

АШМАРІН Валерій Андрійович

Модернізація електромеханічного обладнання дробарки середнього подрібнення КСД-2200 в умовах дробарного цеху ПАТ «ЦГЗК»

проф. Титюк В.К

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 1. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДРОБА- РНОГО ЦЕХУ ПАТ «ЦГЗК»

1.1 Опис технологічного обладнання

Дробарна фабрика є цехом по попередній підготовці та транспортуванню рудної сировини для збагачення.

Видача сирої руди з кар'єру здійснюється комбінованим автомобільно-конвеєрним транспортом.

Дроблення і подрібнення на збагачувальних фабриках є підготовчими операціями перед збагаченням і мають своїм призначенням роз'єднання (розкриття) зерен різних мінералів, що містяться в корисній копалині, тісно переплетених і зрощених між собою. Чим більше розкриваються (відділяються один від одного) мінерали при подрібненні, тим успішніше подальше збагачення корисної копалини. На рисунку – 1.1 зображена технологічна схема дробарної фабрики.

Інколи мінерали, що складають шматки корисних копалини, володіють різними фізико-механічними властивостями. Після подрібнення таких копалин в спеціально підібраних умовах одні, твердіші і міцніші мінерали, будуть представлені крупними шматками, інші, крихкі і менш тверді — шматками значно меншого розміру. Наступне розсівання роздробленого продукту дозволить відокремити одні мінерали від інших, тобто провести більш збагачення корисної копалини. Дроблення або подрібнення в цьому випадку має значення збагачувальної операції і називається дробленням.

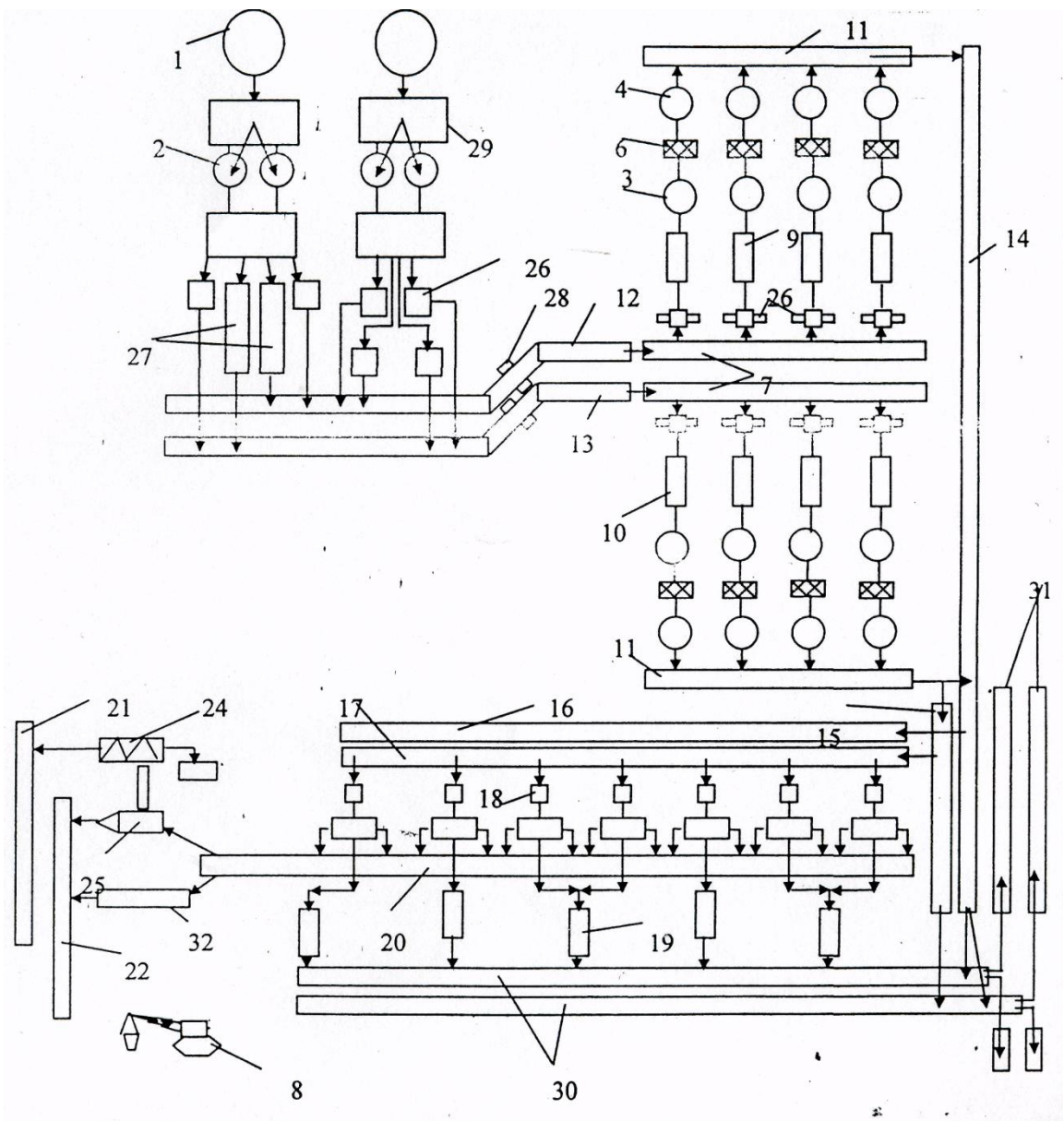


Рисунок 1.1 - Технологічна схема дробарного цеху ПАТ «ЦГЗК»

В табл.1.1 наведено технічні характеристики технологічного обладнання дробарної фабрики.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика технологічного обладнання дробарної фабрики.

№	Найменування, тип обладнання	Штук	Прим.	№	Найменування, тип обладнання	Штук	Прим.
1.	Дробарка конусна ККД 1500/180	2		17.	Стрічковий конвеєр КС-2	1	L=160м
2.	Дробарка конусна КРД 900/100	4		18.	Стрічковий конвеєр КС-4-КС15	10	L =14м

3.	Дробарка конусна КСД-2200	6		19.	Стрічковий конвеєр КС-16-КС-22	7	L=14м
4.	Дробарка конусна КМД -2200	6		20.	Стрічковий конвеєр СХ-1	1	L=618м
5.	Сепаратор 2ПБС-90/250	2		21.	Стрічковий конвеєр СХ_2	1	L =278м
	Сепаратор 1В-ПБС-90/250	4					
6.	Грохот інерційний ГИТ-5 1	6		22.	Стрічковий конвеєр СХ-3	1	L =590м
7.	Стрічковий конвеєр М- IP; М-2Р	2	L=96м	23.	Стрічковий конвеєр СХ-3а	1	L=6м
8.	Екскаватор ЕКГ 4,6 Б	1		24.	Класифікатор 1 - КСН-2400/9200	1	
9.	Стрічковий конвеєр I-VI тракт	3	L-9м	25.	Грохот ГИСТ-72	1	
10.	Стрічковий конвеєр VII-XII тракт	3	L=9м	26.	Живильник електровібраційний	18	
11.	Стрічковий конвеєр пересувний. М- 15, 16	2	L=70м	27.	Живильник стрічковий	2	
12.	Стрічковий конвеєр К- IP	1	L =300м	28.	Ваги стрічкові ЛТМ	5	
13.	Стрічковий конвеєр К-2Р	1	L =300м	29.	Шибєр вузла завантаження конвеєра	2	
14.	Стрічковий конвеєр 1П-1	1	L=170м	30.	Стрічковий конвеєр О-3 О-4	1	L=260м
						1	L =264м
15.	Стрічковий конвеєр 1П-2	1	L=160м	31.	Стрічковий конвеєр О-9, О- 10 О-11,О-12	2	L=131м
						2	L=133м
16.	Стрічковий конвеєр КС-1	1	L=160м	32.	Стрічковий конвеєр СХ-3А	1	

У таблиці 1.2 наведено технічні характеристики дробарного обладнання

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика дробарного обладнання

частиною станини дробарки) і розташованим усередині цієї чаші рухливим конусом, що дробить, 4, насадженим на вал 3. В дробарках для крупного дроблення вал 3 підвішується до верхньої траверси, а в дробарках для середнього і дрібного дроблення — на сферичний під'ятник 5 (рис 1.2), на який спирається конус, що дробить, жорстко закріплений на валу 3. 1 – верхня частина станини (нерухома конусна чаша); 2 - дроблений матеріал; 3 - вал; 4 - конус, що дробить; 5 - ексцентриковий стакан; 6 – конічна зубчаста передача; 7 – приводний вал; 8 – шків.

У наступну половину обороту вісь валу 3 і конус, що дробить, 4 повертаються в свої початкові положення. Наближення конуса, що дробить, 4 до чаші 1 супроводиться дробленням шматків матеріалу, що поступають в простір між ними, а видалення — розвантаженням роздробленого продукту, що виходить вниз, під дробарку.

Дроблення матеріалу в конусних дробарках відбувається безперервно, оскільки при будь-якому положенні ексцентрикового стакана на поверхні конічної чаші 2 завжди є крапка, до якої наближається конус, що дробить, і в якій відбувається дроблення. Безперервність дроблення дозволяє будувати конусні дробарки без важких маховиків, а також, в порівнянні з щічними дробарками, збільшувати тривалість дроблення і продуктивність.

У конусній дробарці для середнього дроблення (рис 1.3) вісь валу 3 при обертанні ексцентрикового стакана 6 описує конічну поверхню з вершиною в точці О в центрі дотичних сфер — нижньої поверхні конуса 4 і під'ятника 5. Конус, що дробить, здійснює усередині конічної чаші 2 кругові гойдання, подібні до гойдань конуса в дробарок з підвішеним валом. Роздроблений продукт розвантажується вниз під дробарку.

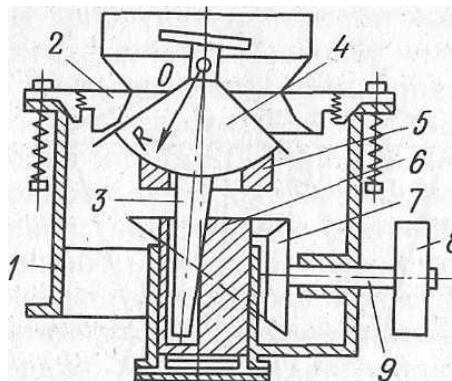


Рисунок 1.3 – Схема конусної дробарки середнього дроблення з валом, підвішеним на сферичному підп'ятнику

Камери дроблення конусних дробарок крупного, середнього і дрібного дроблення розрізняються конфігурацією (рис 1.2 і 1.3). В дробарок для крупного дроблення усічений конус чаші обернений великою підставою вгору, а в дробарок для середнього і дрібного дроблення - вниз.

Конуси, що дроблять, в дробарок всіх типів обернені великими підставами вниз, але в дробарок для крупного дроблення конус крутий, а в дробарок для середнього і дрібного дроблення – пологий. Конфігурація робочого простору конусних дробарок для крупного дроблення пристосована до прийому крупних шматків. Кільцевий простір між конусом, що дробить, 4 і конічною чашею 2 розширюється у верхній частці. Ширина вихідної щілини в сучасних дробарок складає (0,1—0,2) В, а максимальний діаметр конуса, що дробить, - приблизно 1,5 В (тут В — ширина приймального отвору дробарки). Сучасні конусні дробарки для крупного дроблення мають футеровку, що додає камері дроблення дробарки криволінійні контури. Футеровки такого профілю зменшують можливість забивання дробарки рудою.

Конфігурація камер дроблення конусних дробарок для середнього і дрібного дроблення передбачає прийом дрібнішого матеріалу і дозволяє видавати відносно рівномірний по великій шматків роздроблений продукт. При максимальному зближенні конуса, що дробить, із зовнішньою чашею створюється «паралельна зона» довжиною l і шириною s , яка визначає розмір шматків роздробленого продукту (рис.1.4). Камера дроблення конусних дробарок для

дрібного дроблення має в порівнянні з камерами в дробарках середнього дроблення паралельну зону і більшої довжини і конус меншої висоти, що дробить. За цією останньою ознакою конусні дробарки для дрібного дроблення називають ще коротко конусними.

1.3 Конструкція та технічні показники конусної дробарки середнього по- дрібнення КСД-2200Т

Конусні дробарки середнього і дрібного дроблення розрізняються лиш в деяких деталях. Розглянемо конструкцію конусної дробарки КСД-2200 Т на рисунку 1.4.

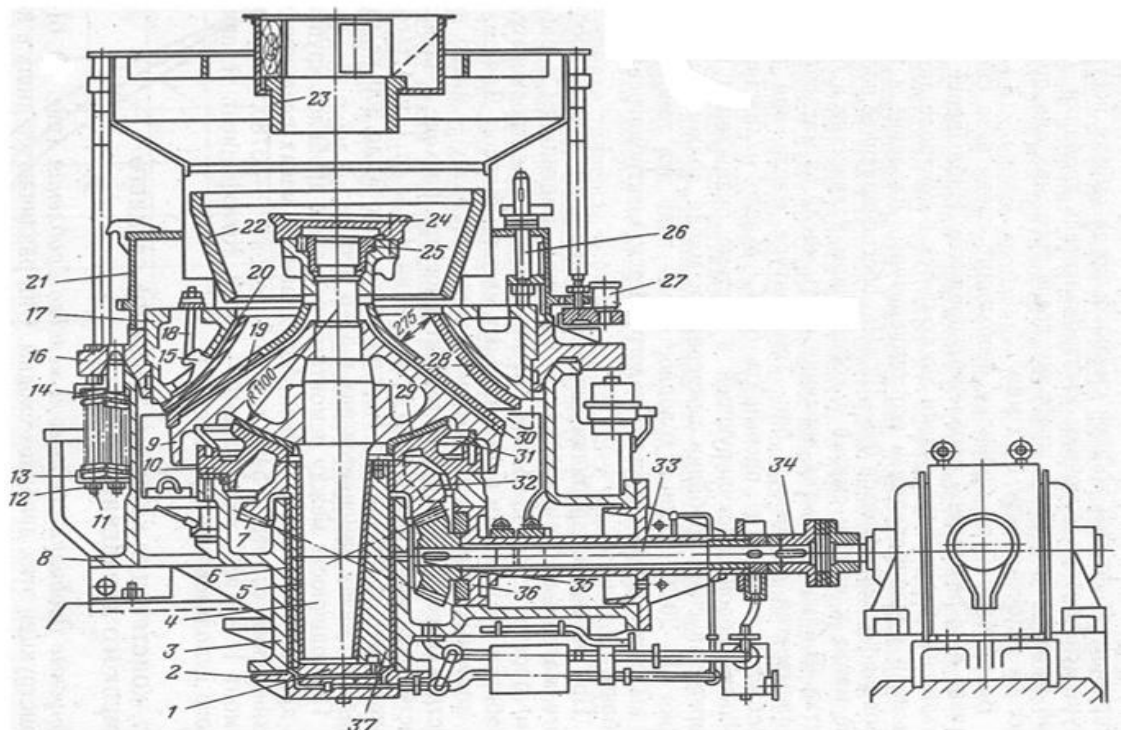


Рисунок 1.4 – Конусна дробарка середнього дроблення КСД-2200Т

Станина 8 дробарками має циліндрову оливку. Нижнім фланцем станина встановлюється на фундаменті. Для установки дробарок більшого розміру застосовують фундаментні плити. На верхньому фланці лежить опорне кільце 16, що є також циліндровим відливанням, на внутрішній поверхні якої зроблена гвинтова нарізка. Кільце своїм фланцем скріпляється з фланцем станини довгими болтами 11 і пружинами 14. Всього по колу станини дробарки

розміщують від 20 до 130 стягнутих болтів з пружинами залежно від розміру дробарки.

У самому стакані зроблено конічне розточування, розташоване ексцентрично щодо вертикальної осі стакана. У цьому розточуванні укріплена бронзова втулка 5, в яку входить нижній кінець робочого валу 4.

Частота обертання ексцентрикового стакана складає більше 200 мін-1. При обертанні ексцентрично розташованих мас з такою великою частотою обертання можуть виникнути значні сили інерції. Для того, щоб збалансувати маси, що обертаються, на великій конічній шестерні зроблений прилив 32.

Ексцентриковий стакан внизу спирається на підп'ятник 1, що складається з декількох шайб, що ковзають один по одному. Підп'ятник лежить в гнізді на донній плиті 2, яка прикріплена болтами знизу до втулки 3. У верхній частці на робочому валу 4 жорстко закріплений конус, що дробить, 9 і тарілка 24, що рівномірно подає дроблений матеріал в камеру дроблення дробарки.

Конус, що дробить, є відливанням з пологою бічною поверхнею (кут при вершині біля 100°). Висота конуса приблизно в 3 рази менше діаметру його підстави. Бічна поверхня конуса, якою він натискує на шматки матеріалу, що заповнює камеру дроблення, футерована кільцевою бронею 30, заклиненою на конусі фасонною гайкою 25. Для щільного прилягання футеровки до поверхні конуса простір між ними заповнений цинковою заливкою 19.

Для запобігання проникненню пилу до сферичного підп'ятника і приводного механізму в дробарці є гідравлічний затвор. Підп'ятник 10 має кільцеву канавку, заповнену водою, яка подається під натиском по трубопроводу через кільцеву камеру. Надлишок води переливається через поріг канавки і по спусковій кільцевій виточці і трубопроводу відводиться з дробарки. До внутрішньої поверхні конуса, що дробить, прикріплений комір 31, вільний обріз якого при роботі дробарки весь час занурений у воду, заповнюючу канавку. Влітку гідравлічний затвор заповнюється водою, а взимку, якщо дробарка стоїть в неопалювальному приміщенні - мінеральним маслом.

На фасонній гайці конуса, що дробить, зверху болтами закріплена розподільна тарілка 24, на яку через завантажувальну воронку 23 поступає дроблений матеріал. Тарілка разом з конусом, що дробить, здійснює кругові кочення, залишаючись весь час в похилому положенні. Матеріал, сповзаючи по тарілці, падає в робочий простір дробарки по всьому колу приймального отвору. Роздроблений продукт розвантажується з робочого простору вниз через кільце, щілина між конусом, що дробить, і зовнішньою чашею; далі він виходить під дробарку на стрічковий конвеєр.

Паралельна зона в дробарок дрібного дроблення (коротко-конусних) має довжину, приблизно рівну $1/6$, а в дробарок середнього дроблення — $1/10-1/12$ діаметру конуса, що дробить. Частота обертання ексцентрикового стакану розрахована так, щоб кожен шматок дробленого матеріалу був хоч би один раз роздавлений в паралельній зоні. Ширина паралельної зони вважається за ширину вихідної щілини. Вона регулюється шляхом обертання зовнішньої чаші щодо опорного кільця. При цьому відбувається вигвинчування або вгвинчування чаші і відповідне збільшення або зменшення ширини вихідної щілини. Чаша повертається за допомогою гідравлічних циліндрів 27.

Привід в конусних дробарок середнього і дрібного дроблення здійснений безпосередньо від електродвигуна, вал якого муфтою 34 з'єднується з приводним валом 33. Приводний вал 33 з підшипниками 35 змонтований в настановній обоймі 36, закріплений фланцем на станині дробарки.

Для цього матеріал повинен подаватися на розподілюючу тарілку з невеликою швидкістю і майже вертикально. Нерівномірне завантаження камери дроблення матеріалом приводить до однобічного зносу футеровки і дробарка починає видавати закрупнений продукт.

Технічні параметри дробарки КСД-2200Т наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Технічні параметри конусної дробарки КСД-2200

Технічні параметри	Значення
Діаметр основи дробарного конуса, мм	2200

Ширина приймальної щілини на відкритій стороні, мм	275
Найбільший розмір кусків живлення, мм	250
Діапазон регулювання ширини розвантажувальної щілини у фазі зближення профілів, мм	15...30
Частота обертання ексцентрика, с^{-1} , об/хв	4,0(242)
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	180...360
Потужність головного привода, кВт	250
Напруга струма частоти 50 Гц, В	6000
Зміна ширини розвантажувальної щілини при повороті кожуха на 1 зуб, мм	1
Час циклу при повороті кожуха на 1 зуб, с	46
Найбільший тиск в гідросистемі керування щілини, $\text{кгс}/\text{см}^2$ (МПа)	120(12) 60(6,0)
Продуктивність індивідуальної замазочної станції, л/хв	100
Габаритні розміри дробарки, мм	
Довжина	5070
Ширина	3250
Висота	5050
Маса дробарки без запасних частин, т	104

1.4 Розрахунок потужності електродвигуна дробарки та її продуктивності

1.4.1 Частота обертання ексцентрикового стакану

Конусні дробарки середнього і дрібного дроблення мають паралельну зону довжиною l і шириною b . Призначення цієї зони — отримання роздробленого продукту з максимальним шматком розміром, що не перевищує ширини зони.

При виконанні цієї умови кожен шматок, принаймні один раз, буде затиснутий в паралельній зоні (рис. 1.5). Отже, число обертів ексцентрикового стакану залежить від довжини паралельної зони і швидкості просування шматка в цій зоні.

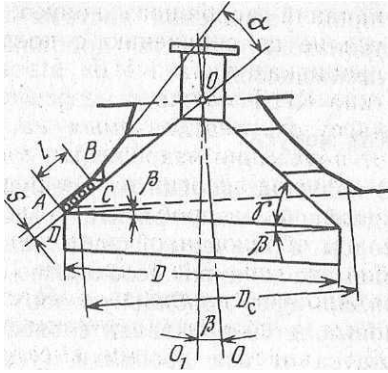


Рисунок 1.5 – Розвантаження дробленого продукту дробарки середнього подрібнення

Практичні частоти обертання ексцентрикового стакану дробарок приведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Практичні частоти обертання ексцентрикового стакану

Дробарка	Частота, об/хв
КСД 1200	260
КСД 1750	245-260
КСД 2200	242

Приймаємо для дробарки КСД 2200 частоту обертання ексцентрикового стакану 242 об/хв.

1.4.2 Розрахунок продуктивності дробарки

Додаткові вихідні дані для розрахунку:

- ширина вихідної щілини $b=15-30$ мм;
- частоту обертання ексцентрикового стакану $n=242$ хв-1;
- паралельна зона довжиною l , м
- діаметр основи дробарного конуса, м, $D=2,2$ м.

$$l = k \cdot D \quad (1.1)$$

де k – конструктивний параметр дробарки.

Масова продуктивність дробарки визначається за формулою:

$$V = 60 \pi n b l D = 60 \cdot 3,14 \cdot 242 \cdot 0,024 \cdot 0,1 \cdot 2,2 = 240 \text{ м}^3/\text{год} \quad (1.2)$$

Розрахована продуктивність дробарки лежить в межах паспортних даних дробарки – 180-360 м³/год.

1.4.3 Розрахунок необхідної потужності та вибір приводного двигуна дробарки

Для дробарок типів КСД та КМД потужність електродвигунів приблизно прямо пропорційна продуктивності, тобто добутку nD^2 , і обчислюється за формулою:

$$P = 0,21n \cdot D^2 \quad (1.3)$$

Підставивши відповідні значення, отримуємо:

$$P = 0,21 \cdot 242 \cdot 2,2^2 = 246 \text{ кВт}$$

Приймаємо потужність двигуна $P = 250 \text{ кВт}$

На підставі зроблених розрахунків вибираємо двигун зі наступними параметрами:

Електродвигун асинхронний з короткозамкненим ротором закритого виконання АЗД 13-52-12 УХЛ4, який використовується для привода механізмів не вимагаючи великого регулювання частоти обертання.

Вибір двигуна здійснювався з урахуванням вимог до електроприводу механізму дробарки:

- Не потребується значне зниження пускового струму;
- Забезпечення пуску при невисоких значеннях моменту інерції, або моменту опору механізму (робота відбувається при нульовому початковому моменту навантаження, при майже постійному навантаженні під час роботи);
- Не потребується значне регулювання частоти обертання.

Основні технічні дані двигуна наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічні параметри приводного двигуна дробарки типу АЗД 13-52-12 УХЛ4

Технічні параметри	Значення
--------------------	----------

Потужність, кВт	250
Напруга, кВ	6
Частота обертання, об/хв.	490
Частота, Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, %	92,3
Струм статора, А	34,5
Коефіцієнт потужності	0,76
Напруга фазного ротора, В	-
Струм ротора, А	-
Відношення максимального обертового моменту до номінального, в.о	1,9

Розділ 2 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Розрахунок електричного навантаження споживачів

Електричні навантаження будемо розраховувати методом впорядкованих діаграм. Цей метод є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання. В табл.2.1 наведено відомості про основних споживачів електроенергії дробарної фабрики ПАТ ЦГЗК

Таблиця 2.1 – Розрахунок навантажень споживачів

Найменування споживачів	Кількість	P_H , кВт	ΣP , кВт	K_C	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Приймачі 6 кВ								
Дробарка КСД 2200	11	250	2750	0,75	0,8	0,75	2062,5	1546,88
Дробарка КМД 2200	11	250	2750	0,75	0,8	0,75	2062,5	1546,88
Конвеєр К-1	1	600	600	0,75	0,8	0,75	450	337,5
Конвеєр П-1	1	300	300	0,75	0,8	0,75	225	168,75
Конвеєр 2П-1	1	150	150	0,75	0,8	0,75	112,5	84,375
Конвеєр 4П-1	1	600	600	0,75	0,8	0,75	450	337,5
Конвеєр М-2	1	400	400	0,75	0,8	0,75	300	225
Насос ВД	1	600	600	0,75	0,8	0,75	450	337,5
Конвеєр 2К-3	1	500	500	0,75	0,8	0,75	375	281,25
Конвеєр М-2	1	400	400	0,75	0,8	0,75	300	225
Всього по 6 кВ							6787,5	5090,64
Приймачі 0,4 кВ								
Найменування споживачів	Кількість	P_H , кВт	ΣP , кВт	K_C	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПСУ 34	1	400	400	0,75	0,8	0,75	300	225
ПСУ 6	1	1000	1000	0,75	0,8	0,75	750	562,5
ПСУ 247	1	400	400	0,75	0,8	0,75	300	225
ПСУ 7	1	630	630	0,75	0,8	0,75	472,5	354,75
ПСУ 8	1	1000	1000	0,75	0,8	0,75	750	562,5

ПСУ 34	1	400	400	0,75	0,8	0,75	300	225
ПСУ 9	1	1000	1000	0,75	0,8	0,75	750	562,5
ПСУ 14	1	400	400	0,75	0,8	0,75	300	225
ПСУ 11	1	1000	1000	0,75	0,8	0,75	750	562,5
Всего по 0,4 кВ							4672,5	3504,75
Разом							10735,2	8595,39

де K_n - коефіцієнт попиту,

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності.

Розрахункові навантаження споживачів визначаються за формулами:

$$P_p = K_C \cdot \sum P, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар} \quad (2.2)$$

2.1.1 Вибір силових трансформаторів

Визначаємо повну потужність трансформаторів:

$$S_p = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2} = \sqrt{10735,2^2 + 8595,39^2} = 18912,5 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.3)$$

З урахування коефіцієнту запасу для живлення однотипних підстанцій встановлено 2 трансформатора ТДНС – 16000/35, $S_{н.тр} = 16 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

Технічні параметри трансформатора 154/35/6 кВ наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Технічні параметри триобмоточного трансформатора

Тип	Потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ			Напруга короткого замикання, %			Втрати потужності, кВт		Струм неробочого ходу, %
		ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	НХ	КЗ	
ТДТГ 60000/150	60000	154	38,5	6,6	19,5	12,5	6	214	386	5

Технічні параметри трансформатора 35/6 кВ наведені в табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Технічні параметри трансформатора ТМ-160/6

Тип	Потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Струм неробочого ходу, %	Напруга короткого замикання, %
		ВН	НН	НХ	КЗ		
ТДНС – 16000/35	16000	36,75	6,3	20	105	0,75	10

Визначаємо повну потужність низьковольтних споживачів по секції №4 в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Потужність низьковольтних споживачів по секції №4, 0,4 кВ

Найменування споживачів	Кількість	P_H , кВт	ΣP , кВт	K_C	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_P , кВт	Q_P , квар
Оперативний ланцюг КСД	2	1,5	3	0,75	0,8	0,75	2,25	1,69
Грохот 6	1	40	40	0,75	0,8	0,75	30	22,5
Конвеєр 6	1	40	40	0,75	0,8	0,75	30	22,5
Живильник 6-2Л	1	40	40	0,75	0,8	0,75	30	22,5
Разом	5						92,25	69,19

$$S_{P(0,4)} = \sqrt{\Sigma P_{P(0,4)}^2 + \Sigma Q_{P(0,4)}^2} = \sqrt{92,25^2 + 69,19^2} = 115,314 \text{ кВт} \cdot \text{А} \quad (2.4)$$

З урахуванням запасу по потужності для живлення низьковольтних споживачів приймаємо до встановлення трансформатор типу ТМ-160/6,
 $S_{H.TP} = 160 \text{ кВт} \cdot \text{А}$

Технічні параметри трансформатора 6/0,4 кВ наведені в табл. 2.5

Таблиця 2.5 – Технічні параметри трансформатора ТМ-160/6

Тип	Потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Струм неробочого ходу, %	Напруга короткого замикання, %
		ВН	НН	НХ	КЗ		
ТМ-160/6	160	6,3	0,4	0,5	2,65	2,4	4,6

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 6 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання проводимо за параметрами вказаними на розрахунковій схемі на рисунку 2.1.

Приймаємо базисну потужність $S_B = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

При розрахунках струмів короткого замикання від джерела необмеженої потужності $S_C = \infty$, приймаємо опір системи $X_C = 0$.

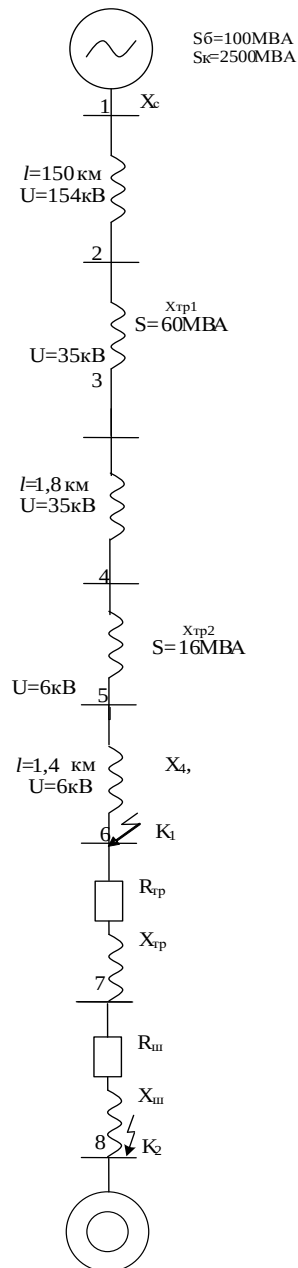


Рисунок 2.1 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Визначаємо опір повітряної лінії:

$$X_1 = X_o \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{НОМ}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{154^2} = 0,253 \quad (2.5)$$

де X_o - індуктивний опір повітряної лінії, $X_o = 0,4 \text{ Ом/км}$

l - довжина повітряної лінії, км

S_B - базисна потужність, МВ·А

$U_{НОМ}$ - номінальна напруга лінії, кВ

Визначаємо опір трансформатора 154/35 кВ:

$$X_2 = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{Н.ТР}} = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{100}{60} = 0,208 \quad (2.6)$$

де U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %

$S_{Н.ТР}$ - номінальна потужність трансформатора

Визначаємо опір трансформатора 35/6 кВ:

$$X_3 = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{Н.ТР}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,625 \quad (2.7)$$

де U_B - базисна напруга, кВ

$U_{НОМ}$ - номінальна напруга трансформатора, кВ

Визначаємо опір кабельної лінії 35 кВ:

$$X_4 = X_O \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2} = 0,15 \cdot 1,8 \cdot \frac{100}{35^2} = 0,022 \quad (2.8)$$

де X_O - індуктивний опір кабельної лінії, Ом/км

l - довжина кабельної лінії, км.

Визначаємо опір кабельної лінії 6 кВ:

$$X_5 = X_O \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2} = 0,08 \cdot 1,4 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,282 \quad (2.9)$$

Визначаємо сумарний опір до точки К1:

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 0,253 + 0,208 + 0,022 + 0,625 + 0,282 = 1,39 \quad (2.10)$$

Струм короткого замикання у точці К1:

$$I_{K1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 1,39} = 6,92 \text{ кА} \quad (2.11)$$

Визначаємо ударний струм короткого замикання

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,92 = 17,62 \text{ кА} \quad (2.12)$$

де K_y - ударний коефіцієнт; у колі без урахування активного опору $K_y = 1,8$

Найбільше діюче значення повного струму короткого замикання на протязі першого періоду к.з:

$$I_{y1} = I_K \cdot q = 6,92 \cdot 1,52 = 10,52 \text{ кА} \quad (2.13)$$

$$\text{де } q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,8 - 1)^2} = 1,51$$

Потужність короткого замикання у точці К1:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K1} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 6,292 = 68,66 \text{ МВ} \cdot \text{А} \quad (2.14)$$

де U_H - номінальна напруга установки, кВ

2.2.1 Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ

$$U_H = 0,4 \text{ кВ}$$

Визначаємо опір системи:

$$X_C = \frac{U_H^2}{S_{K1}} = \frac{400^2}{68,66 \cdot 10^3} = 2,33 \text{ мОм} \quad (2.15)$$

де U_H - номінальна напруга установки, В

S_{K1} - потужність короткого замикання при $U_H = 6,3 \text{ кВ}$, кВ·А

Визначаємо активний опір трансформатора у відносних одиницях:

$$\hat{r}_T = \frac{\Delta P_{K3}}{S_{H.T}} = \frac{2,65}{160} = 0,0166 \quad (2.16)$$

Визначаємо активний опір трансформатора в абсолютних одиницях:

$$r_T = \frac{\hat{r}_T \cdot U_H^2}{S_T} = \frac{0,0166 \cdot 400^2}{160} = 16,6 \text{ мОм} \quad (2.17)$$

де $S_{H.T}$ - номінальна потужність трансформатора, кВ·А

ΔP_{K3} - втрати трансформатора, кВт

Визначаємо індуктивний опір трансформатора у відносних одиницях:

$$\hat{X}_T = \sqrt{\left(\frac{U_K}{100}\right)^2 - \hat{r}_T} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - 0,0166^2} = 0,042 \quad (2.18)$$

де U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %.

Визначаємо індуктивний опір трансформатора в абсолютних одиницях:

$$X_T = \frac{\hat{X}_T \cdot U_H^2}{S_T} = \frac{0,042 \cdot 400^2}{160} = 42 \text{ мОм} \quad (2.19)$$

Визначаємо активний опір шин:

$$r_{ш} = l_{ш} \cdot r_O = 30 \cdot 0,056 = 1,68 \text{ мОм} \quad (2.20)$$

де $l_{ш}$ - довжина шин, м

r_O - питомий активний опір шин, мОм/м .

Визначаємо індуктивний опір шин:

$$X_{ш} = l \cdot X_O = 30 \cdot 0,189 = 5,67 \text{ мОм} \quad (2.21)$$

Приймаємо активний та індуктивний опір автоматичного вимикача:

$$r_a = 0,12 - \text{мОм}$$

$$X_a = 0,084 - \text{мОм}$$

Визначаємо активний сумарний опір:

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{ш} + r_a = 16,6 + 1,68 + 0,12 = 18,4 \text{ мОм} \quad (2.22)$$

Визначаємо індуктивний сумарний опір:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_T + X_{ш} + X_a = 2,337 + 42 + 5,67 + 0,084 = 50,091 \text{ мОм} \quad (2.23)$$

Визначаємо повний опір:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{18,4^2 + 50,091^2} = 53,364 \text{ мОм} \quad (2.24)$$

Визначаємо струм короткого замикання у точці К2:

$$I_{K2} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 53,364} = 8,655 \text{ кА} \quad (2.25)$$

Ударний коефіцієнт:

$$\frac{X_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \frac{50,091}{18,4} = 2,722 \quad (2.26)$$

$$K_y = 1,2$$

Ударний струм

$$I_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 8,655 = 14,688 \text{ кА} \quad (2.27)$$

Діюче значення повного струму короткого замикання

$$I_{y2} = I_{K2} \cdot q = 8,655 \cdot 1,04 = 9 \text{ кА} \quad (2.28)$$

$$\text{де } q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,2 - 1)^2} = 1,04 \quad (2.29)$$

$$\text{Потужність короткого замикання при } U_H = 0,4 \text{ кВ } S_{K2} = \frac{S_{K1}}{Z_\Sigma} = \frac{68,461}{53,364} = 1,283$$

МВ·А

2.3 Вибір високовольтної апаратури

2.3.1 Вибір та розрахунок шин

Вибір перерізу шин проводиться по розрахунковому струму навантаження:

$$I_{PO3P} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{18912,5}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1733,2 \text{ А} \quad (2.30)$$

де S_p - повна розрахункова потужність споживачів, кВ·А;

U_H - номінальна напруга, кВ.

Приймаємо до встановлення алюмінієві шини прямокутного перерізу 60 х 6 (мм),

$I_{доп} = 2000 \text{ А}$, які розташовані в одній площині.

Шини перевіряють на міцність впливу електродинамічних сил:

Момент опору шини прямокутного перерізу, які розташовані в одній площині визначають за формулою:

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 0,6 \cdot 6^2 = 3,61 \text{ см}^3 \quad (2.31)$$

де b - товщина шини, см;

h - ширина шини, см.

Максимальне розрахункове напруження в однополосній шині:

$$G_{PO3P} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot l^2 \cdot i_y^2}{a \cdot W} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot 60^2 \cdot 17,62^2}{30 \cdot 3,61} = 18,163 \text{ кгс/см}^2 = 18,163 \text{ МПа} \quad (2.32)$$

де l - відстань між двома сусідніми опорними ізоляторами, см;

i_y - ударний струм трифазного короткого замикання кА;

a - відстань між вісями суміжних фаз, см.

Так як $G_{доп} = 20 \text{ МПа}$ більше, ніж $G_{розр} = 18,163 \text{ МПа}$, то вибрані шини динамічно стійкі.

2.3.2 Вибір роз'єднувачів

Роз'єднувачі вибирають за номінальними струмом та напругою та конструктивним виконанням з перевіркою на динамічну та термічну стійкість, шляхом порівняння відповідних розрахункових та каталожних даних струмів короткого замикання В таблиці 2.6 параметри роз'єднувача.

Таблиця 2.6 – Параметри роз'єднувача

Розрахункові	Каталожні
$U_{ном} = 6,3 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{розр} = 17332 \text{ А}$	$I_H = 2000 \text{ А}$
$i_y = 6,92 \text{ кА}$	$i_{доп} = 10 \text{ кА}$
$I_y = 17,62 \text{ кА}$	$I_{доп} = 31,5 \text{ кА}$ при $t_{пр} = 4 \text{ с}$

За каталожними даними приймаємо до встановлення роз'єднувач типу РВ3-10/2000

2.3.3 Вибір високовольтних вимикачів

Вибір вимикачів проводиться за розрахунковим струмом та відмикаючій здатності, з урахуванням параметрів відновлюваної напруги. В таблиці 2.7 параметри високовольтного вимикача.

Таблиця 2.7 – Параметри високовольтного вимикача

Розрахункові	Каталожні
$U_{ном} = 6,3 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{розр} = 17332 \text{ А}$	$I_H = 2000 \text{ А}$
$i_y = 6,92 \text{ кА}$	$i_{доп} = 10 \text{ кА}$
$I_y = 17,62 \text{ кА}$	$I_{доп} = 30 \text{ кА}$

$\sqrt{2} \cdot I_y = \sqrt{2} \cdot 17,62 = 24,92 \text{ кА}$	при $t_{\text{лп}} = 4 \text{ с}$ $\sqrt{2} \cdot I_{\text{от}} = \sqrt{2} \cdot 30 = 42,43 \text{ кА}$
--	--

За каталожними даними приймаємо до встановлення вимикач типу VD4 2000А.

2.3.4 Вибір трансформатора струму

Трансформатори струму вибирають за розрахунковим струмом та напрузі, навантаженню первинної та вторинної котушок, класу точності та допустимій похибці, перевіряють на динамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання. Параметри трансформатора струму наведені в таблиці 2.8.

Електродинамічна стійкість виконується, якщо:

$$i_y \leq i_{\text{дин}} \quad (2.33)$$

де $i_{\text{дин}}$ - струм динамічної стійкості трансформатора струму, кА;

i_y - ударний струм трифазного короткого замикання

Термічна стійкість струму виконується, якщо тепловий імпульс:

$$B = I_{\text{п}}^2 \cdot t_{\text{к}} \leq (K_{\text{т}} \cdot I_{\text{ном1}})^2 \cdot t_{\text{к}} \quad (2.34)$$

де $I_{\text{ном1}}$ в кА;

$t_{\text{к}}$ - час термічної стійкості, для трансформаторів струму $t_{\text{к}} = 1 \text{ с}$.

Таблиця 2.8 – Параметри трансформатора струму

Розрахункові	Каталожні
$U_{\text{ном}} = 6,3 \text{ кВ}$ $I_{\text{розр}} = 17332 \text{ А}$ $i_y = 17,62 \text{ кА}$ $I_y^2 \cdot t_{\text{ск}} = 17,62^2 \cdot 2,2 = 563,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном1}} = 2000 \text{ А}$ $i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$ $(K_{\text{т}} \cdot I_{\text{ном1}})^2 \cdot t = (30 \cdot 1)^2 \cdot 1 = 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

За каталожними даними приймаємо до встановлення трансформатор струму ТПЛ-10

2.3.5 Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги вибирають за номінальними параметрами, класу точності та навантаженню.

До трансформатора напруги підключені паралельні котушки таких приладів:

вольтметрів ЕН-4шт., ваттметрів ВІТ-4шт., фазометрів ФДВ-3шт., лічильників ІТ-15шт., лічильників реактивної енергії ІР-10шт.

Вторинне навантаження трансформатора напруги визначають формулою:

$$S_{2PO3P} = \sqrt{(\sum P_{ПРИЛ})^2 + (\sum Q_{ПРИЛ})^2} \quad (2.35)$$

Визначаємо активну потужність приладів:

$$\begin{aligned} \sum P_{ПРИЛ} = \sum (S_{ПРИЛ} \cdot \cos \varphi_{ПР}) = & (4 \cdot 4,7 \cdot 1 + 4 \cdot 5 \cdot 0,12 + 3 \cdot 1,25 \cdot 0,77 + \\ & + 15 \cdot 1,75 \cdot 0,38 + 10 \cdot 1,73 \cdot 0,038) = 64,3 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (2.36)$$

Визначаємо реактивну потужність приладів:

$$\begin{aligned} \sum Q_{ПРИЛ} = \sum (S_{ПРИЛ} \cdot \sin \varphi_{ПР}) = & (4 \cdot 4,5 \cdot 0 + 4 \cdot 5 \cdot 0,99 + 3 \cdot 1,25 \cdot 0,64 + \\ & + 15 \cdot 1,75 \cdot 0,92 + 10 \cdot 1,73 \cdot 0,92) = 44,8 \text{ квар} \end{aligned} \quad (2.37)$$

Визнаємо повне навантаження приладів:

$$S_{2PO3P} = \sqrt{64,3^2 + 44,8^2} = 78,37 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (2.38)$$

Приймаємо до встановлення трансформатор напруги НТМІ-6:

$U_{1Н} = 6000 \text{ В}$; $U_{2Н} = 100 \text{ В}$, номінальна потужність в класі точності 0,5=80 В·А, що є більше ніж розрахункова потужність.

2.3.6 Вибір кабельних ліній

Визнаємо розрахунковий струм двигуна дробарки:

$$I_P = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,76 \cdot 0,923} = 34,5 \text{ А} \quad (2.39)$$

де P_H - номінальна потужність двигуна, кВт;

U_H - номінальна напруга, кВ

На температуру повітря +30°C приймаємо $K_2 = 0,7$

$$I'_p = \frac{I_p}{K_2} = \frac{34,5}{0,7} = 49,29 \text{ А} \quad (2.40)$$

За температурою нагріву вибираємо кабель АСБ 3 х 70, $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$

Перевіряємо переріз кабель за економічною щільністю струму:

$$F_{EK} = \frac{I_p}{j_{EK}} = \frac{34,5}{0,9} = 38,33 \text{ мм}^2 \quad (2.41)$$

За економічною щільністю струму приймаємо до встановлення кабель типу АСБ 3 х 75, $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$.

Перевіряємо кабель за термічною стійкістю до струмів короткого замикання:

$$F_{\min} = \frac{I_{y1} \cdot \sqrt{tn}}{c} = \frac{17620 \cdot \sqrt{0,5}}{85} = 165,6 \text{ мм}^2 \quad (2.42)$$

Приймаємо до встановлення за термічною стійкістю кабель типу АСБ 3 х 75, $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$.

Перевіряємо кабель за втратою напруги:

$$\Delta U_p = \frac{10^3 \cdot P_H \cdot l_K}{\gamma \cdot S \cdot U_H} = \frac{10^3 \cdot 250 \cdot 1,4}{32 \cdot 75 \cdot 6300} \cdot 100 \% = 2,3 \% \quad (2.43)$$

де P_H - номінальна потужність, кВт ;

l_K - довжина кабельної лінії, км;

γ - питома провідність алюмінію, $\text{М}/\text{ОМ} \cdot \text{мм}^2$;

U_H - номінальна напруга установки, В.

Перевірена втрата напруги $\Delta U_p = 2,3\%$ менше допустимої $\Delta U_{\text{доп}} = 5 \%$, тому обраний кабель за втратою напруги підходить.

Перевіримо відповідність жил кабеля струму автоматичного вимикача.

Попередньо встановлено автоматичний вимикач типу ВБ-4П, $I_H = 100 \text{ А}$.

Умова відповідності вибраному апарату

$$I_{H, \text{доп}} = 100 A \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K} = \frac{34,5 \cdot 1}{1} = 34,5, A \quad (2.44)$$

де K_3 - коефіцієнт захисту

I_3 - номінальний струм захисного апарату, А

K - поправочний коефіцієнт на умови прокладення кабелів.

Вибраний кабель відповідає струму захисту автоматичного вимикача.

2.4 Вибір низьковольтної апаратури

2.4.1 Вибір автоматичних вимикачів

Номінальний струм зварювального трансформатора

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{115,314}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 166,44 A \quad (2.45)$$

де P_H - номінальна потужність, кВт 6

U_H - номінальна напруга

Вибираємо автоматичний вимикач типу АЗ134: $U_H = 400 B$, $I_H = 200 A$,

$I_{PACV} = 230 A$.

Номінальний струм оперативних кіл

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 6,5 A \quad (2.46)$$

де P_H - номінальна потужність освітлення, кВт.

Приймаємо до встановлення запобіжник типу АП50: $I_H = 10 A$, $U_H = 380 B$, $I_{PACV} = 10 A$.

2.4.2 Вибір магнітних пускачів

Вибір магнітних пускачів здійснюється за номінальною напругою, робочому струму та потужності підключеного обладнання.

Для оперативних ланцюгів приймаємо до встановлення магнітний пускач серії ПАЕ-300 $U_H = 380$ В; максимальна потужність підключеного обладнання 4,5 кВт; $I_H = 6,5$ А.

2.4.3 Вибір силового кабеля

Вибір перетину жили кабеля робимо згідно з умовою $I_{\text{доп}} \gg I_p$.

Обираємо площу поперечного перетину кабеля, яка витримує питомий струм. Для площі поперечного перетину 75 мм^2 струм дорівнює 180А, отже обираємо кабель типу АВВГ 3×25 .

Необхідно зробити перевірку обраного кабеля по допустимій втраті напруги.

У мережі $U_c = 380$ В, $\Delta U = 5\%$ від U_c , отже $\Delta U = 22$ В.

Втрати напруги знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 166,44 \cdot 20 \cdot 0,9}{32,2 \cdot 25} = 6,45 \text{ В} \quad (2.47)$$

де l – довжина кабельної мережі, $l = 20$ м;

γ – питома провідність, для алюмінію – $32,2 \text{ м/Ом} \cdot \text{мм}^2$.

Перевірку перетину кабелю за економічною густиною струму знаходимо за формулою:

$$S = \frac{I_p}{J_{\text{ЕК}}} = \frac{166,44}{2} = 83,22 \text{ мм}^2 \quad (2.48)$$

де $J_{\text{ЕК}}$ – нормативне значення економічної густини струму (для кабелів з гумовою ізоляцією та з алюмінієвою жилою нормативне значення економічної густини струму дорівнює $J_{\text{ЕК}} = 2$).

Перевірку кабелю за термічною стійкістю знаходимо за допомогою формули:

$$S_t = \frac{I_{\text{II}} \sqrt{t_{\text{II}}}}{C} = \frac{8655 \sqrt{0,4}}{90} = 60,8 \text{ мм}^2 \quad (2.49)$$

де C – коефіцієнт нагріву, який для алюмінію дорівнює $C=90$;

t_{Π} – час короткого замикання, приймаємо максимальне для спрацювання реле максимального струму, $t_{\Pi}=0,4\text{с}$.

Висновок: обраний кабель АВВГ 3×25 задовольняє усім вимогам.

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 3 Модернізація електроприводу дробарки КСД-2200

3.1 Зарубіжний досвід розробки та впровадження енергоефективних двигунів

По суті справи, стандарти та маркування нового енергоефективного електрообладнання дозволяє споживачам робити свідомий вибір на користь того обладнання, яке дозволить споживачам максимально ефективно вирішувати свої виробничі та побутові завдання при мінімізації споживання енергії. Ні для кого не секрет, що електродвигуни є одним з основних споживачів електроенергії у світовій економіці. Тому провідні виробники докладають значних зусиль (до цього їх стимулює і здорова техніко-технологічна конкуренція за споживача), щоб підвищити енергоефективність електродвигунів. А саме: підвищити такі технічні характеристики електродвигунів, як коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

Електродвигуни International Electrotechnical Commission (IEC) і National Electrical Manufacturers Association (NEMA) виконання мають підвищений ККД за рахунок зменшення втрат приблизно на 40% завдяки застосуванню більш якісної сталі; збільшення кількості активного матеріалу - залізо, мідь і алюміній; поліпшені системи охолодження та підшипникових вузлів. Крім енергозбереження, ці двигуни мають збільшений термін служби підшипників і обмотки за рахунок меншого температурного навантаження, дозволяють витримувати великі перевантаження в номінальному режимі і діють з меншим рівнем шуму.

В Європі і Японії ось вже десятки років виробляються і удосконалюються електродвигуни, і оснащене ними обладнання повсюдно застосовується в різних галузях промисловості. До якості електродвигунів пред'являються найвищі вимоги, завдяки яким вони отримують репутацію надійного і економічного устаткування. Настала пора переоснащення значної частини парку вітчизняного обладнання на основі нових енергоефективних електродвигунів. Але цей процес поки що йде не так масштабно, як того хотілося б. По-перше, інженери і технологи на вітчизняних підприємствах поки мало інформовані про характеристики електродвигунів нового покоління. По-друге, менеджери і власники підприємств поки що не усвідомили необхідність переоснащення своїх виробництв енергоефективними електродвигунами, які в ряді випадків дозволяють знизити споживання електроенергії в 2 рази.

Зарубіжні фірми (AEG, ABB) виробляють енергозберігаючі традиційні асинхронні двигуни, номінальною напругою 220/380 В (ТАД), збільшуючи масу активних матеріалів - міді та електротехнічної сталі. Проте це веде до суттєвого подорожчання двигуна. З їхнього досвіду відомо, що збільшення ККД на кілька процентів веде до збільшення міді на 20-25%, алюмінію на 10-15%, електротехнічної сталі на 30-35%. Збільшення електричного ККД ТАД супроводжується деяким зниженням його номінального $\cos\phi$. В кінцевому підсумку енергетичний ККД збільшується незначно або зберігається на первинному рівні. Найбільш ефективним технічним заходом, що забезпечує підвищення енергетичного ККД споживачів електричної енергії змінного струму, є компенсація реактивної потужності. На практиці це реалізується шляхом застосування різних компенсаторів реактивної потужності (КРП). Директивні матеріали уряду регламентують нормативне значення коефіцієнта потужності $\cos\phi = 0,9$. Однак ця величина досягається переважно в електромережах середньої і високої напруг (35-110 кВ). У низьковольтних мережах напругою 0,4 кВ, від яких живиться до 60% ТАД, підвищення $\cos\phi$ до прийнятного рівня відомими способами економічно не завжди виправдано, тому найчастіше, не

застосовується .

В Італії та Франції у 2004 році проведено дослідження асинхронних двигунів з литою мідною обмоткою ротора потужністю 3,5; 7,5 та 15 кВт у комбінації з електротехнічною сталлю високої якості (з питомими втратами 3,5 Вт/кг і високою магнітною проникністю). Результати досліджень підтвердили збільшення їхнього ККД . Також слід відмітити досягнення у цьому напрямі фірм WEG (Бразилія) та низки підприємств Індії . Таким чином, експлуатаційні випробування асинхронних двигунів з литою мідною короткозамкненою обмоткою ротора у США, Франції, Італії, Німеччині, Польщі, Бразилії та Індії підтвердили припущення, що поліпшені технічні характеристики і збереження електроенергії є наслідком використання асинхронних двигунів нового покоління і що термін окупності більш дорогого двигуна дуже незначний.

Компанії часто намагаються придбати електродвигуни більшого типорозміру, ніж це необхідно. Робиться це з багатьох причин. Експлуатаційні випробування, проводилися в обробних галузях промисловості, показали, що в середньому електродвигун працює при навантаженні лише 50 - 60% від номінального. Крім інших незручностей, робота двигуна в такому режимі неефективна. Більш доцільно замінити такі двигуни на менші, але більш ефективні. Ефективність всієї системи від цього тільки зросте. Німецька фірма SEW-Eurodrive у 2003 році випустила на ринок серію асинхронних двигунів потужністю від 1,1 до 37 кВт, у яких обмотка ротора виконана з міді шляхом лиття під тиском. Такі двигуни мають ККД 94 - 96 %, що значно перевищує вимоги норм США (EPA) і країн ЄС (Premium Efficiency) .

3.2 Вимоги до електроприводу дробарки середнього подрібнення

- невеликий діапазон регулювання швидкості електропривода;
- плавність регулювання у всьому діапазоні зміни швидкості й прискорення;

- поліпшені пускові характеристики: збільшений пусковий момент – на випадок забутовки дробарки;
- необхідність і можливість працювати тільки в руховому режимі без електричного гальмування;
- не потрібен реверс по швидкості та по моменту;
- не потрібен великий темп розгону, а темп гальмування забезпечується особливостями приводного механізму;
- надійність;
- довговічність;
- ремонтпридатність;
- економічність.

3.3 Вибір системи електроприводу

Частотний спосіб є одним з найбільш перспективних і широко використовуваних в даний час способів регулювання частоти обертання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Принцип його полягає в тому, що, змінюючи частоту напруги, що живить двигун, можна відповідно до вираження:

$$\omega = \frac{2\pi f_1(1-S)}{P} \quad (3.1)$$

де f_1 – частота, Гц;

S – ковзання, в.о;

P – кількість пар полюсів.

змінювати його частоту обертання холостого ходу, отримуючи тим самим різні штучні характеристики. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання в широкому діапазоні, отримувані характеристики володіють високою жорсткістю. Частотний спосіб до того ж відрізняється і ще однією дуже важливою властивістю: при регулюванні частоти обертання асинхронного двигуна не відбувається збільшення його ковзання, як це має місце, наприклад, при реостатному регулюванні. Тому при цьому засобі регулювання втрати ковзання

виявляються невеликими, у зв'язку з чим частотний спосіб виявляється вельми економічним.

Як правило, для кращого використання електродвигуна і отримання високих енергетичних показників його роботи (коефіцієнтів потужності і корисної дії, перевантажувальної здатності) одночасно із зміною частоти живлячої напруги необхідно змінювати і значення цієї напруги. Закон зміни напруги при цьому залежить від характеру моменту навантаження. Так, для випадку постійності статичного моменту навантаження, що вельми часто зустрічається, M_c залежність між напруги і частотою визначається виразом:

$$\frac{U_c}{f_c} = \frac{U_{рег}}{f_{рег}} = const \quad (3.2)$$

де U_c — напруга мережі; f_c — частота мережі.

Цей вираз означає, що при частотному керуванні частота живлячої напруги $U_{рег}$ і його значення повинні змінюватися пропорційно.

Необхідно відзначити, що ці співвідношення отримані для деякого двигуна, що ідеалізується, в якого опір статора приймався рівним нулю ($r_1=0$). Тому на практиці вони виявляються придатними лише в тих випадках, коли частота обертання двигуна регулюється в невеликих межах ($D < 2:1$).

При значних змінах частоти обертання двигуна, викликаних відповідною зміною частоти живлячої напруги, виконання цих співвідношень вже не забезпечує постійності перевантажувальної здібності і коефіцієнта потужності двигуна $\cos\phi$. Забезпечення незмінної перевантажувальної здатності вимагає використання так званої IR-компенсації.

Спрощена блок-схема частотного регульованого електроприводу показана на рисунку 3.1.

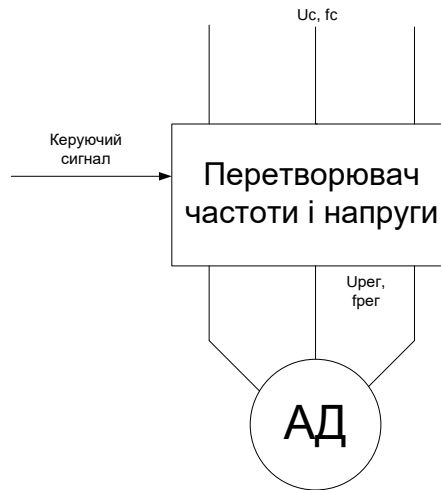


Рисунок 3.2 - Блок-схема частотного асинхронного електроприводу

Необхідним елементом приводу є перетворювач частоти і напруги, на вхід якого подається стандартна напруга мережі стандартної промислової частоти 50 Гц, а з його виходу знімається змінна напруга $U_{\text{рег}}$, регульованої частоти $f_{\text{рег}}$, величини яких знаходяться між собою в визначеному співвідношенні, визначуваному видом навантаження M_c . Регулювання вихідної частоти і напруги перетворювача здійснюється за допомогою сигналу, що управляє, зміна якого визначає в кінцевому підсумку зміну, частоти обертання асинхронного двигуна.

$$U_1 \approx E_1 = k\Phi \cdot f_1$$

(3.3)

На рисунку 3.1 як регульований двигун наведено короткозамкнений асинхронний електродвигун, який звично і застосовується в цій системі приводу. Різні типи перетворювачів частоти, які знайшли застосування в області частотного регулювання електроприводу, можуть бути розділені на дві групи, що відрізняються один від одного по використовуваних технічних засобах і пристроях.

Першу групу складають так звані машинні або перетворювачі, що обертаються, в яких для отримання змінної частоти використовуються звичайні або спеціальні електричні машини, в наші часи вони практично не використовуються. Найбільш перспективними в наші часи є перетворювачі статичні за рахунок доброго регулювання, високого ККД і швидкодії системи.

3.4 Статичні перетворювач частоти (ПЧ)

На рисунку 3.3 представлена блок-схема силової частини перетворювача із проміжною ланкою постійного струму (так званий інвертор напруги)

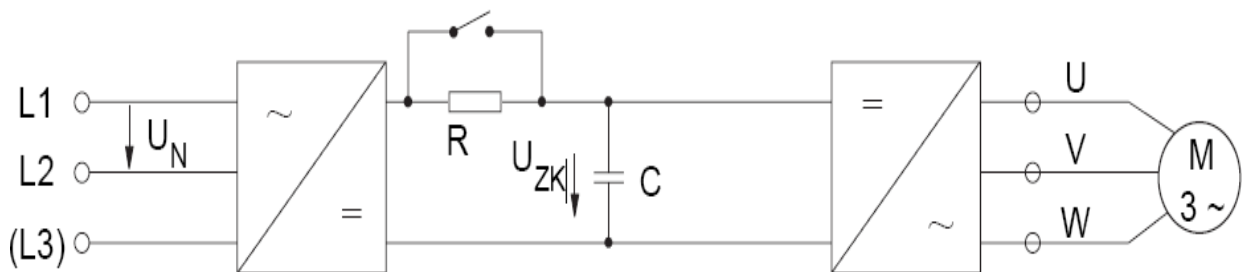


Рисунок 3.2 – Блок схема силової частини перетворювача частоти

Випрямляч складається з некерованої одно або трифазної мостової схеми. Однофазна версія використовується тільки для низьких потужностей. Випрямляч перетворить змінну напругу мережі в постійну напругу. Далі вона згладжується в проміжному контурі конденсатором, в ідеальному випадку напруга проміжного контуру становить:

$$U_{zk} = \sqrt{2}U_n \quad (3.4)$$

Під час зарядки конденсатора проміжного контуру протікає дуже великий короткочасний струм. Це може вивести з ладу вхідний запобіжник або, навіть, випрямляч. Струм зарядки повинен бути обмежений припустимою величиною. Це досягається включенням баластового резистора R послідовно з конденсатором, що активізується тільки при включенні перетворювача. Після зарядки конденсатора резистор вимикається, наприклад, контактним реле.

Більша ємність конденсатора потрібна для згладжування напруги проміжної ланки. Після вимикання інвертора з мережі, конденсатор зберігає високу напругу в плинні певного часу. Це відображається зарядним світлодіодом.

Основне призначення перетворювача частоти - це одержання змінного по частоті й амплітуді напруги живлення трифазним асинхронним двигуном. Тому на виході встановлюється інвертор.

3.5 Енергетичний баланс частотного електропривода

Вихідна напруга перетворювача частоти формується нарізанням, тобто циклічним включенням/вимиканням постійної напруги проміжної ланки. Таким чином, вихідна напруга складається із прямокутних блоків, пікове значення яких завжди дорівнює постійній напрузі проміжної ланки. Якщо вихідну напругу піддати аналізу Фур'є, то поряд з основними гармоніками із установленою частотою з'являється безліч гармонік. Ці гармоніки залежать від індуктивного навантаження й, у більшості випадків, значно ослаблені. Струм може бути визначений інтегруванням вихідної напруги:

$$U = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (3.5)$$

$$i = \frac{1}{L} \cdot \int U dt \quad (3.6)$$

Таким чином, вихідна напруга складається з парних сегментів при чисто індуктивному навантаженні. При омично-індуктивному навантаженні, наприклад, представленої асинхронним двигуном, вихідний струм складається із сегментів експонентних функцій. Більш висока несуча частота й індуктивне навантаження призводять до більш синусоїдальної форми.

Коли використовуються рухові дроселі, особливо із середньо частотними двигунами (маленька індуктивність), хвилі струму й час наростання для блоків напруги зменшуються. Спадання напруги викликане руховим дроселем повинне бути вистежено. Енергетичний баланс частотного привода має структуру, що зображена на рисунку 3.3.

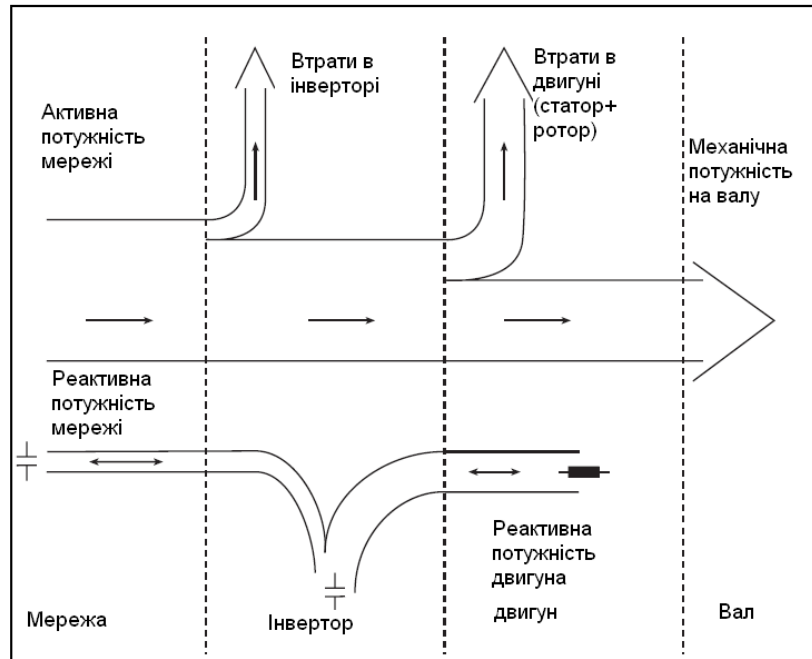


Рисунок 3.3 – Енергетичний баланс частотного привода

3.6 Вибір тиристорного перетворювача частоти

Вихідними даними для вибору ТПЧ є:

- номінальна напруга двигуна $U_{\text{ном дв}} = 6000 \text{ В}$;
- номінальний струм двигуна при $U_{\text{ном дв}} = 6000 \text{ В}$ $I_{\text{ном дв}} = 34,5 \text{ А}$;
- рекуперація енергії;
- невисокий пусковий момент.

Умови вибору ТПЧ:

- номінальна вихідна напруга перетворювача повинна бути більше або дорівнює номінальній напрузі двигуна:

$$U_{\text{ном дв}} < U_{\text{ном ТПЧ}} \quad (3.12)$$

- номінальний струм перетворювача повинен бути більше або дорівнює номінальному струму двигуна:

$$I_{\text{ном дв}} < I_{\text{ном ТПЧ}} \quad (3.13)$$

За цими критеріями обираємо високовольтний перетворювальний агрегат компанії ABB серії ACS з нижче наведеними характеристиками, таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри приводу ACS800-07-1030-3

Номінальні характеристики		Робота без перевантаження	Робота з невеликим перевантаженням		Робота у важкому режимі		Типорозмір корпусу
I_{contmax} , А	I_{max} , А	P_{contmax} , кВт	I_N , А	P_N , кВт	I_{Nd} , А	P_{Nd} , кВт	
40	70	250	60	300	50	320	IP 21

Відмітною особливістю приводу ACS є вбудовані заздалегідь запрограмовані прикладні макроси для конфігурації таких параметрів, як входи, виходи і обробка сигналів:

- заводські установки для простих вживань;
- ручне-автоматичне управління для місцевого і дистанційного управління;
- ПДД регулювання для процесів із замкнутим контуром регулювання технологічного процесу;
- послідовне регулювання для циклів роботи, що повторюються;
- управління моментом для процесів, в яких потрібне управління моментом двигуна, що крутить
- макроси користувача 1 і 2 для створення макросів самим користувачем.

Особливості програмного забезпечення: повний комплект стандартного програмного забезпечення надає широкі функціональні можливості і підвищену гнучкість управління.

- точне регулювання швидкості;
- точне регулювання моменту, що крутить, без зворотного зв'язку за швидкістю;

- адаптивне програмування;
- автоматичне скидання;
- автоматичний пуск;
- фіксовані швидкості;
- управління моментом на нульовій швидкості;
- утримання постійним струмом;
- намагнічення постійним струмом;
- діагностика;
- гальмування магнітним потоком;
- оптимізація магнітного потоку;
- IR_компенсація;
- управління в режимі “ведучий/ведений”;
- управління зовнішнім механічним гальмом;
- ідентифікація двигуна;
- блокування доступу до параметрів;
- Під-регулювання технологічного процесу;
- програмовані входи/виходи;
- скалярне управління;
- налаштування контуру швидкості;
- програма Запуску (Start_up Assistant);
- функція корекції;
- прискорення і уповільнення, вибрані користувачем

Заздалегідь запрограмовані функції захисту і широкий діапазон можливостей забезпечує захист приводу, двигуна і процесу:

- температура навколишнього середовища;

- перевищення напруги на шині постійного струму;
- знижена напруга на шині постійного струму;
- температура приводу;
- відсутність фази напруги живлення;
- перевантаження по струму;
- межі потужності;
- коротке замикання;

Функції захисту, що програмуються користувачем:

- регульовані межі потужності;
- контроль сигналів управління;
- пропуск критичних частот;
- граничні значення струму і моменту, що крутить;
- захист від замикань на землю;
- зовнішня відмова;
- обрив фази двигуна;
- захист від заклинювання двигуна;
- тепловий захист двигуна;
- захист двигуна від недовантаження;
- втрата зв'язку з панеллю управління.

Загальний вид перетворювача наведено на рисунку 3.4



Рисунок 3.4 – Загальний вид перетворювача ACS

3.8 Розрахунок характеристик асинхронного двигуна

3.8.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

типу АЗД 13-52-12 УХЛ4

Вхідними даними для розрахунку є паспортні дані двигуна.

тип АЗД 13-52-12 УХЛ4

$$P_{\text{ном}} = 250 \text{ кВт};$$

$$\eta_{\text{ном}} = 0,923;$$

$$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,76;$$

$$S_{\text{ном}} = 0,02;$$

$$S_{\text{кр}} = 0,0703;$$

$$m_{\text{пуск}} = 1,6;$$

$$m_{\text{кр}} = 1,9;$$

$$i_{\text{пуск}} = 6,0$$

$$2p = 12;$$

$$n_0 = 500 \text{ об/хв.}$$

Кутові швидкості двигуна:

- синхронна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{2\pi \cdot 500}{60} = 52,333 \text{ с}^{-1} \quad (3.14)$$

- номінальна:

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_{\text{ном}}) = 52,333 \cdot (1 - 0,02) = 51,867 \text{ с}^{-1} \quad (3.15)$$

- критична:

$$\omega_{\text{кр}} = \omega_0 (1 - S_{\text{кр}}) = 52,333 \cdot (1 - 0,0703) = 48,654 \text{ с}^{-1} \quad (3.16)$$

Моменти двигуна:

- номінальний:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{250000}{51,867} = 4820 \text{ Нм} \quad (3.17)$$

- пусковий:

$$M_{\text{п}} = m_{\text{п}} \cdot M_n = 1,6 \cdot 4820 = 7712 \text{ Нм} \quad (3.18)$$

- мінімальний:

$$M_{\text{м}} = m_{\text{м}} \cdot M_n = 1,3 \cdot 4820 = 6266 \text{ Нм} \quad (3.19)$$

- критичний:

$$M_{\text{кр}} = m_{\text{кр}} \cdot M_n = 1,9 \cdot 4820 = 9158 \text{ Нм} \quad (3.20)$$

Номінальний струм статора:

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi} = \frac{250000}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0,923 \cdot 0,76} = 34,3 \text{ А} \quad (3.21)$$

Приведений активний опір фази ротора при ковзанні $S=1$:

$$R_2' = \frac{(P_{2H} + \Delta P_{\text{мех}_H}) m_{\text{пуск}}}{3(1 - S_{\text{ном}}) \cdot I_{\text{пуск}}^2 \cdot I_{1\text{ном}}^2} \quad (3.22)$$

де $\Delta P_{\text{мех}_H}$ - механічні втрати номінальні:

$$\Delta P_{\text{мех}_H} = k_{\text{мех}} \cdot P_{2H} = 0,01 \cdot 250 = 2,5 \text{ кВт} \quad (3.23)$$

$$R_{21}' = \frac{(250 + 2,5) \cdot 10^3 \cdot 1,6}{3(1 - 0,02) \cdot 6^2 \cdot 34,3^2} = 3,2445, \text{ Ом} \quad (3.24)$$

Наведений активний опір фази ротора при ковзанні $S=0$:

$$R_{20}' = \frac{U_H^2 (1 - S_{\text{ном}})}{2 \cdot C_1 (P_{2H} + \Delta P_{\text{мех}_H}) \cdot m_{\text{кр}} \cdot [1 + \frac{C_1}{S_H (m_{\text{кр}} + \sqrt{m_{\text{кр}}^2 - 1})}]}, \text{ Ом} \quad (3.25)$$

де C_1 – конструктивний коефіцієнт двигуна $C_1=1,03$

$$R_{20}' = \frac{6000^2 (1 - 0,02)}{2 \cdot 1,03 (250 + 2,5) \cdot 10^3 \cdot 1,9 \cdot [1 + \frac{1,03}{0,02(1,9 + \sqrt{1,9^2 - 1})}]} = 2,2808, \text{ Ом}$$

Наведений струм ротора при $m_{\text{кр}} > 1,6$:

$$I_{2H}' = I_{1H} \cdot \cos \varphi_H = 34,3 \cdot 0,76 = 26,068 \text{ А} \quad (3.26)$$

Активний опір статора:

$$R_1 = \frac{U_{\text{нф}} \cdot \cos \varphi_H \cdot (1 - \eta_H)}{I_H} - C_1^2 \cdot R_{21}' - \frac{\Delta P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_H^2} = 2,234, \text{ Ом} \quad (3.27)$$

Індуктивний опір:

$$x_k = \sqrt{\left(\frac{R_{21}'}{S_{\text{кр}}}\right)^2 - R_1^2} = \sqrt{\left(\frac{3,2445}{0,0703}\right)^2 - 2,234^2} = 46,1 \text{ Ом} \quad (3.28)$$

Індуктивні опори статора й приведений ротора:

$$x_{1н} \approx x'_{2} \approx \frac{x_k}{2} = \frac{46,1}{2} = 23,04 \text{ Ом} \quad (3.29)$$

Індуктивність двигуна:

$$L_k = \frac{x_k}{2\pi f} = \frac{46,1}{2\pi \cdot 50} = 147 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.30)$$

Струм намагнічування:

$$I_{\mu} = I_{1н} \cdot \left(\sin \varphi_n - \frac{\cos \varphi_n \cdot x_k}{R_1 + R'_{20} / S_n} \right) = 11,957 \text{ А} \quad (3.31)$$

Індуктивний опір намагнічування:

$$x_{\mu} = \frac{U_{1ф} S_n}{I_{\mu}} = \frac{3464 \cdot 0,02}{11,957} = 5,794 \text{ Ом} \quad (3.32)$$

3.8.2 Природні характеристики асинхронного двигуна

Розрахунок природних електромеханічних та енергетичних характеристик асинхронного двигуна типу АЗД 13-52-12 УХЛ4 виконано за допомогою додатку IM Characteristics Calculator у середовищі MATLAB, розробленого на кафедрі електромеханіки. Цей додаток дозволяє за паспортними даними асинхронного двигуна розраховувати природні характеристики асинхронного двигуна, штучні характеристики асинхронного двигуна при обраному законі частотного керування та динамічні режими запуску асинхронного двигуна.

Головне вікно цього додатку зображено на рис. 3.5.

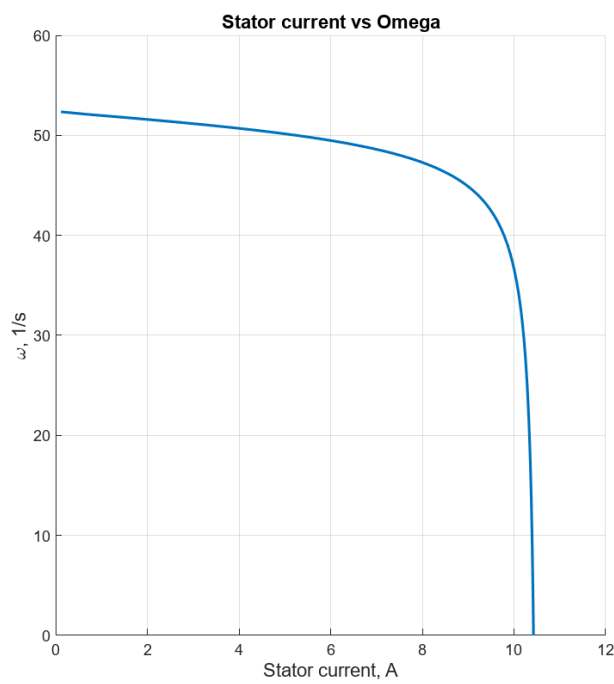
The screenshot shows a software application window titled "Induction Motor App". It features a tabbed interface with the following tabs: "Input Data", "Results", "Characteristics", "Control Curves", "Simulation", and "Report". The "Input Data" tab is currently selected. Below the tabs, there are several input fields for motor parameters, each with a label and a text box containing a value. At the bottom of the input section is a "Calculate Parameters" button.

Parameter	Value
User Name:	Ашмарін В.А. ЕЕМ-21-2
Motor Type:	АЗД 13-52-12 УХЛ4
Power, kW:	250
Line Voltage, V:	6000
Speed, rpm:	490
Efficiency, %:	92.3
Power factor:	0.76
Starting current, ...	6
Overload ability, ...	1.9

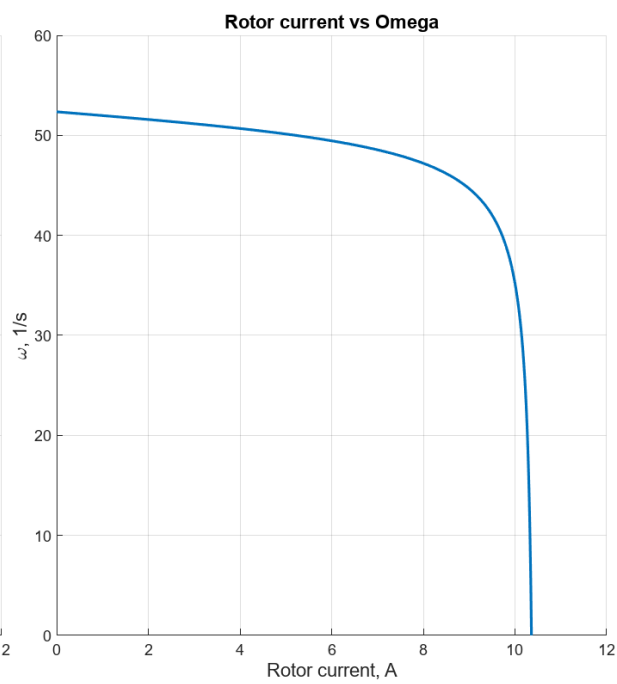
Calculate Parameters

Рисунок 3.5 - Головне вікно додатку IM Characteristics Calculator

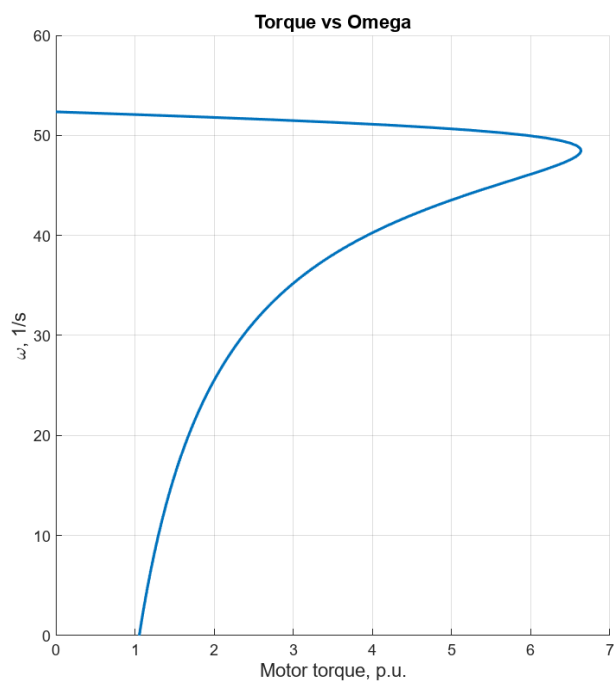
Розраховані природні характеристики електроприводу дробарки наведено на рис. 3.6.



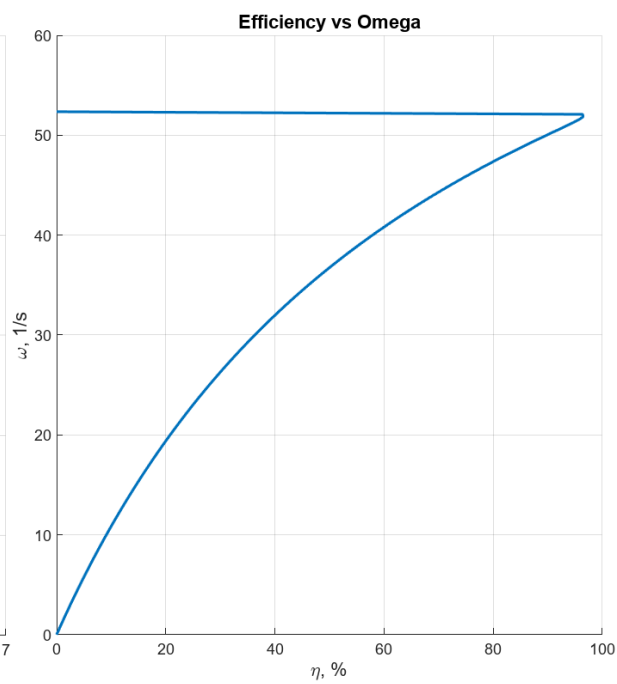
a)



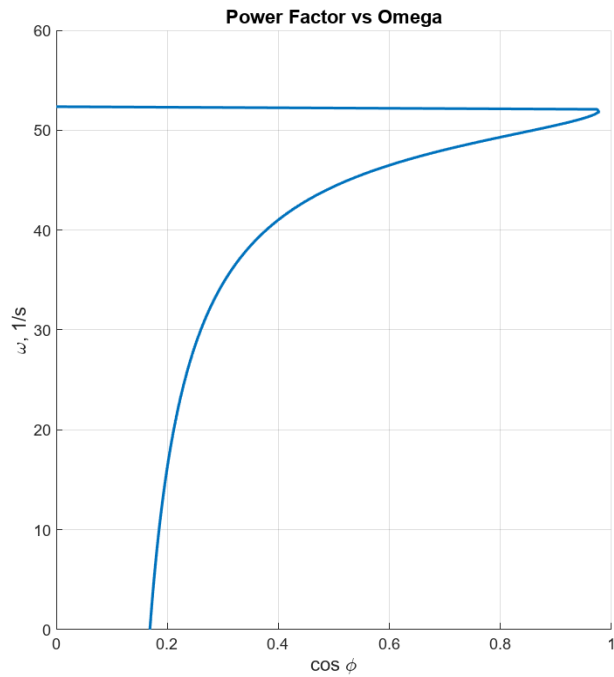
б)



в)



г)



д)

Рисунок 3.6 – Природні електромеханічні та енергетичні характеристики двигуна АЗД 13-52-12 УХЛ4: а – швидкісна характеристика за струмом статора; б – швидкісна характеристика за струмом ротора; в – механічна характеристика; г – залежність коефіцієнту корисної дії від швидкості; д – залежність коефіцієнту потужності від швидкості

3.8.3 Штучні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні

Для електроприводу дробарки обираємо закон частотного керування $U/f = \text{const.}$

Розраховані штучні характеристики електроприводу дробарки наведено на рис. 3.7.

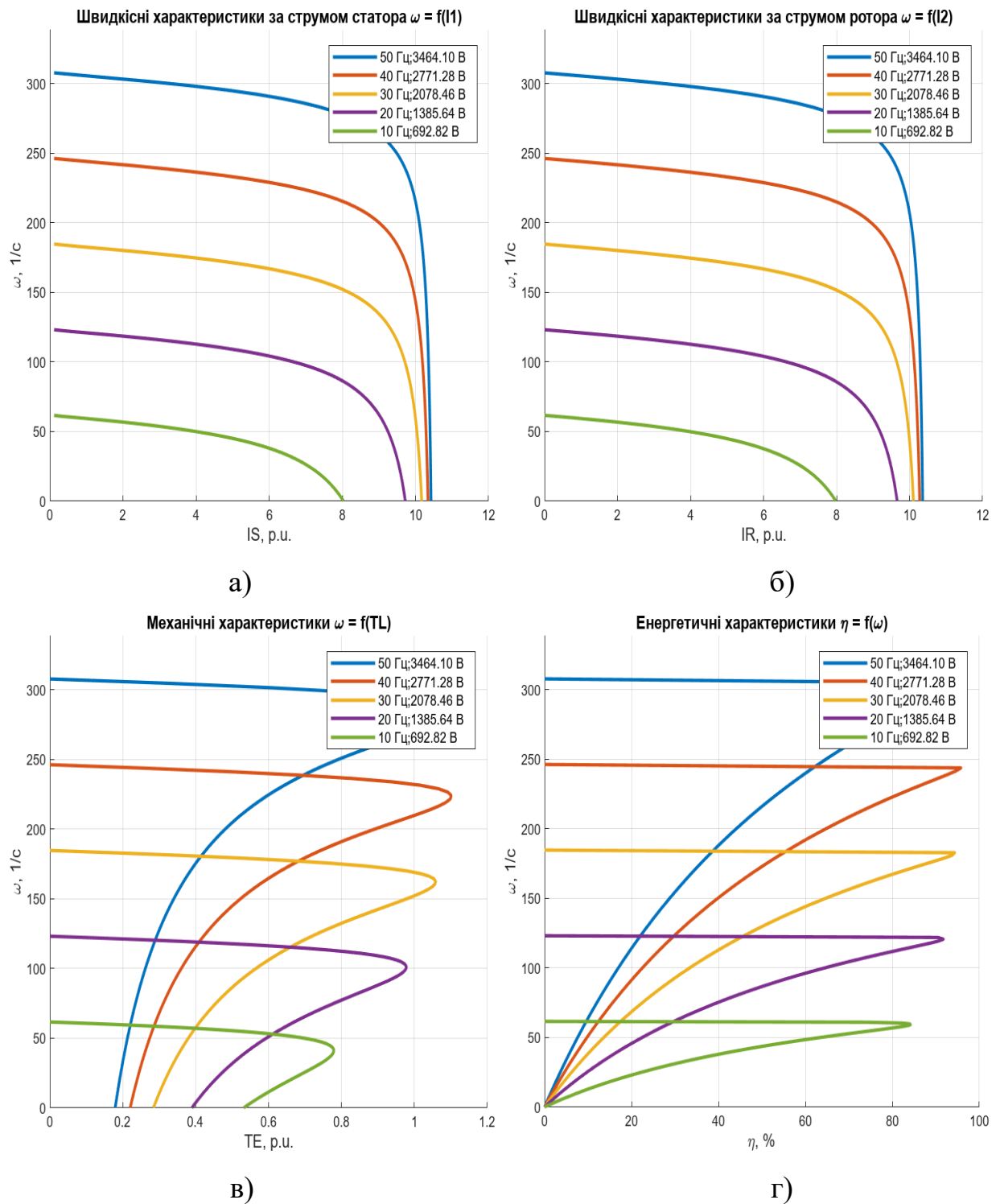
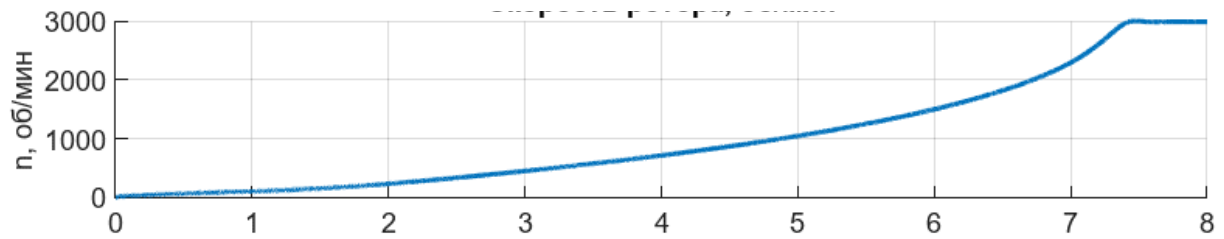


Рисунок 3.7 – Штучні електромеханічні та енергетичні характеристики двигуна АЗД 13-52-12 УХЛ4 при частотному регулюванні: а – швидкісні характеристики за струмом статора; б – швидкісні характеристики за струмом ротора; в – механічні характеристики; г – залежність коефіцієнту корисної дії від швидкості

3.8.3 Динамічні характеристики приводного двигуна

На рис. 3.8 наведено діаграми запуску електроприводу дробарки. Сумарний приведений момент інерції електроприводу складає 20 кГм^2 . Для вирішення рівнянь математичної моделі АД використано метод Дорманда-Прінса ode45 з автоматичним вибором кроку інтегрування.

Частота обертання ротора:



Рушійний момент:

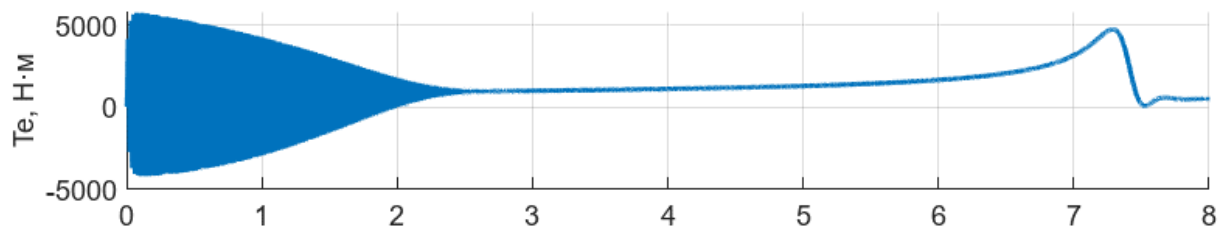


Рисунок 3.8 - Діаграми прямого запуску електродвигуна АЗД 13-52-12 УХЛ4