількості пар полюсів швидкість зменшується в 2 рази, а значення критичного моменту також збільшується в 2 рази, що дає можливість здійснювати підйом більш важких вантажів, але з меншою швидкістю.

2.3.4 Скалярний метод частотного керування

Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є на сьогоднішній день одним із достатньо поширених. Він застосовується в приводах, для яких важливо підтримувати швидкість обертання валу двигуна (використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск в трубопроводі).

Основним принципом скалярного керування є зміна частоти та амплітуди напруги живлення за законом $\frac{U}{f^n} = const$, де $n \geq 1$. Конкретний вид залежності визначається вимогами, що пред'являються до електропривода навантаженням. Частота приймається в якості керуючого впливу, а значенням напруги при даній частоті визначається вид механічної характеристики, а також значення пускового і критичного моментів.

Частотне керування не дозволяє здійснювати керування координатами електропривода із заданими статичними та динамічними характеристиками, проте має ряд переваг: простоту реалізації та введення в експлуатацію, відсутність потреби у вимірюванні кутової швидкості та струмів статора,

можливість користуватися для налаштування лише паспортними даними. При роботі двигуна на швидкостях нижче номінальної, зменшення критичного моменту пов'язане з тим, що значення критичного моменту прямо пропорційне значенню напруги в квадраті, а так як закон Костенка ($U/f=\text{const}$) передбачає пропорційну зміну напруги при зміні частоти, то забезпечення постійного значення критичного моменту неможливе. При низьких значеннях швидкості слід враховувати, що значення критичного моменту може становитися менше за значення номінального і для забезпечення коректної роботи потрібно підбирати значення статичного навантаження.

При роботі зі швидкостями вище номінальної за рахунок ослаблення магнітного потоку двигун має можливість працювати в режимі з постійною потужністю.

Використання частотного керування забезпечує «м'який» запуск двигуна без значних перевантажень за струмом та моментом.

2.3.5 Метод векторного керування

Для усунення недоліків, властивих скалярному керуванню, фірмою Siemens був запропонований метод векторного керування, яке поділяється на два основних види – пряме і непряме. Відповідно системи зі зворотним зв'язком за кутовою швидкістю поділяються на бездавачеві (без датчика швидкості на валу двигуна) і давачеві. Кожний метод векторного керування має особливості застосування в електроприводі. При малих діапазонах зміни швидкості і несуттєвих вимогах до точності (до 0.5%) використовується бездавачеве векторне керування. Якщо ж швидкість обертання валу змінюється в широких межах та присутні вимоги до точності підтримки швидкості (з похибкою до 0.02%), то застосовується векторне керування зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Висновки до розділу 2

1. Застосування векторного керування надає наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості, в трю числі і при відсутності давача швидкості;
- плавність регулювання швидкості без «покрокового режиму» в області малих частот;
- утримання номінального моменту навантаження на валу при нульовій швидкості;
- висока швидкодія при зміні навантаження.

2. Відмічаються і деякі недоліки векторного керування: значне обчислювальне навантаження, необхідність знання параметрів двигуна.

3. Проведений розрахунок параметрів асинхронного двигуна дає можливість здійснити синтез і дослідження системи автоматичного керування.

3 ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ. РОЗРОБКА СИЛОВОЇ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

3.1 Огляд сучасних перетворювачів частоти

Аналіз сучасних тенденцій у виробництві електроприводів показує, що в даний час більшість з них випускають комплектні електроприводи, які конструктивно об'єднують двигун, перетворювач, датчики і регулятори швидкості і струму.

Проаналізуємо тенденції у конструюванні та виробництві перетворювачів частоти, як пристроїв, що найчастіше використовуються при керуванні асинхронними електродвигунами.

Структура типової системи частотно-регульованого електроприводу зображена на рисунку 3.1.

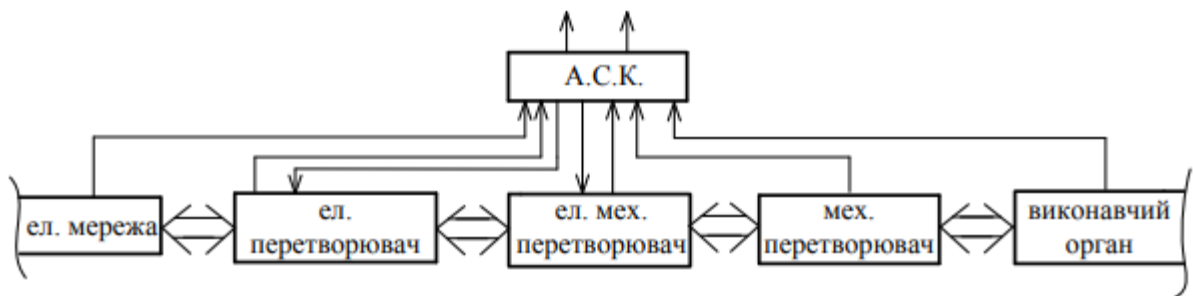


Рисунок 3.1 – Склад типової системи електроприводу

При аналізі структури ЕП можна виділити два канали: силовий та інформаційний.

До силового каналу частини належать електричний двигун, перетворювачі електричної та механічної енергії, робочі органи, тобто всі елементи електричного приводу, через які проходить робочий потік енергії. До інформаційної частини належать пристрої, призначенні для керування електричним приводом, контролю технологічного процесу (датчики, елементи системи керування, моніторингу, лінії зв'язку і т.д.).

Електричний привод зв'язаний двостороннім зв'язком з електричною мережею. В разі необхідності електрична енергія перетворюється за допомогою електричного перетворювача, після чого споживається електромеханічним перетворювачем (двигуном). Призначенням механічного перетворювача є зміна швидкості, моменту, характеру руху. Силова частина може передавати енергію в обох напрямках.

Для керування технологічним процесом електропривод оснащується автоматичною системою керування, яка отримує інформацію від будь-якого елементу системи електроприводу та впливає на керовані елементи.

Розглянемо типові структури статичних силових перетворювачів частоти (ПЧ), які можна поділити на такі основні групи:

1. Дволанковий ПЧ з проміжною ланкою постійного струму (рисунок 3.2);
2. ПЧ на основі SRC – тиристорів (рисунок 3.3);
3. Матричний ПЧ (рисунок 3.4);
4. Резонансний ПЧ (рисунок 3.5).

Структура ПЧ з ланкою постійного струму та осцилограмою напруг представлена некерованим випрямлячем та автономним інвертором напруги виконаним на базі IGBT модулів.

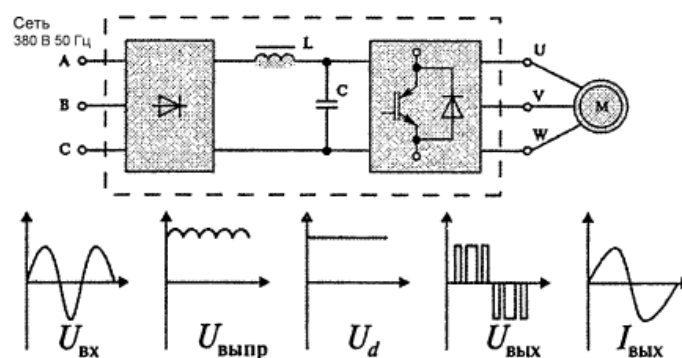


Рисунок 3.2 – Дволанкова схема перетворення

Змінна напруга мережі перетворюється за допомогою діодного випрямляча, а потім згладжується в проміжному колі індуктивно-ємнісним

фільтром. АІН здійснює зворотне перетворення з постійного струму в змінний, забезпечуючи формування вихідного сигналу з необхідними значеннями напруги і частоти. Найбільш часто в інверторах застосовується метод високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). У цьому випадку вихідний сигнал перетворювача являє собою послідовність імпульсів напруги постійної амплітуди і змінної тривалості, яка на індуктивному навантаженні, якою є обмотка статора, формує струми синусоїдальної форми. Можливий діапазон регулювання частоти - від 0 до декількох тисяч герц. Проте недоліком такого ПЧ є двократне перетворення енергії, що призводить до збільшення втрат та погіршення масогабаритних показників в ПЧ.

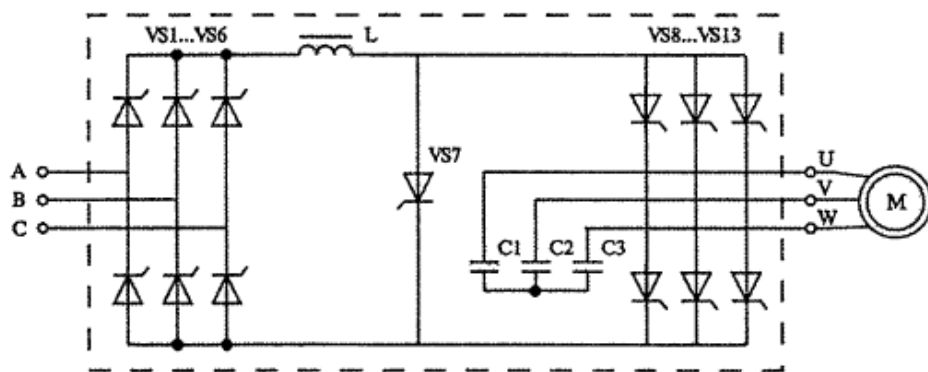


Рисунок 3.3– Перетворювач на основі SRC – тиристорів

Перетворювачі на основі SRC-тиристорів (див. рис. 3.3) не набули широкого використання в асинхронних електроприводах. Перевагою таких ПЧ є відносно високий ККД, а також використання повністю керованих тиристорів, порівняно з пристроями примусової комутації, а також практично необмежена потужність ПЧ. Проте недоліками є: обмеження максимальних значень вихідної частоти на рівні $1/3 \dots 2/3$ від частоти мережі живлення.

На сьогоднішній день найбільш перспективною розробкою є безпосередні перетворювачі частоти (БПЧ) з природною та примусовою комутацією або матричні ПЧ. БПЧ з примусовою комутацією реалізується на повністю керованих ключах. Керування здійснюється на основі ШІМ. Будь-яка фаза

мережі в будь-який час може біти підключена до фази двигуна.

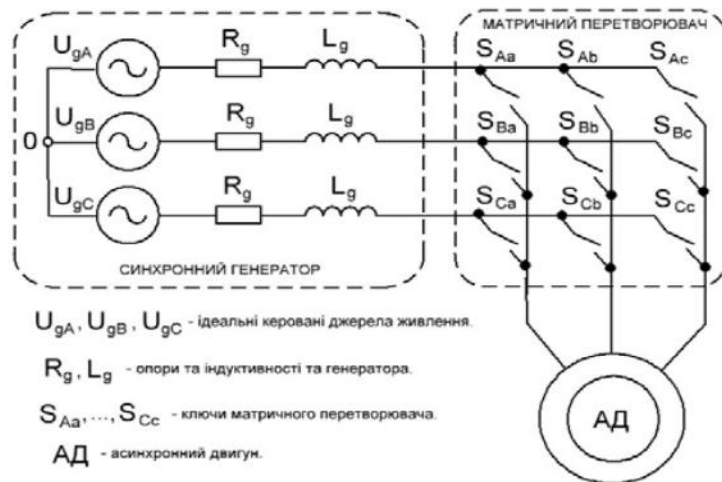


Рисунок 3.4– Матричний перетворювач

Ще одним напрямком в сучасній силовій електроніці є розробка інверторів, принцип дії яких заснований на ефекті резонансу (рис. 3.5).

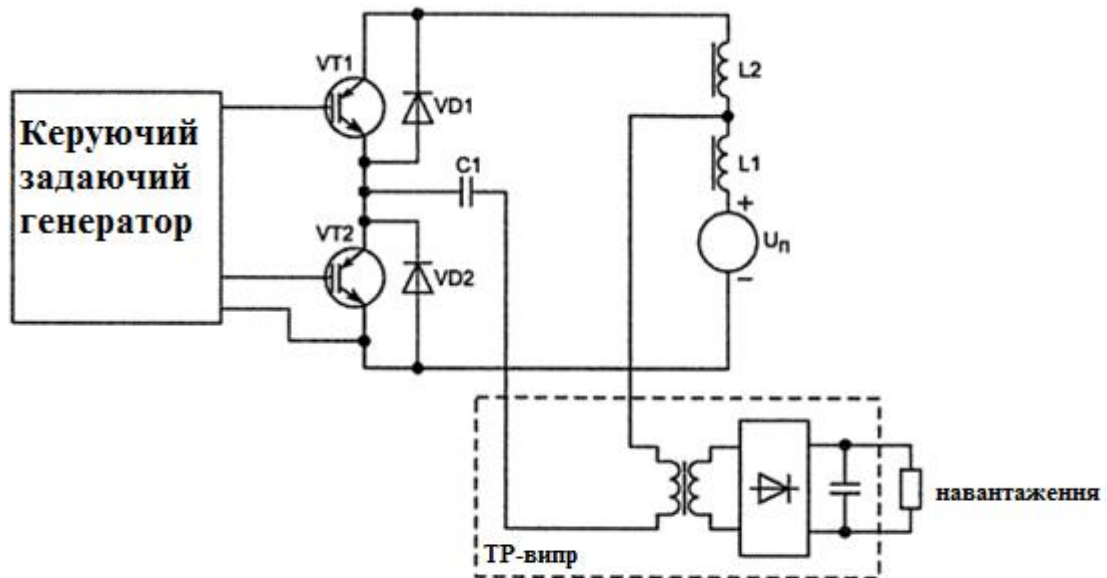


Рисунок 3.5– Резонансний перетворювач

3.2 Функціональна схема асинхронного електроприводу

Функціональна схема електроприводу змінного струму на основі перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму показана на рис. 3.6.

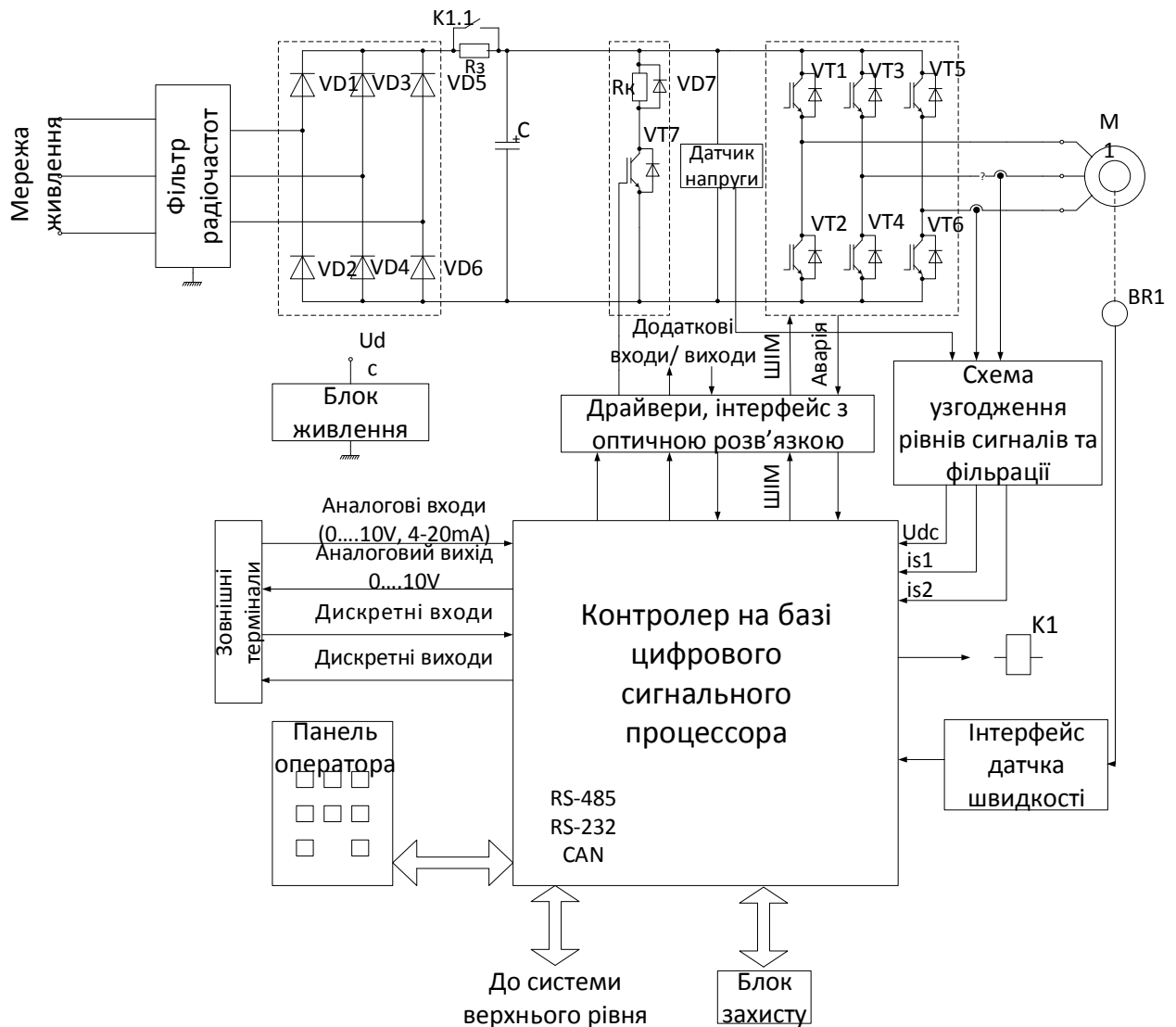


Рисунок 3.6 - Функціональна схема асинхронного електроприводу

Номінальне діюче значення фазної напруги

$$U_{1нф} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220(B) \quad (3.1)$$

Номінальне амплітудне значення фазної напруги

$$U_{1na} = \sqrt{2}U_{1n\phi} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311(B) \quad (3.2)$$

Номінальне діюче значення струму статора

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0.87 \cdot 0.82} = 31.85(A) \quad (3.3)$$

Номінальне амплітудне значення струму статора

$$I_{m} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 31.85 = 44.9(A) \quad (3.4)$$

Прийmemo перевантажувальну здатність приводу $K_{ov} = 1.5$, розрахуємо максимальний струм на виході перетворювача.

$$I_{\max} = K_{ov} \cdot I_{na} = 1.5 \cdot 44.9 = 67.35(A) \quad (3.5)$$

В якості перетворювача частоти було обрано перетворювача частоти ABB ASC 355 номінальною потужністю 15 кВт.

При виборі IGBT для використання в автономних інверторах їх робоча напруга їх має бути як мінімум в 1.5 разів вищою, ніж максимальна напруга в ланці постійного струму, тобто

$$U_{ce} > 1.5U_{dc \max} \quad (3.6)$$

Ця напруга визначається допустимою напругою встановлених конденсаторів фільтру, і складає приблизно 750 В для перетворювачів з

трифазним живленням $U_{\text{grid}} = 380 \text{ В}$, і 375 В для перетворювачів з однофазним живленням $U_{\text{grid}} = 220 \text{ В}$.

Таким чином:

$$U_{\text{ce}} = 1.5 \cdot 750 = 1125 \text{ , В.} \quad (3.7)$$

Промислові IGBT модулі, випускаються на ряд стандартизованих максимальних напруг: 250, 600, 1200, 1700, 3300, 4500, 6500 В [10].

Вибір IGBT здійснюється за критеріями $I_c > I_{\text{max}}$, $U_{\text{ce max}} > U_{\text{ce}}$, де I_c та $U_{\text{ce max}}$ – відповідно, тривалий струм емітера. Антіпаралельний діод в більшості випадків знаходиться в одному корпусі з IGBT і не потребує окремого розрахунку.

В силовій частини ПЧ доцільно використовувати IGBT-модулі, котрі містять в одному корпусі 6 або 7 транзисторів з антипаралельними діодами та інтегральний випрямляч.

По каталогу [10] обираємо IGBT модуль типу IRG5K35HF12A виробника SEMIKRON з параметрами $U_{\text{ce}} = 1200 \text{ В}$, $I_c = 35 \text{ А}$.

Ємність випрямляча визначається за формулою:

$$C = \frac{1}{2\pi k_p m f R_0}, \quad (3.8)$$

де k_p – коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги, який для перетворювачів частоти вибирають в діапазоні $(0.02 \div 0.05)$, m – число фаз випрямляча, f – частота напруги мережі живлення, R_0 – еквівалентний опір навантаження ланки постійного струму.

Для визначення R_0 розрахуємо значення струму в ланці постійної напруги з врахуванням перенавантаження:

$$I_{dc} = \frac{k_{ovl} P_n}{U_{dcn} \eta \eta_{inv}} = \frac{1.5 \cdot 1500}{540 \cdot 0.74 \cdot 0.96} = 5.87 \text{ A} \quad (3.9)$$

де $\eta_{inv} = (0.95 \div 0.97)$ – ККД інвертора напруги.

Тоді еквівалентний опір навантаження розраховується як:

$$R_0 = \frac{U_{dcn}}{I_{dc}} = \frac{540}{5.87} = 91.9 \text{ Ом.} \quad (3.10)$$

Відповідно до (4.6) розрахункове значення ємності фільтра для $k_p = 0.04$ буде дорівнювати:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 0.04 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 91.9} = 0.29 \text{ мФ} \quad (3.11)$$

Вибираємо конденсатори від виробника EPCOS [11] типу B25631 МКР DC LSI з ємністю $C_c = 200$ мкФ та максимальною напругою 385 В. Потрібна ємність і робоча напруга фільтра досягається при послідовному включенні двох конденсаторів. При цьому сумарна ємність буде дорівнювати:

$$C_{12} = \frac{C_c}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ мкФ} \quad (3.12)$$

Вибір давачів струму здійснюється за максимальним струмом.

Датчик струму ланці постійної напруги вибираємо за розрахунковим значенням I_{dc} типу LESR 50-NP/SP1 [12], номінальний струм якого складає 50 А.

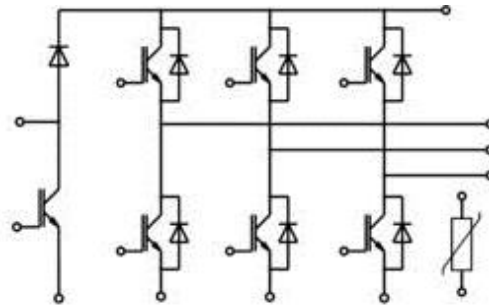


Рисунок 3.7 – IGBT модуль SK15 DGDL12T4ET SEMIKRON

В паспорті на датчик вказано, що максимальний струм первинного кола $I_{pmax} = 50, \text{mA}$. Тому значення опору резистора R1 дорівнює:

$$R1 = \frac{U_{dcmax}}{I_{pmax}} = \frac{750}{0.05} = 15000 \text{ Ом}$$

Зі стандартного ряду резисторів вибираємо $R1 = 15 \text{ кОм}$.

Висновки до розділу 3

1. В результаті розгляду існуючих різновидів перетворювачів частоти обґрунтований вибір дволанкового перетворювача частоти з ШІМ.
2. На основі розрахунку та вибраного електродвигуна було здійснено підбір основних елементів силової частини та самого перетворювача частоти - АВВ ACS355-03Е-31А0-4.

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЇЇ СТРУКТУРНА СХЕМА

Для розробки системи векторного керування АД використаємо математичну модель в стаціонарній системі координат (a – b):

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega, & M &= \mu(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}); \\ \dot{i}_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha\beta\psi_{2a} + \beta p_n \omega\psi_{2b} + \frac{1}{\sigma}u_{1a}; \\ \dot{i}_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha\beta\psi_{2b} - \beta p_n \omega\psi_{2a} + \frac{1}{\sigma}u_{1b}; \\ \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha\psi_{2a} - p_n \omega\psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a}; \\ \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha\psi_{2b} + p_n \omega\psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b};\end{aligned}\tag{4.1}$$

де ω – кутова швидкість ротора, $(i_{1a}, i_{1b})^T$ – компоненти вектору струму статора в системі координат (a – b), $(\psi_{2a}, \psi_{2b})^T$ – компоненти вектору потокозчеплень ротора, $(u_{1a}, u_{1b})^T$ – компоненти вектору напруги статора, M_c – момент навантаження, v – коефіцієнт в'язкого тертя. Інші параметри АД позначимо

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right), \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \mu = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{J L_2}, \quad \alpha = \frac{R_2}{L_2}, \quad \gamma = \left(\frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta \right),$$

де J – повний момент інерції ротора, R_1, R_2, L_1, L_2 – опори й індуктивності статора і ротора відповідно, L_m – індуктивність намагнічуючого контуру, p_n – число пар полюсів.

Алгоритми векторного керування АД частіше записуються в синхронній системі координат $(d-q)$, що обертається зі швидкістю ω_0 відносно стаціонарної системи координат $(a-b)$, див. рис. 4.1.

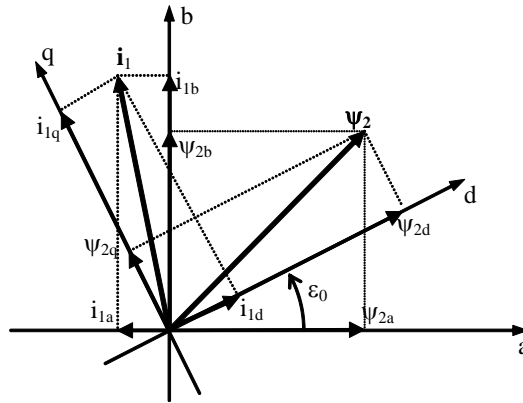


Рисунок 4.1 – Розташування векторів АД

Координатні перетворення:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{dq} &= e^{-j\varepsilon_0} \mathbf{x}_{ab} \\ \mathbf{x}_{ab} &= e^{j\varepsilon_0} \mathbf{x}_{dq} \end{aligned} \quad \text{де} \quad e^{-j\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon_0 & \sin\varepsilon_0 \\ -\sin\varepsilon_0 & \cos\varepsilon_0 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

де \mathbf{x}_{yz} - вектор напруги, потоку і струму статора, ε_0 – кутове положення системи координат $(d-q)$ відносно стаціонарної $(a-b)$.

При формуванні алгоритму відпрацювання заданих траєкторій кутової швидкості та потокозчеплення вважаємо, що для АД виконується наступне:

- струми статора та кутова швидкість ротора доступні для визначення;
- параметри АД відомі і незмінні;
- момент навантаження M_c невідомий, постійний та обмежений;
- задані траєкторії кутової швидкості ω^* і потокозчеплення $\psi^* > 0$ являються обмеженими функціями з обмеженими першою і другою похідними по часу.

За виконання цих припущень відбувається синтез алгоритмів прямого на непрямого векторного керування, які забезпечують

- глобальне асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій швидкості та потокозчеплення, тобто

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi} = 0, \quad (4.3)$$

при умові обмеження всіх внутрішніх змінних.

- орієнтування по вектору потокозчеплення ротора

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \psi_d = \psi^*. \quad (4.4)$$

- лінеаризація підсистеми швидкості до лінійної;
- розв'язка процесів керування електромеханічними та електромагнітними координатами АД.

Синтез алгоритмів векторного керування по вимірюваному виходу виконується в два етапи: спочатку синтезується підсистема керування потокозчепленням, а потім - підсистема керування швидкістю. Обидві підсистеми синтезуються з використанням зворотної покрокової процедури проектування.

4.1 Алгоритм непрямого векторного керування АД

Запишемо модель АД в системі координат (d-q) похибками відпрацювання:

$$\tilde{\Psi}_d = \Psi_{2d} - \Psi^*, \tilde{\Psi}_q = \Psi_{2q}, \tilde{i}_d = i_{1d} - i_{1d}^*, \tilde{i}_q = i_{1q} - i_{1q}^*, \tilde{\omega} = \omega - \omega^*; \quad (4.5)$$

$$\dot{\theta} = \alpha$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega, M = \frac{3}{2}p_n \frac{L_m}{L_2}(\Psi_{2d}i_{1q} - \Psi_{2q}i_{1d});$$

$$\dot{i}_{1d} = -\gamma i_{1d} + \omega_0 i_{1q} + \alpha\beta\Psi_{2d} + \beta p_n \omega\Psi_{2q} + \frac{1}{\sigma}u_d; \quad (4.6)$$

$$\dot{i}_{1q} = -\gamma i_{1q} - \omega_0 i_{1d} + \alpha\beta\Psi_{2q} - \beta p_n \omega\Psi_{2d} + \frac{1}{\sigma}u_q;$$

$$\dot{\Psi}_{2d} = -\alpha\Psi_{2d} + (\omega_0 - p_n \omega)\Psi_{2q} + \alpha L_m i_{1d};$$

$$\dot{\Psi}_{2q} = -\alpha\Psi_{2q} - (\omega_0 - p_n \omega)\Psi_{2d} + \alpha L_m i_{1q};$$

Рівняння потокозчеплень у похибках:

$$\dot{\tilde{\Psi}}_d = -\alpha(\tilde{\Psi}_d + \Psi^*) + (\omega_0 - p_n \omega)\tilde{\Psi}_q + \alpha L_m i_{1d} - \dot{\Psi}^*;$$

$$\dot{\tilde{\Psi}}_d = -\alpha(\tilde{\Psi}_d) + (\omega_0 - p_n \omega)\tilde{\Psi}_q + \alpha L_m i_{1d} - \dot{\Psi}^* - \alpha\Psi^*;$$

$$\dot{\tilde{\Psi}}_d = -\alpha(\tilde{\Psi}_d) + (\omega_0 - p_n \omega)\tilde{\Psi}_q; \quad (4.7)$$

$$i_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m}(\dot{\Psi}^* + \alpha\Psi^*);$$

$$\dot{\tilde{\Psi}}_q = -\alpha\tilde{\Psi}_q - (\omega_0 - p_n \omega)(\tilde{\Psi}_d + \Psi^*) + \alpha L_m i_{1q};$$

$$\dot{\tilde{\Psi}}_q = -\alpha\tilde{\Psi}_q - (\omega_0 - p_n \omega)\tilde{\Psi}_d - (\omega_0 - p_n \omega)(\Psi^*) + \alpha L_m i_{1q};$$

$$\dot{\tilde{\Psi}}_q = -\alpha\tilde{\Psi}_q - (\omega_0 - p_n \omega)\tilde{\Psi}_d; \quad (4.8)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{i_{1q}}{\Psi^*} + \phi;$$

В результаті отримуємо розімкнутий регулятор модуля вектору потокозчеплення:

$$i_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m}(\alpha\Psi^* + \dot{\Psi}^*); \quad (4.9)$$

$$\dot{i}_{1d}^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \dot{\psi}^* + \ddot{\psi}^*); \quad (4.10)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \omega_0 = \omega p_n + \alpha L_m \frac{\dot{i}_{1q}}{\psi^*} + \phi; \quad (4.11)$$

де ψ^* , $\dot{\psi}^*$, $\ddot{\psi}^*$ – задане значення модуля вектора потокозчеплення ротора і його перша і друга похідні відповідно, ϕ – робастифікуючий зв'язок, який буде визначено далі. В стандартному випадку $\phi = 0$.

Для отримання регулятора струму по осі (d) складемо рівняння динаміки струму по осі (d) в похибках:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{i}}_{1d} &= -\gamma(\tilde{i}_{1d} + i_{1d}^*) + \omega_0 i_{1q} + \alpha\beta(\tilde{\psi}_d + \psi^*) + \beta p_n \omega \tilde{\psi}_q + \frac{1}{\sigma} u_d - \dot{i}_{1d}^*; \\ \dot{\tilde{i}}_{1d} &= -\gamma \tilde{i}_{1d} + \alpha\beta \tilde{\psi}_d + \beta p_n \omega \tilde{\psi}_q + \frac{1}{\sigma} u_d + \omega_0 i_{1q} - \dot{i}_{1d}^* - \gamma i_{1d}^* + \alpha\beta \psi^*; \\ \dot{\tilde{i}}_{1d} &= -\gamma \tilde{i}_{1d} + \alpha\beta \tilde{\psi}_d + \beta p_n \omega \tilde{\psi}_q; \\ u_d &= \sigma(\gamma i_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha\beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_{1d} - x_d); \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{1d}; \end{aligned} \quad (4.12)$$

Регулятор струму по осі (d) буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} u_{1d} &= \sigma(\gamma i_{1d}^* - \omega_0 i_{1q} - \alpha\beta \psi^* + \dot{i}_{1d}^* - k_i \tilde{i}_{1d} - x_d); \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{1d}; \end{aligned} \quad (4.13)$$

де $\tilde{i}_{1d} = i_{1d} - i_{1d}^*$ – похибка відпрацювання струму по осі (d), u_{1d} – компонента вектору напруги статора по осі (d), $(k_i, k_{ii}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів струму.

Для отримання регулятора кутової швидкості запишемо рівняння для швидкості у похибках:

$$\begin{aligned}
\dot{\tilde{\omega}} &= \frac{1}{J} \left(\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} \left((\tilde{\Psi}_d + \Psi^*) (\tilde{i}_q + i_{1q}^*) - \tilde{\Psi}_q i_{1d} \right) - M_c \right) - v(\tilde{\omega} + \omega^*) - \dot{\omega}^*; \\
\dot{\tilde{\omega}} &= \frac{1}{J} \left(\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} \left(\tilde{\Psi}_d (\tilde{i}_q + i_{1q}^*) + \Psi^* \tilde{i}_q - \tilde{\Psi}_q i_{1d} \right) - M_c \right) - \\
&\quad - v\tilde{\omega} + \frac{1}{J} \left(\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} \Psi^* (i_{1q}^*) \right) - v\omega^* - \dot{\omega}^*; \\
\dot{\tilde{\omega}} &= \frac{1}{J} \left(\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} \left(\tilde{\Psi}_d (\tilde{i}_q + i_{1q}^*) + \Psi^* \tilde{i}_q - \tilde{\Psi}_q i_{1d} \right) \right); \\
i_{1q}^* &= \frac{1}{\mu \Psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^* + v\omega^* \right); \\
\hat{M}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega};
\end{aligned} \tag{4.14}$$

В результаті регулятор швидкості буде мати наступний вид:

$$\begin{aligned}
i_{1q}^* &= \frac{1}{\mu \Psi^*} \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^* + v\omega^* \right); \\
\hat{M}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega};
\end{aligned} \tag{4.15}$$

$$\dot{i}_{1q}^* = \frac{1}{\mu \Psi^*} \left[-k_\omega \left(-k_\omega \tilde{\omega} + \mu \Psi^* \tilde{i}_q \right) + \dot{\hat{M}}_c + \ddot{\omega}^* + v\dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\Psi}^*}{\Psi^*} i_{1q}^*; \tag{4.16}$$

де $\omega^*, \dot{\omega}^*, \ddot{\omega}^*$ – задана кутова швидкість, перша і друга похідні швидкості, відповідно, $\tilde{\omega} = \omega - \omega^*$ – похибка кутової швидкості, $(k_\omega, k_{\omega i}) > 0$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регулятора кутової швидкості.

Для отримання регулятора струму по осі (q) запишемо рівняння динаміки струму по осі (q) в похибках:

$$\begin{aligned}
\dot{\tilde{i}}_{1q} &= -\gamma(\tilde{i}_q + i_{1q}^*) - \omega_0 i_{1d} + \alpha\beta\tilde{\Psi}_q - \beta p_n \omega(\tilde{\Psi}_d + \Psi^*) + \frac{1}{\sigma} u_q - \dot{i}_{1q}^*; \\
\dot{\tilde{i}}_{1q} &= -\gamma\tilde{i}_q + \alpha\beta\tilde{\Psi}_q - \beta p_n \omega\tilde{\Psi}_d + \frac{1}{\sigma} u_q - \dot{i}_{1q}^* - \gamma i_{1q}^* - \omega_0 i_{1d} - \beta p_n \omega\Psi^*; \\
\dot{\tilde{i}}_{1q} &= -\gamma\tilde{i}_q + \alpha\beta\tilde{\Psi}_q - \beta p_n \omega\tilde{\Psi}_d; \\
u_{1q} &= \sigma(\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta p_n \omega\Psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq}\tilde{i}_q - x_q); \\
\dot{x}_q &= k_{ii}\tilde{i}_q;
\end{aligned} \tag{4.17}$$

Регулятор струму по осі (q) матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
u_{1q} &= \sigma(\gamma i_{1q}^* + \omega_0 i_{1d} + \beta p_n \omega\Psi^* + \dot{i}_{1q}^* - k_{iq}\tilde{i}_q - x_q); \\
\dot{x}_q &= k_{ii}\tilde{i}_q;
\end{aligned} \tag{4.18}$$

де $\tilde{i}_q = i_{1q} - i_{1q}^*$ – похибка відпрацювання струму по осі (q), u_{1q} – компонента вектору напруги статора по осі (q).

Налаштування коефіцієнтів регуляторів:

$$\begin{aligned}
\omega_{0\omega} &= \frac{\omega_{0i}}{3,5} \approx 100; \\
\omega_{0\omega} &= k_{\omega} = 100; \\
k_{\omega i} &= \frac{k_{\omega}^2}{2} = 5000; \\
k_{iq} &= k_{iq} = \omega_{0i}^2 = 62500; \\
k_q &= k_q = \sqrt{4\omega_{0i}^2} \approx 500;
\end{aligned}$$

Структурна схема алгоритму керування зображена на рисунку 4.2.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Дослідження динамічних характеристик системи непрямого векторного керування буде проводитись в наступному порядку:

- 1) на проміжку часу ($0 < t < 0.2$ с) відбувається намагнічування двигуна за траєкторією другого порядку, при цьому вал ротора знаходиться у нерухомому стані. Також слід врахувати що струм по осі d не має перевищувати номінальне амплітудне значення струму статора.
- 2) після намагнічування двигуна відбувається розгін до заданої швидкості в 76 рад/с, за проміжок часу $t_{II} = 0.1$ с.
- 3) номінальний момент навантаження двигуна прикладається в момент часу $t = 1$ с.
- 4) після розгону двигун обертається з усталеною швидкістю протягом 4 с.
- 5) навантаження знімається в момент часу $t = 4$ с.
- 6) гальмування двигуна за інтервал часу $t_r = 0.1$ с.

Алгоритм непрямого векторного керування швидкістю був налаштований наступним чином: коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів швидкості $k_{\omega} = 150$, $k_{\omega i} = 11000$; коефіцієнти інтегральної та пропорційної складових регуляторів струмів $k_{id1} = k_{iq1} = 700$, $k_{iid} = k_{iiq} = 120000$;

Результати моделювання алгоритму непрямого векторного керування АД в середовищі MATLAB Simulink наведені на рисунках 5.1 та 5.2.

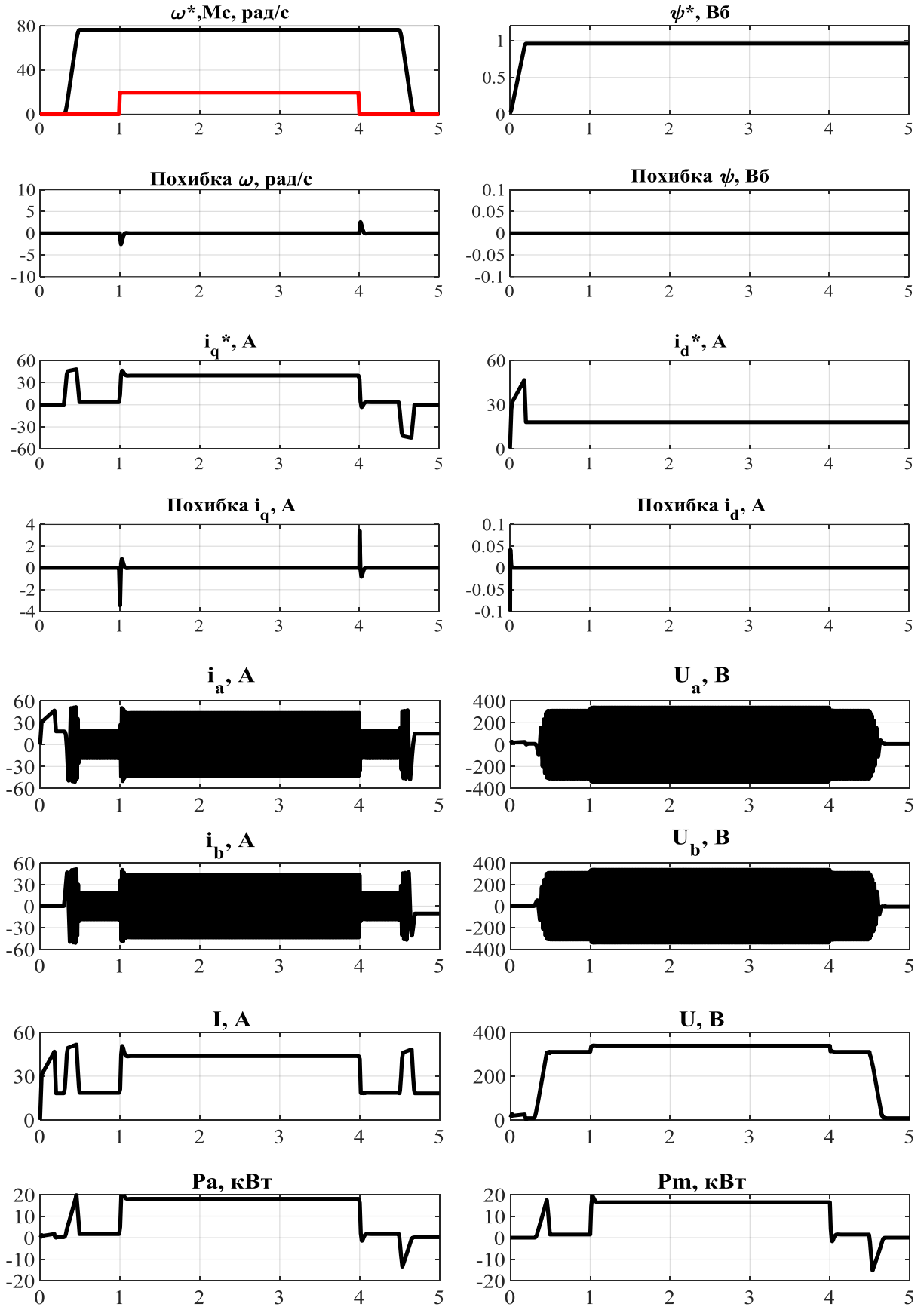


Рис.5.1 – Графіки перехідних процесів при використанні алгоритму
непрямого векторного керування швидкістю

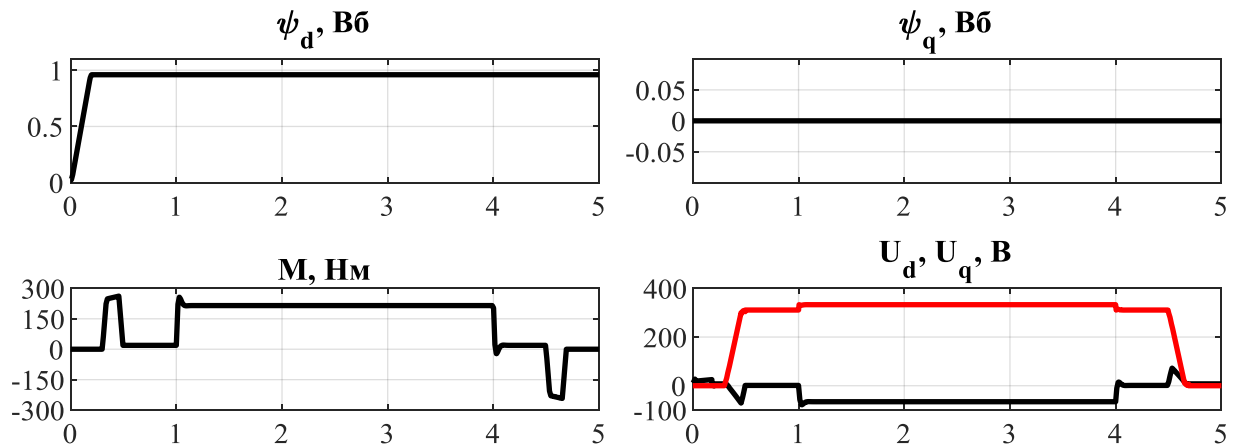


Рис.5.2 – Графіки перехідних процесів при використанні алгоритму непрямого векторного керування швидкістю

При відпрацюванні заданої траєкторії відсутня динамічна похибка під час пуску і гальмування двигуна. Це пов'язано з тим, що в систему введено компенсування похідної від заданої швидкості.

Як видно з графіків на рис 5.1 при накиданні статичного моменту з'являється динамічна похибка, що дорівнює 2.2 рад/с. В усталеному режимі при роботі з навантаженням траєкторія відпрацьовується без статичної похибки.

Висновки до розділу 5

1. В системі присутнє в'язке тертя, що можна спостерігати на графіку перехідного процесу заданого струму i_q^* . Це пов'язано з тим, що в'язке тертя створює додатковий момент у двигуні (тобто $M \neq 0$ при $M_C = 0$), а струм i_q^* йде на створення моменту, який компенсує вплив в'язкого тертя.

2. В даній системі непрямого векторного керування відбувається полеорієнтування тому, що в усталеному режимі роботи АД потокозчеплення ротора по осі $q = 0$, і виконується умова полеорієнтації $\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi}_q = 0$, що видно з представлених графіків на рис 5.2.

3. Результати моделювання підтверджують правильність розрахунку параметрів та синтезу системи автоматичного керування. Розроблений електропривод забезпечує всі умови завдання на проектування.

6 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ

6.1 Структура лінії дроблення

При видобуванні залізної руди в ПАТ "Півдінний ГЗК" сировина транспортується на збагачувальну фабрику. Підготовчими операціями технологічного процесу збагачення руди є подрібнення і дроблення сировини, що видобувається. Забезпечення збагачувальної фабрики рудою з постійним вмістом заліза є важливою умовою виробництва готової продукції високого якості.

Призначення ділянки дроблення - підготовка вихідної руди до операції подрібнення до крупності, яка визначається методом збагачення. Призначення відділення подрібнення і флотації - подрібнення і підготовка руди до збагачення магнітними, магнітно-гравітаційними і магнітно-флотаційними технологічними схемами, які забезпечують одержання кондиційних концентратів з вмістом заліза до 70 %. Відділення подрібнення і флотації складається з дев'яти ідентичних технологічних секцій, кожна включає в себе обладнання для здійснення технологічних операцій.

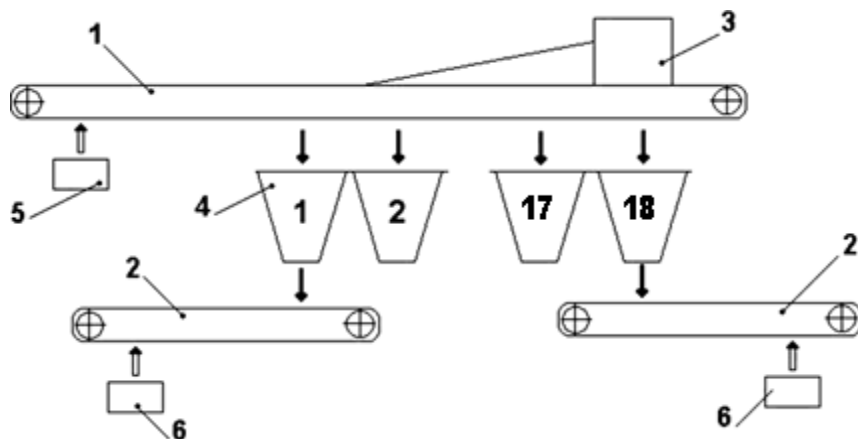


Рис. 6.1 - Схема подачі руди в відділення подрібнення збагачувальної фабрики:

1 - конвеєр; 2 – стрічкові конвеєри відділення подрібнення; 3 - візок

розвантажувальна; 4 - бункери; 5 - радіоізотопні ваги; 6 - радіоізотопні ваги стрічкових конвеєрів

Стрічковий конвеєр К8 (рис. 6.1) оснащений скидуючим барабанним візком. Технологічна секція обладнана двома бункерами роздробленої руди (рис. 6.1, № 1-18).

Наповнення бункерів проводиться безперервно. Робочий об'єм бункера розрахований на місткість 200 т руди. Руда з бункера дозується в автоматичному режимі, відповідно до встановлених завдань, шибєрним затвором з виконавчим механізмом. Транспортування руди від бункера здійснюється стрічковим конвеєром (рис. 6.1, № 1-18), обладнаним радіоізотопним ваго вимірювачем. Продуктивність однієї технологічної секції по подачі сировини на подрібнення - 170- 200 т/год. Зниження надходження сировини менше 90 т/год призводить до зупинки технологічної секції та значних матеріальних збитків.

Видобута сировина надходить на збагачувальну фабрику (ЗФ) з різним вмістом масової частки заліза. Завдання системи автоматизованого управління - стабілізувати зміст заліза в руді на рівні 70%.

6.2 Розробка програмного забезпечення

Завдання, які вирішуються системою автоматизованого управління: здійснювати безперервне заповнення бункерів з № 1 по № 18 (рис. 6.1); забезпечувати транспортування 170-200 т/год сировини на кожен технологічну секцію. Управління обладнанням в автоматизованому режимі виконується оператором, який контролює наступні параметри техпроцесу:

- величину масової частки заліза на конвеєрі К8;
- величину рівня руди в бункері;
- масу руди, що подається на окрему технологічну секцію;
- масу руди на кожному стрічковому конвеєрі.

В САУ застосовується наступне обладнання:

- радіоізотопні ваги на конвеєрі К8;

- радіоізотопні ваги на стрічкових конвеєрах;
- рівнеміри, що встановлюються на кожен бункер;

Контролери Siemens S300, встановлені в операторній відділенні подрібнення і флотації (по одному контролеру для кожної секції).

Нижче наведено алгоритм роботи програмного забезпечення контролера Siemens S300 окремої технологічної секції з управління транспортуванням руди в заданій кількості з бункера на установку подрібнення (рис. 6.2).

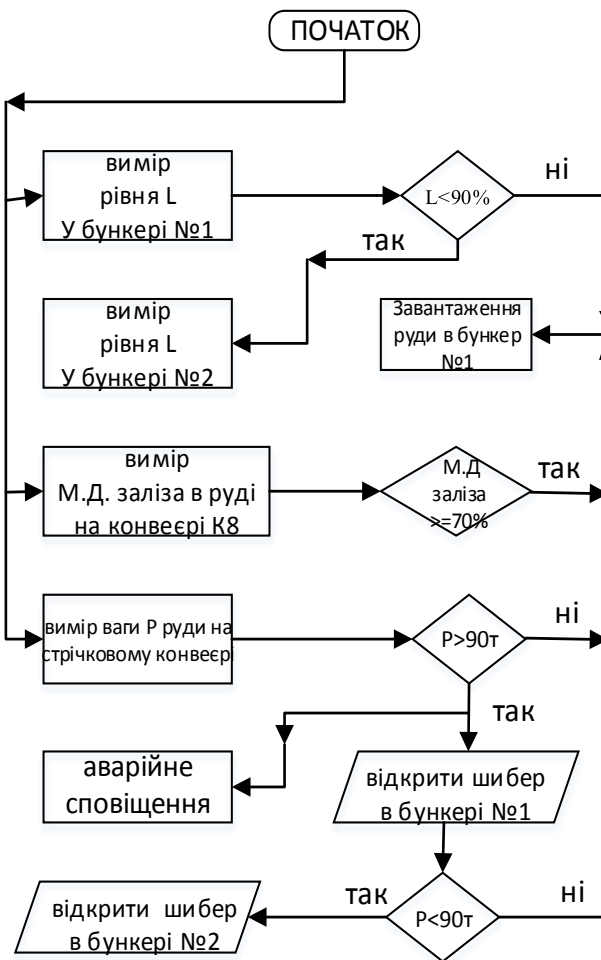


Рис. 6.2 - Алгоритм роботи програмного забезпечення контролера з регулювання кількості руди, що подається на один стрічковий конвеєр

Необхідною умовою технологічного процесу подрібнення є безперервне заповнення рудою флотаційного машини, в кожній технологічній секції не менше 170 т/год з двох стрічкових конвеєрів живильників. Якість сировини, що

надійшла, розраховується за даними експрес-аналізів збагачення руди, з відображенням результатів один раз на годину. Надходження руди з масовою часткою заліза менше 70% потребує збільшення кількості сировини для заповнення флотомашини і призводить до нестабільності технологічного процесу, підвищення витрати електроенергії і реагентів.

Для управління якістю руди, що подається на флотосекцію слід контролювати наступні параметри технологічного процесу:

- зміст заліза в руді на конвеєрі К8 (рис. 6.1);
- час наповнення бункера сировиною;
- величину рівня руди в бункері;
- зміст заліза на кожному стрічковому конвеєрі-живильнику;
- маса руди, що подається на окрему технологічну секцію;
- маса руди на кожному стрічковому конвеєрі-живильнику,
- середній вміст заліза в руді в бункері.

Для розрахунку маси сировини в бункерах з № 1 по № 18 (рис. 6.1) пропонується встановити контролер Siemens S200 на скиді барабанної візку конвеєра К8 з підключенням до мережі передачі даних відділення дроблення рудника. Використовуючи дані радіоізотопного детектора, встановленого на конвеєрі К8, пропонується розраховувати якість руди в кожному бункері ЗФ. На рис. 6.3 наведено запропонований авторами алгоритм роботи програмного забезпечення контролера Siemens S300 окремої технологічної секції.

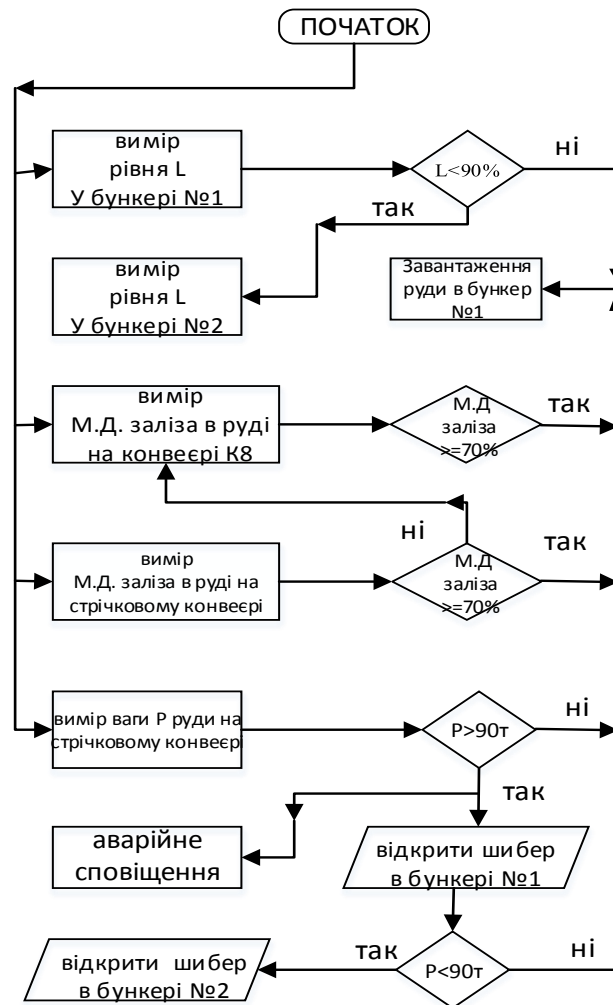


Рис. 3 - Алгоритм роботи програмного забезпечення контролера за розрахунком якості руди, що подається на подрібнення

Висновки до розділу 6

Розроблені алгоритми керування дозволяють автоматизувати технологічний процес транспортування видобутої руди стабільної якості з ділянки дроблення рудника в відділення подрібнення збагачувальної фабрики.

ВИСНОВКИ

В бакалаврському дипломному проекті на тему: «Електропривод і автоматизація дробильної установки» були отримані наступні результати.

1. На основі проведеного аналітичного огляду показано, що на даний час в гірництві здебільшого використовуються шокові, конусні, валкові, барабанні, молоткові і роторні дробарки. Їх застосовують для дроблення кам'яного вугілля, коксової шихти, вапняку, руд чорних, кольорових, рідкісних і благородних металів, калійних солей, баритових, флюоритових і азбестових руд, будівельних матеріалів, твердих, крихких, в'язких, та навіть вологих порід.

2. В даному проекті розглядається подрібнення залізної руди під час процедури збагачення. Для цих цілей була обрана конусна дробарка крупного дроблення, як така, що має більшу продуктивність та надійність в роботі та менші питомі витрати електроенергії.

3. Обґрунтована заміна існуючого головного електроприводу дробарки векторно-керованим асинхронним електроприводом.

4. Для управління електроприводом дробарки з урахуванням вимог технологічного процесу було обрано алгоритм непрямого векторного керування. Цей алгоритм дозволяє отримати основні переваги векторного керування, такі як плавний старт і зупинка плавне обертання двигуна у всьому діапазоні частот, швидка реакція на зміну навантаження: при зміні навантаження практично не відбувається значної зміни швидкості, знижуються втрати на нагрів і намагнічування, підвищується ККД електродвигуна.

5. На основі типової функціональної схеми електроприводу розглянута робота перетворювача частоти з описом всіх ланок і елементів. За параметрами електродвигуна було здійснено підбір основних елементів силової частини перетворювача частоти.

7. В розробленій системі непрямого векторного керування відбувається полеорієнтування, що видно з представлених графіків перехідних процесів.

8. Розроблені алгоритми дозволяють автоматизувати технологічний процес транспортування видобутої руди стабільної якості з ділянки дроблення рудника в відділення подрібнення збагачувальної фабрики.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сімоненко В. О. Обґрунтування та визначення раціональних параметрів гідравлічної дробарки, що застосовується на збагачувальних фабриках [Електронний ресурс] / В. О. Сімоненко, В. С. Коломієць – URL: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/simonenko/diss/indexu.htm>.
2. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Хмара Л. А. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування: навч. посіб. /Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, О. Г. Онищенко. – Д. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 209 с.
4. Пономарев В. Б. Щековые и конусные дробилки [Електронний ресурс] / В. Б. Пономарев, А. Б. Лошкарєв // ГОУ ВПО УГТУ–УПИ. – 2008. – Режим доступу до ресурсу:
https://study.urfu.ru/Aid/Publication/7484/1/Ponomarev_Loshkarev_3.pdf.
5. Расчет конусной дробилки крупного дробления ККД [Електронний ресурс] // Филиал ЮУрГУ в г. Сатка – URL: <https://works.doklad.ru/view/pbjyrjwYH3Q.html>.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» денної та заочної форм навчання / С. М. Пересада, М. В. Пушкар. // АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ-2. – 2014.
6. Лобко В.В. Автоматизация технологического процесса измельчения руды на сальвинитовой обогатительной фабрике / В.В. Лобко, В.С. Мыслейко, А.П. Кузнецов // Республиканское унитарное предприятие "ПО "Беларуськалий" Коржа, 5, Солигорск, 223710, Беларусь, Белорусский государственный

университет інформатики и радіоелектроніки П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь. – 2006. – С. 59–62.

7. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. Минск, 2004. С. 512–564.

8. Електропривод. Структура і загальні відомості [Електронний ресурс] – URL:

http://www.dgma.donetsk.ua/metod/esa/teoriya_elektroprivoda/konspekt_lekciy.pdf.

9. Азарян В.А. Технологічно-теоретичні засади управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів : дис. докт. техн. наук : 622.012:658.5:6 / В.А. Азарян – Кривий Ріг, 2019. – 376 с.

10. Каталог IGBT модулів та транзисторів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://semismart.com.ua/produksiya/igbt-moduli>.

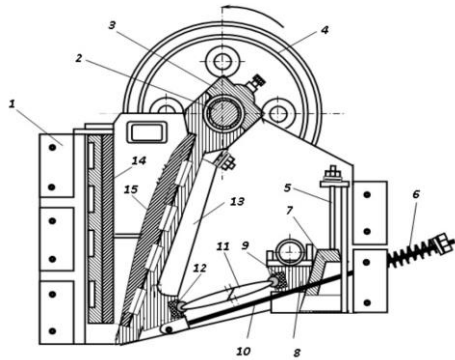
11. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: ЛР КЕП частина 1 лаб. 414-20. // Київ НТУУ “КПІ”.

12. Конспект лекцій: Розділ 61 АД indirect 2017 5. 12// Київ НТУУ “КПІ”.

13. Конспект лекцій з дисципліни «Електротехніка» для студентів професійного напрямку 7.091701, 702, 704, 706, 707, 708, 709, 801 усіх форм навчання / А.А. Галіулін, П.М. Монтік, В.Д. Домрін - Одеса: ОНАХТ, 2009. – 65 с.

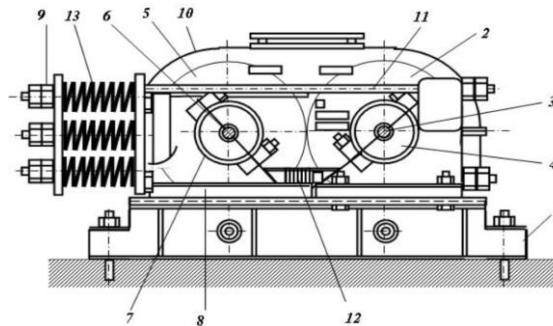
Додаток А

Креслення графічної частини



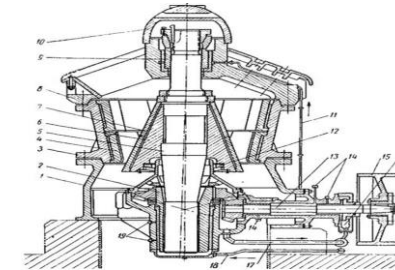
Щокова дробарка зі складним рухом щоки типу ЩДС.

1 – нерухома щока; 2 – ексцентриковий вал; 3 – корінні підшипники; 4 – шків; 5 – гвинт; 6 – пружина; 7 – клин; 8 – упор; 9, 12 – вкладиші; 10 – тяга; 11 – розпірні плити; 13 – рухома щока; 14, 15 – направляючі.

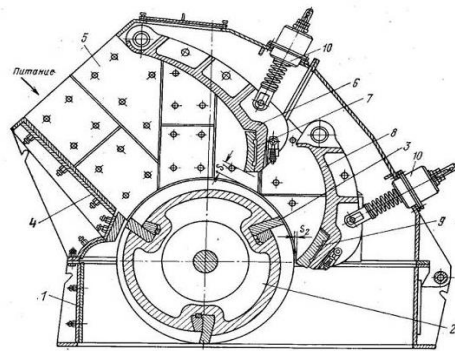


Валкова дробарка з гладкими валками.

1 – станина; 2, 5 – дробильні валки; 3, 6 – вали; 4, 7 – підшипники; 8 – напрямні; 9 – затяжні гайки; 10 – корпус; 11 – тяги; 12 – прокладки; 13 – пружини.

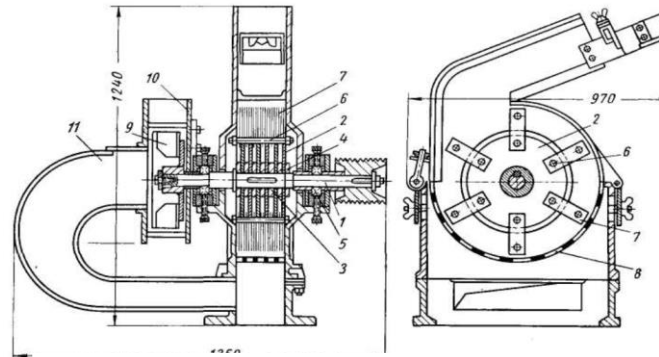


Технічна характеристика конусної дробильної установки
 1. Діаметр основи внутрішнього корпусу в м: 1,2
 2. Ширина завантажувального отвору в м: 0,6
 3. Номінальна ширина розвантажувальної щілини в фазі розкриття профілю, 0,06 м
 4. Розмір максимального шматка подачі, 0,3 м
 5. Продуктивність, т/год: 50
 6. Встановлена потужність головного приводу, 15кВт
 7. Габаритні розміри в мм: $l \times b \times h = 4500 \times 4500 \times 5000$ мм



Роторна дробарка ДРК (СМД)

1 - рама, 2 - ротор, 3 - біла, 4 - верхня частина корпусу для завантаження вихідного матеріалу, 5 - футеровка корпусу, 6 і 8 - відповідно верхня і нижня відбивні плити, 7 і 9 - футеровка плит, 10 - механізм для регулювання зазору відбивних плит.



Будова молоткової дробарки з вільно підвішеними молотками

1 - головний вал, 2 - диски, 3 - проміжні кільця, 4 - основа гайка, 5 - роликотілдинники, 6 - стержі, 7 - молотки, 8 - змінне сітло, 9 - колесо вентилятора, 10 - корпус вентилятора, 11 - повітропривід всмоктуючого вентилятора

				141. 61106.015.БР		
				«Електропривод і автоматизація дробильної установки»		
				Заказний вид креслення, що зображує конструкцію		
				Лист 1 Лист 2		
				КН-ФБА-ЕП-61		

Загальний вид дробарок

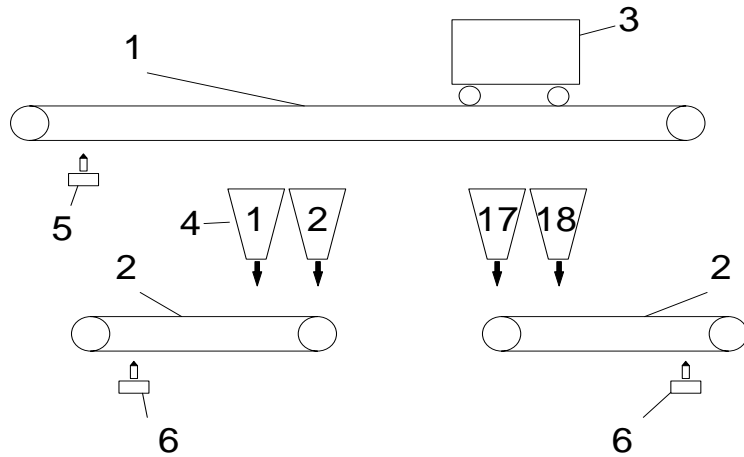
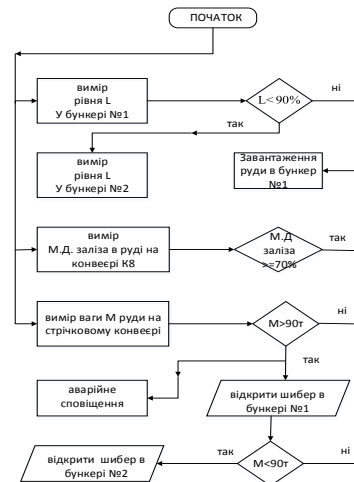
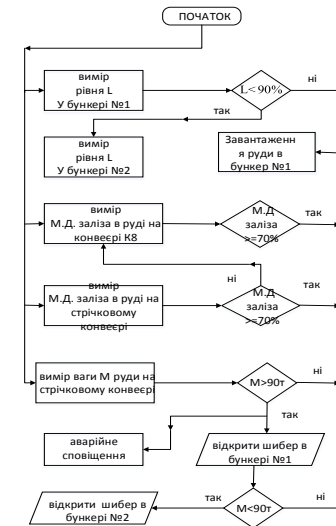


Схема подачі руди в відділення подрібнення збагачувальної фабрики: 1 - конвеєр; 2 – стрічкові конвеєри відділення подрібнення; 3 - візок розвантажувальна; 4 - бункери ЗФ; 5 - радіоізотопні ваги; 6 - радіоізотопні ваги стрічкових конвеєрів.



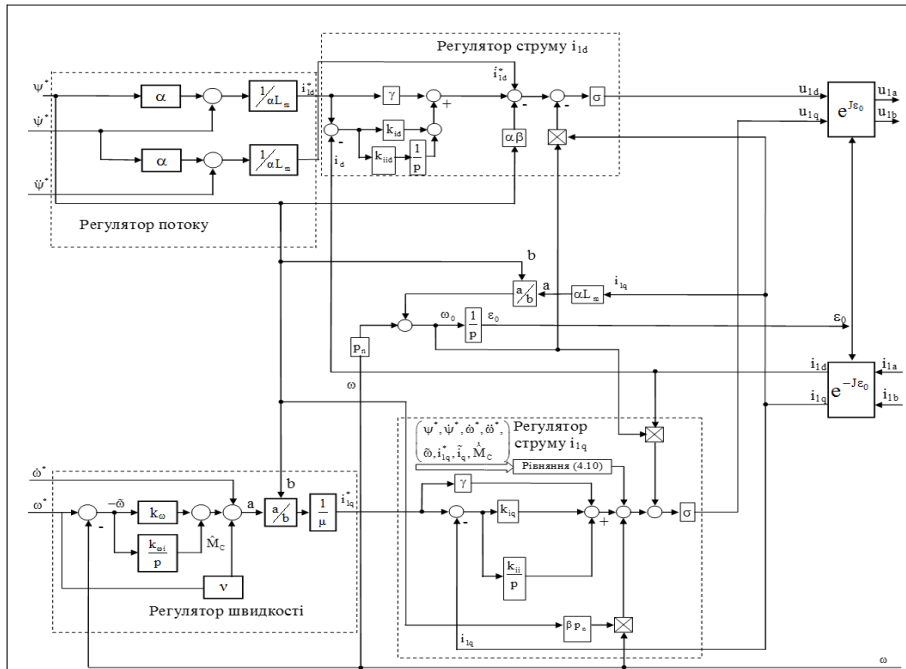
Алгоритм роботи програмного забезпечення контролера з регулювання кількості руди, що подається на один стрічковий конвеєр



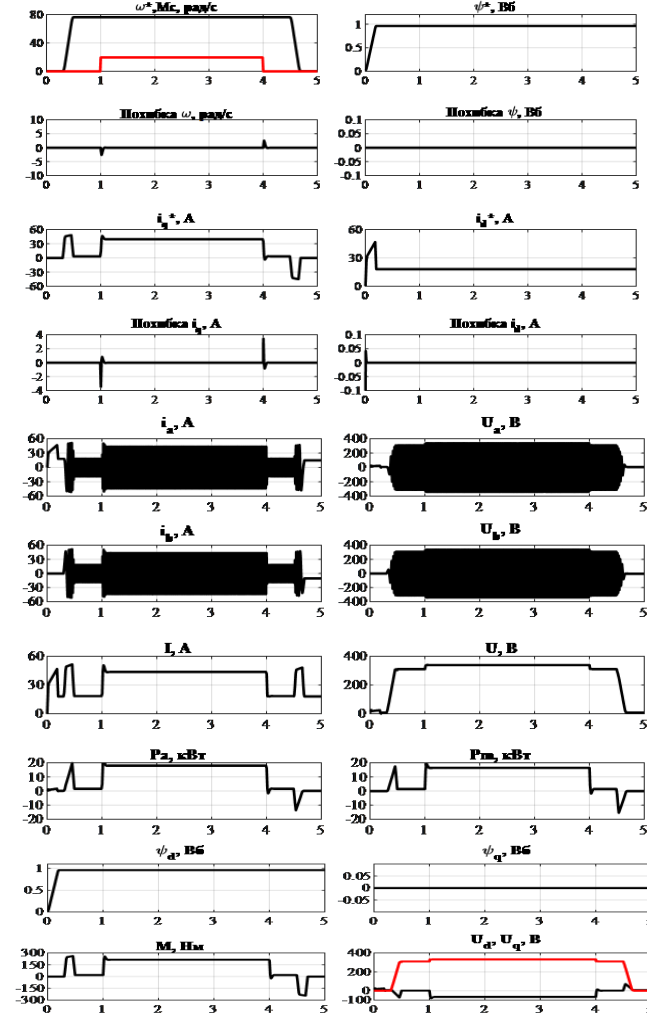
Алгоритм роботи програмного забезпечення контролера за розрахунком якості руди, що подається на подрібнення

141. 61106.015.БР						Лист	Маск	Маск/кв
№	Лист	№ докум.	Планш.	Дата	«Електронний і автоматизований дробильний устатковий»			
Розробив	Міхалашко А.П.	Алгоритми управління лінійою подрібнення						
Перевірив	Гурка В.І.	Лист 2	Лист 3					
Н. керів.	Жуковський М.М.	Кабінет «Спеціаліст»						
Зачекав.	Парасюк С.М.	Каб. АІМС-111 (р. 11.14.1)						

Алгоритми керування лінійою подрібнення



Структурна схема алгоритму непрямого векторного керування



Графіки перехідних процесів при використанні алгоритму непрямого векторного керування швидкістю

				141. 61106.015.БР		
				«Електронівод і автоматизація дробильної установкою»		
				Моделирование, та дослідження статичних і динамічних характеристик.		
№1	№2	№3	№4	Лист 1	Лист 2	Лист 3
Розробник	М. Шинкаренко	М. Шинкаренко	М. Шинкаренко			
Перевірник	Г. Г. В. І.					
М. Шинкаренко	М. Шинкаренко	М. Шинкаренко	М. Шинкаренко			
М. Шинкаренко	М. Шинкаренко	М. Шинкаренко	М. Шинкаренко			

