

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДІЛЬНИЦІ ПОДРІБЛЕННЯ
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»»

Виконав: здобувач вищої освіти групи ЕЕМ-21-1 Манченко Данило

Керівник випускної роботи к.т.н., доц. Ільченко О.В.

Нормоконтролер к.т.н., доц.

Декан ЕТФ к.т.н., доц. Федотов В.О.

Гарант освітньої програми к.т.н., доц. Пересунько І.І.

Кривий Ріг -2025

ЗАЯВА

щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи

Я, Манченко Данило, здобувач вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка заявляю, що моя кваліфікаційна робота, яка подана до екзаменаційної комісії для публічного захисту, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше кваліфікаційних робіт, кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим Положенням про академічну доброчесність у Криворізькому національному університеті. Згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

___ червня 202__ р.

_____ (підпис)

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Манченко Данило

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДІЛЬНИЦІ ПОДРІБЛЕННЯ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»»
2. Строк подання студентом роботи червня 2022 р.
3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *поліпшення роботи дробарки крупного подрібнення ККД-1500/180 ГРЩ*
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)_____
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ільченко О.В.		
II	Ільченко О.В.		
III	Ільченко О.В.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1		Дата видачі завдання
2		31 лютого 202_р.
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		Дата закінчення роботи (перевірка на антиплагіат)

Дата видачі завдання _____ 2025р.

Здобувач вищої освіти _____ Манченко Данило

(підпис) (Ім'я Прізвище)

Керівник роботи _____ Ільченко Олександр

(підпис) (Ім'я Прізвище)

РЕФЕРАТ

___ стор., ___ рис., ___ табл., ___ формула, ___ джерел літератури.

Метою випускної роботи є удосконалення роботи електропривода дробарки крупного подрібнення ККД-1500/180 ГРЩ. В випускній роботі показані основні технологічні кола підприємства, розібрана технологічна послідовність дроблення на дільниці подрібнення. Зроблені розрахунки основних технічних параметрів дробарки, а також обладнання встановленого на дільниці. В роботі приведені і розібрані питання:

- способи подрібнення;
- принцип дії конусної дробарки;
- виконаний розрахунок основних параметрів дробарки;
- розрахована та підтверджена доцільність обраного електроприводу дробарки.
- вибрано основне силове обладнання електропостачання підрозділу підприємства;
- вибрано високовольтне та низьковольтне обладнання.

На підставі приведених в роботі розрахунках показана доцільність удосконалення системи електроприводу, для цього використовуємо схему ПЧ-АД. В записці є опис, вибір необхідного обладнання. На підставі розрахунків побудовані механічні, швидкісні характеристики привода. Зроблено розрахунок і побудова енергетичних характеристик привода.

ДІЛЬНИЦЯ ПОДРІБНЕННЯ, ДРОБАРКА КРУПНОГО ПОДРІБНЕННЯ,
АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СТАТИЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.XXX-YY Р.		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розробив	Манченко Д.				Реферат	Лім.	Лист
Перевірів	Льченко О.В.						
Реценз.						ЕЕМ-21-1	
Н. Контр.							
Затвердив							

ВСТУП

В складних умовах сьогодення металургійне виробництво залишається важливим напрямком промисловості країни. 40 % загальних капітальних витрат на підприємстві витрачається на операції подрібнення. Для того, щоб ця галузь важкої промисловості працювала з більшим економічним ефектом, була найбільш енергоефективна треба удосконалювати процеси виробництва, розробляти міри по своєчасному ремонту та заміні обладнання, також використовувати сучасні більш економічні засоби виробництва.

Ті вади, які існують в системах електроприводу вимагають певних рішень. Ці рішення принесли б економію при виробництві продукції. Зниження вартості кінцевої продукції. З точки зору енергоефективності сучасні системи керування електроприводом дробарок з великою потужністю є не актуальними. Тому вони є не ефективними технічному розумінні.

Щоб удосконалити процес подрібнення в дипломній роботі запропоновано використання регульованих електроприводів на базі використання частотного перетворювача, інвертора. З досвіду роботи системи трифазний електричний двигун змінного струму, інвертор, який служить для того, щоб забезпечити плавний пуск двигуна, зупинку, зміну швидкості, зупинку двигуна. Для удосконалення динаміки роботи двигуна, підвищення роботи, довговічності необхідного за технологією обладнання і пропонується використовувати вище розглянуте регулювання.

Для того, щоб підтримувати на потрібному рівні параметри системи: температуру, тиск зробили систему зі зворотнім зв'язком, з інвертором, який буде автоматично змінювати обертання електричного двигуна. Якщо керування електричним двигуном буде оптимальне, тоді споживання електричної енергії дробарками подрібнення знизиться. Пускові струми, також будуть обмежені, тому ще це також дуже важлива проблема для пускової апаратури. Це дасть суттєву економію не тільки на споживанні електричної енергії, а і на ремонтних роботах.

При використанні регульованих електроприводів на основі частотних перетворювачів збільшуємо строк служби електричних двигунів, економимо електричну енергію. Обладнання дільниці подрібнення стає більш економічним.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.XXX-YY 3.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Зміст	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Манченко Д.							
Перевірів	Льченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.								
Затвердив								

Зміст

стор.

Вступ

Розділ 1. Характеристика електромеханічної системи та вибір електрообладнання

1.2 Вибір дробарки

1.3 Розрахунок дробарки ККД-1500/180 ГРЩ

Розділ 2. Аналіз системи електропривода технологічного механізму

2.1 Обґрунтування і вибір системи керування електроприводом

2.2 Розрахунок статичних характеристик

2.3 Розрахунок динамічних характеристик

Розділ 3. Електропостачання

3.1. Електропостачання

3.2. Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії в цеху та вибір трансформатора

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1 кВ

3.4 Вибір апаратури в мережі більш 1000 В

3.5 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В

3.6 Вибір апаратури і струмоведучих частин у мережі до 1000 В

Додатки

Список використаних джерел

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ’ЄКТУ ТА
ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.XXX-YY P1.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ’ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	Лім.	Лист	Листів
Розробив		Манченко Д						
Перевірів		Льченко О.В.						
Реценз.						ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.								
Затвердив								

1.1 Процес дроблення матеріалу на дробильній фабриці

Дільниця дробильно-сортувальна фабрика оснащена дробаркою ККД 1500/180 ГРЩ, крупного подрібнення.

Пункт для подрібнення та перевантажування обладнаний:

- стаціонарними дробарками крупного подрібнення ККД-1500/180 ГРЩ,
- пластинчастими живильниками;
- ємнісними бункерами;
- стрічковими конвеєрами (важкого типу).

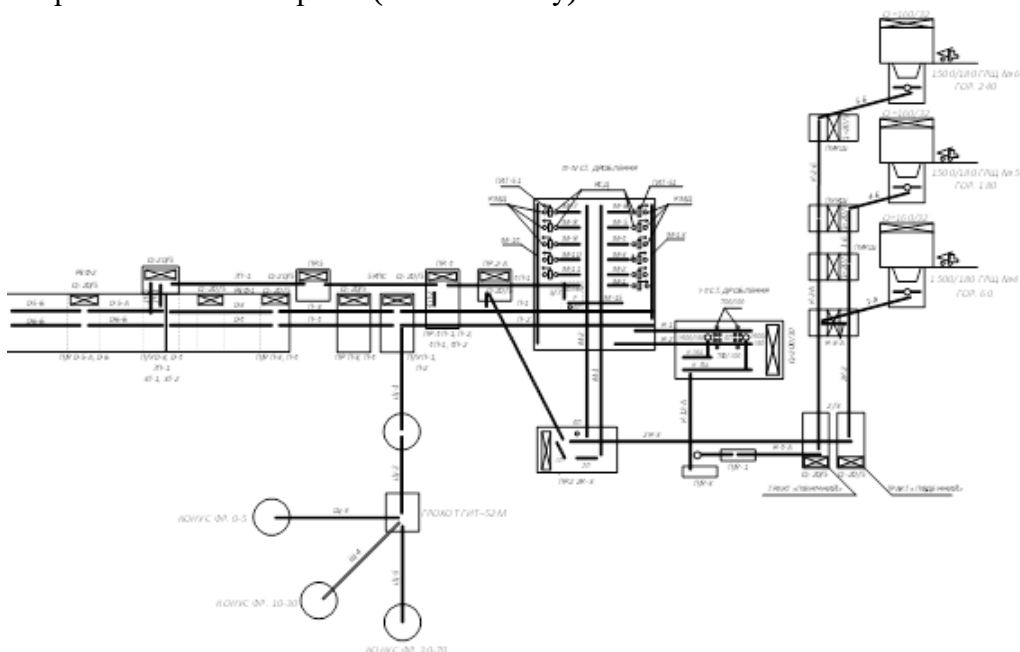


Рисунок 1.1. – Обладнання та оснащення дробарної фабрики

Технологія основного процесу

Транспортування руди на фабрику здійснюється двома шляхами по трьох основних технологічних схема, яка має ряд технологічних ділянок:

Перша дільниця: це перша стадія подрібнення, яка включає циклічно-потокową технологію.

Друга дільниця: подрібнення третьої та четвертої стадії

Третя дільниця: переміщення породи на рудозбагачувальні фабрики (1, 2).

Четверта дільниця: шихтовка матеріалів.

Існує чотири стадії подрібнення:

В першій стадії приймає участь дробарка ККД-1500/180 ГРЩ, куди розвантажується матеріал для подрібнення щільністю від 1200 мм, де йде подрібнення від 400 мм при щілині 180 мм.

Технічна характеристика дробарки наведена в таблиці 1.1 (додаток 1)

Потім матеріал поступає на пластинчасті живильники, у яких різна швидкість, яка залежить від кількості матеріалу. Матеріал з живильників розвантажується на конвеєр. За допомогою конвеєрів показаних на рисунку 1.1 переміщається на 2 стадію подрібнення.

Технічна характеристика конвеєрів першої дільниці наведена в таблиці 1.2. (додаток 2)

Технічна характеристика конвеєрів другої ділянки наведена в таблиці 1.3. (додаток 3)

Технічна характеристика конвеєрів третьої ділянки наведена в таблиці 1.4. (додаток 4)

Друга стадія подрібнення:

Матеріал крупністю від 400 мм з конвеєрів за технологічною схемою поступає на дробарки КРД-700/100. Матеріал подрібнюється від 70 до 80 мм. Після подрібнення, барабаними живильниками подається на конвеєра. Потім матеріал перевантажують на інші конвеєра. Далі розвантаження виконують за допомогою барабаних візків (призначених для розвантажування). Потім подрібнювальний матеріал іде на третьою та четверту стадії подрібнення.

На третій і четвертій стадії подрібнення матеріал подрібнюється на дробарках середньої та малої щільності. Щілина до 28 мм. Крупність від 100 мм.

Способи подрібнення, класифікація машин для подрібнення

Під способом подрібнення мається на увазі вид дії рушійної сили на шматки подрібненого матеріалу. Відомо чотири основні способи подрібнення:

- роздавлювання (а),
- розколювання (б),
- стирання (в)
- удар (г) (

Як показано на рисунку 1.2.

Необхідні для руйнування шматків матеріалу зусилля розвиваються в дробарних машинах, конструкції яких забезпечують здійснення певного способу подрібнення. У умовах безперервного процесу, унаслідок неупорядкованості розміщення шматків в робочому просторі дробарки, спостерігаються всі способи дроблення, але використовують той спосіб, для якого сконструйована машина.

Спосіб подрібнення вибирається залежно від фізико-механічних властивостей подрібненого матеріалу і розмірів його шматків. Розрізняють:

- гірські породи міцні, або тверді;
- менш тверді, або м'які;
- в'язкі;
- крихкі.

Здатність матеріалу протистояти руйнуванню, залежить також від наявності шпарин в шматках, і способу дії на них руйнівного зусилля. Шпарини зменшують опір шматків руйнуванню. Найбільший опір чинять гірські породи роздавлюванню, менше, – вигину і найменше – розтягуванню.

З міркувань конструктивного характеру, а також внаслідок небажаності подрібнення в сучасній практиці застосовуються дробарки, що працюють головним чином роздавлюванням і ударом при додаткових діях на дроблений матеріал.

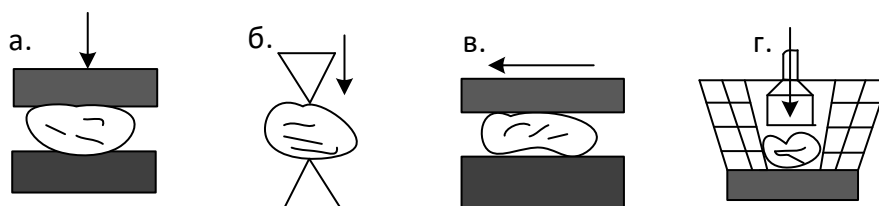


Рисунок 1.2 –Способи подрібнення

У способах дроблення виділяють стадії:

- крупного, середнього;
- дрібного дроблення.

Номінальний діаметрам шматків початкового матеріалу (орієнтування):

1. Велике 1200-460, мм;
2. Середнє 500-150 мм,
3. Дрібне 180-40 мм.

Крупне, середнє і дрібне подрібнення твердих, крихких порід доцільно проводити засобом розчаленням. Засобом розчаленням та розтирання тверді та в'язкі матеріали. Крупне дроблення м'яких і крихких порід доцільно виконувати розколюванням. Середнє і дрібне – ударом. Всі корисні копалини подрібнюють ударом за участю стирання.

Крупне, середнє і дрібне подрібнення зазвичай сухе. Мокре подрібнення застосовують лише в тих випадках, якщо дроблений матеріал містить глину, яку і прагнуть відмити одночасно з дробленням. Промивання, проводиться при дробленні глинистих залізних і марганцевих руд. Вода для промивання подається в робочий простір дробарок. Води призначається для зволоження подрібненого матеріалу для зменшення пилоутворення.

Корисні копалини подрібнюються з водою. Мокре подрібнення більш продуктивне. Воно здійснюється без пилоутворення, дозволяє легко транспортувати подрібнені матеріали. Сухе подрібнення застосовується лише в випадках, коли не можна допускати контакту матеріалу, що дробиться з водою або якщо подрібнений продукт також обробляється насухо.

Машини для дроблення, вживані на фабриках, по механіко-конструктивним ознакам і основному методу дроблення, здійснюваному в них, діляться класи:

1. дробарки щічні;
2. конусні; валкові;
3. ударні (молоткові, роторні дробарки і дезінтегратори);

Конусні дробарки ККД і КРД використовують для крупного подрібнення.

Для середнього подрібнення - конусні дробарки КСД.

Для дрібного подрібнення – КИД, КМД.

Конусні дробарки. Принцип дії, класифікація і сфера застосування

Існують такі конусні дробарки:

- крупного подрібнення;
- середнього подрібнення;;
- дрібного подрібнення;.

Продукт 1 подрібнюється у кільцевому прошарку 2, який створений зовнішньою нерухомою конусною чашею, яка знаходиться зовні 1 (рисунок 1.2) (верхньою частиною), конус, який рухається, знаходиться на валу 3 і він служить для подрібнення породи 4.

Для крупного подрібнення в дробарці до верхньої траверси кріпиться вал 3. Ці дробарки носять назву з консольним валом.

Принцип роботи конусних дробарок (рисунок 1.2):

Конус 4, що дробить, прив'язаний до валу 3. Вал знаходиться в точці 0. Вал знизу входить в ексцентриковий стакан 5.

Концентрично по відношенню до станини кріпиться ексцентриковий стакан. Він робить вісь отвору, але не співпадає із віссю обертання стакану, в ньому розмішений кінець валу 3, що знизу.

Тому, вісь валу 3 має нахил відносно основної симетричної висі корпусу механізму. За допомогою передавального механізму і двигуна ексцентриковий стакан

					Розділ1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обертається. Коли ексцентрикового стакану 5 обертається за віссю валу 3, в точці 0 він рухається складаючи конусну поверхню. Конус що безпосередньо дробить матеріал, кріпиться на вал 3.

Подрібнювальний конус переходить із становища LANR у становище L1A1N1R1, за пів оберту ексцентриковий стакан 5 переходить із становища ОК в становище ОК1. Конус подрібнення за наступні пів оберти звертається в попереднє положення.

Конус подрібнення 4 наближається до чаші 1, після чого починається подрібнення матеріалу. Шматки матеріалу поступають між конусом і чашею. Після подрібнення, подрібнений продукт розвантажується униз під дробарку.

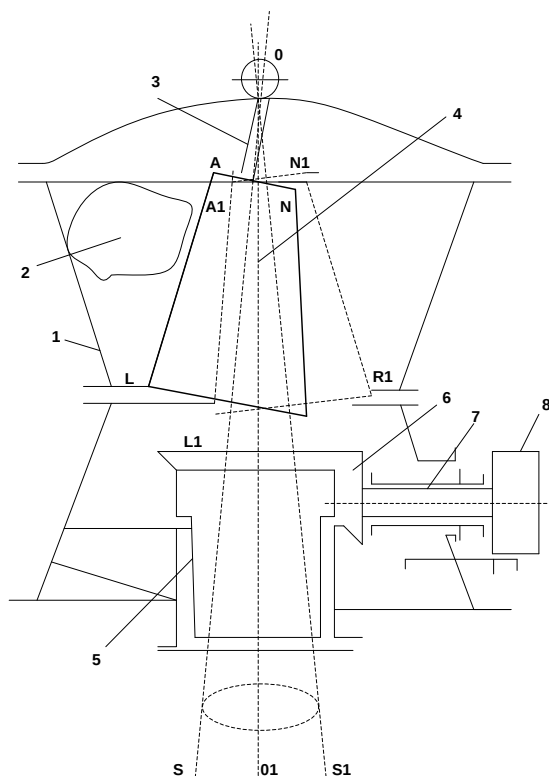


Рисунок 1.2 – Схема конусної дробарки крупного подрібнення.
(додадок7)

Подрібнення матеріалу у конусних дробарках є безперервний процес. Тому, що якщо процес є безперервний виникає можливість виробляти конусні дробарки за відсутності важких маховиків. А це дає можливість збільшити тривалість процесу подрібнення і продуктивність дробарок.

Конструкція конусних дробарок крупного дроблення

Станина дробарки роз'ємна. Частки станини сполучені між собою болтами. Дробарки з шириною приймального отвору 1500 мм є станина, що складена з трьох часток; дробарки меншого розміру – з двох часток 19 і 14. Отвори у фланцях з'єднувальних часток розташовані так, що верхня частка може бути при необхідності повернена щодо нижньої. Верхня частка 14 станинами є нерухому конічну чашу, де відбувається подрібнення. В дробарках висота конічної чаші, що знаходиться зовні дорівнює $B=1,85B$ ширина отвору, для прийому матеріалу. Кут нахилу конічної поверхні чаші з вертикаллю складає зазвичай 17–20°. Для довговічності внутрішня поверхня

конічної чаші обкладається спеціальними плитами 16. При дробленні внаслідок сил тертя можуть виникнути зусилля, прагнучі виштовхнути футерувальні плити вгору. Для сприйняття цих зусиль в тілі станини і на футерувальних плитах влаштовуються виступи і пази. Після установки футерувальних плит вся нещільність між ними і внутрішньою поверхнею чаші заливаються цинком. Рисунок 1.4 – Конусна дробарка ККД-1500/180 (додаток 5)

Замінюючи футерувальні плити нижнього ряду зовнішньої чаші плитами іншої товщини, можна змінювати ширину вихідної щілини. Заводи виготовляють конусні дробарки крупного дроблення з шириною вихідної щілини від 0,1 до 0,2В (ширина приймального отвору). Конус подрібнення 17 знаходиться на валу 15. Кут між конусом і вертикаллю складає 8,5–10°. Кут конуса рівний приблизно 20°. Футеровка є кільцями 9 з марганцевистої сталі, закріплені на конусі гайками 13. У нижній частці конуса футеровка лягає на оброблений бурт. Щільність прилягання футеровки до конуса забезпечується цинковою заливкою.

Вал 15 дробарок підвішений в спеціальному гнізді в центральній голівці траверси 10. Дволапа траверса відлила у згоді з опорним кільцем, яким встановлюється на фланець верхньої частки станини, футерується зверху плитами 11 і кріпиться болтами до фланця. У нижній частці станини розміщується привід дробарки. Приводний механізм захищений ущільненням 8 від попадання пилу і дрібного роздробленого матеріалу, а від зносу дією шматків роздробленого продукту, що розвантажується з дробарки – футеровкою 6.

Великі дробарки (діаметр 1200 і 1500 мм) мають два приводних вали. Вони приводяться в рух від двох двигунів, що дозволяє пускати їх в хід під завалом. Приводний механізм складається з пари конічних зубчастих шестерень 7 і 4 і приводних валів 5, сполучених муфтами з валами шківів 21. Приводні вали поміщені в обойми 20, які вставлені в спеціальні гнізда в станині і закріплені на ній болтами.

Початковий матеріал завантажується в робочий простір зверху. Роздроблений продукт розвантажується вниз, під дробарку, по всьому кільцевому простору між конусом, що дробить, і конічною зовнішньою чашею. При зносі або після установки нових футеровок потрібне регулювання ширини вихідної щілини. Для цього вал 15 разом з конусом, що дробить, підводиться (підвішується) мостовим краном. Нагвинчуючи або згвинчуючи гайку 12, встановлюють потрібну ширину вихідної щілини.

Описаний механічний спосіб регулювання ширини вихідної щілини. У дробарках типу ККД-ГРЩ передбачено гідравлічне регулювання. Конусні дробарки для крупного дроблення не мають маховика і працюють при невеликій частоті обертання ексцентрикового стакану і малому ексцентриситеті. Під час роботи ці дробарки не накопичують значного запасу кінетичної енергії і при випадковому попаданні в них недроблених предметів легко зупиняються. Тому такі дробарки не мають запобіжних пристроїв.

Дробарка встановлюється на фундаменті і закріплюється чотирма анкерними болтами із заставними плитами. У конструкції фундаменту під дробарку передбачений пристрій в нім спеціальних отворів для розвантаження руди і розміщення закладних плит анкерних болтів. Для мастила дробарок застосовують рідке і консистентне мастило. Рідке мастило – для часток приводного механізму, що труться і ексцентрикового стакану. Консистентне мастило – для вузла підвісу валу 15.

Конусні дробарки крупного дроблення характеризуються шириною приймального отвору – розмір В. Приклад умовного позначення дробарки: ККД-1500/180-2 ДСТУ 6937–81 – дробарка конусна для крупного дроблення двома двигунами на приводі з приймальним отвором шириною 1500 мм і вихідною щілиною 180 мм. Технічні параметри дробарки наведені в таблиці 1.5 (додаток 6)

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатація конусних дробарок крупного дроблення

Великі конусні дробарки крупного подрібнення ($B > 900$ мм) за умови відповідності вагону (самоскида), що подає руду, продуктивності дробарки можуть працювати під завалом, що дозволяє завантажувати в них дроблений матеріал безпосередньо з вагонів, що перекидаються. Дробарки меншого розміру під завалом працювати не можуть, тому для них необхідно будувати приймальні пристрої для початкового матеріалу. З приймального пристрою матеріал подається в дробарку пластинчастим живильником. Живильник сприяє також рівномірній подачі матеріалу на подальші апарати. Роздроблений матеріал розвантажується на стрічковий конвеєр, що передає його на наступну стадію дроблення. Якщо ж матеріал поступає на гуркіт з вагонів, що перекидаються, тобто завалом, то підгратний продукт з гуркоту і роздроблений продукт з дробарки не можна подавати безпосередньо на стрічковий конвеєр, оскільки у момент перекидання вагону конвеєр буде перенавантажуваний. В цьому випадку обидва продукти поступають в невеликі проміжні бункери, з яких вони живильниками подаються на конвеєр. Конусні дробарки для крупного дроблення встановлюються на фундаментах, не пов'язаних з будівлею.

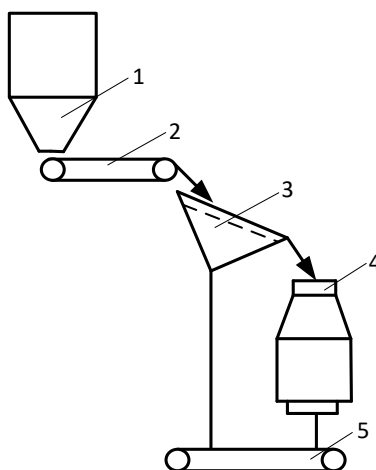


Рисунок 1.6 - Схема процесу дроблення 1- бункер; 2- живильник; 3-грохот; 4- дробарка; 5-конвеєр.

Дробарки цього типу подрібнюють матеріал зі ступенем 8. Звичайна ступінь дроблення при роботі дробарок 3-4.

Дробарки цього типу можуть давати ступінь дроблення до 8, але вони зазвичай працюють при ступенях дроблення від 3 до 4.

Для конусних дробарок крупного дроблення, що працюють при ступені дроблення 6, витрата енергії на дроблення коливається від 0,1 до 0,8 кВт/т роздробленого продукту.

Частки, що зношуються, підлягають періодичній заміні або відновленню, наступні: футеровка нерухомої зовнішньої чаші, конуса, що дробить, і траверси; контактні поверхні в місці підвісу валу конуса, що дробить, і поверхні ексцентрикового стакана; опорне кільце ексцентрикового стакана, втулки приводного валу і конічні шестерні.

Конусні дробарки крупного дроблення пускають в хід за відсутності дробленого матеріалу в камері дроблення. Перед пуском перевіряють об'єм масла в баку рідкого мастила і резервуарі консистентного мастила. Спочатку включають масляний насос і систему охолодження масла. Через 3 – 5 мін, коли переконуються в справності

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

системи рідкого мастила і коли мастило вчинить до часток, що труться, включають електродвигун дробарки. Матеріал для подрібнення подають в дробарку після того, як вона пропрацює на холостому ході 1 – 2 хв.

Під час роботи дробарки необхідно стежити за системою мастила і за розвантаженням роздробленого продукту. Спостереження за роботою системи рідкого мастила полягає в контролі тиску масла в маслопроводах і його температури. Тиск в маслопроводі підтримується 0,6 – 1,2 кПа, що забезпечує потрапляння масла до місць мастила в достатній кількості і без надлишку. В разі надлишку тиску частка масла з маслопроводу скидається назад в бак. Температура масла при роботі дробарки не повинна перевищувати 60 °С. Масло охолоджується у фільтрі водою, циркулюючою в системі охолодження масла. Перед запуском дробарки температура масла має бути не нижче 15–20 °С. Якщо в холодну пору року ця температура не витримується, то масло підігрівається електронагрівачем в баку.

При зупинці дробарки спочатку припиняють подачу матеріалу, що дробиться, опрацьовують матеріал, наявний в робочому просторі дробарки, зупиняють електродвигун дробарки і останнім зупиняють масляний насос. Для змазки конусних дробарок застосовують: рідке мастило – мастило індустріальне 45 і 30 або автотракторне при витраті в залежності від розміру дробарки і регенерації масла від 1 до 4 т/год; консистентне мастило ІП 1-3 при витраті від 60 до 300 кг/рік. Рідке мастило замінюється раз в 3–5 міс.

Періодичність між ремонтами конусних дробарок крупного дроблення у відпрацьованому устаткуванні годиннику наступна: технічний огляд – 540, поточний ремонт І – 3780, поточний ремонт ІІ – 7560, капітальний – 45360. Коефіцієнт технічного використання дробарок 0,8.

1.2 Розрахунок потужності електродвигуна дробарки та її продуктивності

Розрахунок частоти обертання ексцентрикового стакану

Додаткові вихідні дані для розрахунку:

- прискорення вільного падіння $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;
- кути між утворюючими поверхонь дробарного конуса і зовнішньою чаші з вертикаллю $\gamma_1 = 10^\circ$, $\gamma_2 = 19^\circ$.
- ширина приймальної щілини $B = 1500 \text{ мм}$

Частота обертання ексцентрикового стакану конусної дробарки:

$$n = 15 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot (\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \gamma_2)}{2s}} \quad (1.1)$$

n – частота обертання ексцентрикового стакану;

γ_1, γ_2 – кути між утворюючими поверхонь конуса і зовнішньою чаші;

s – хід конуса м; визначаємо:

$$s = 0,02 \cdot B + 0,01 \quad (1.2)$$

де B – ширина приймальної щілини, м;

Отже отримуємо формулу:

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = 15 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot (tg\gamma_1 + tg\gamma_2)}{2 \cdot (0,02B + 0,01)}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{9,8 \cdot (0,176 + 0,344)}{2 \cdot (0,02 \cdot 1,5 + 0,01)}} = 119,72 \text{ с}^{-1}. \quad (1.3)$$

Розрахунок продуктивності дробарки
Продуктивність дробарки:

$$Q = \frac{420,5 \cdot B^3 + 195,8B^2 - 7,2B}{\sqrt{2B + 1}} \cdot k \cdot \delta \quad (1.4)$$

де k – коефіцієнт розрихлена;
 $\delta = 2,5 \text{ т/м}^3$,
Отже:

$$Q = \frac{420,5 \cdot 1,5^3 + 195,8 \cdot 1,5B^2 - 7,2 \cdot 1,5}{\sqrt{2 \cdot 1,5 + 1}} \cdot 0,44 \cdot 2,5 = 1448 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахунок необхідної потужності та вибір приводного двигуна дробарки
Необхідна потужність двигуна розраховується за формулою:

$$N = \frac{W_0 \cdot Q}{1000 \cdot \eta} \quad (1.5)$$

де W_0 – індекс роботи, кВт·год/м³; визначається за формулою:

$$W = 0,75 \left(\frac{W_i \cdot 10}{\sqrt{B_n}} - \frac{W_i \cdot 10}{\sqrt{B_{ucx}}} \right) \quad (1.6)$$

де B_n – крупність продукту, відповідна сити, через яке проходить 80% матеріалу (приймається стосовно розміру вихідної щілини дробарки), мкм;

B_{ucx} – крупність початкового матеріалу, відповідна сити, через яке проходять 80% матеріалу (у розрахунках приймається $B_{ucx} = (0,5 \div 0,67)B$, мкм;

B – ширина приймального отвору дробарки.

Підставивши у формулу отримуємо:

$$N = \frac{0,75 \left(\frac{W_i \cdot 10}{\sqrt{B_n}} - \frac{W_i \cdot 10}{\sqrt{B_{ucx}}} \right) \cdot Q}{1000\eta} = \frac{0,25 \cdot 1450}{1000 \cdot 0,9} = 400, \text{ кВт} \quad (1.7)$$

де η – к.к.д. двигуна

Приймаємо двигун потужністю $N = 500 \text{ кВт}$

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі зроблених розрахунків вибираємо двигун зі наступними параметрами: Електродвигун асинхронний з фазним ротором закритого виконання АКЗ 13-62-10 УХЛ4

Основні технічні дані двигуна наведено в таблиці 1.6 (додаток 7)

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

**АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ**

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.XXX-YY P2.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Розділ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Манченко Д.							
Перевірів	Льченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.								
Затвердив								

2.1 Основні вимоги до вибору електроприводу дробарки ККД-1500/180

Важливою особливістю дробарок з погляду взаємодії електроприводу з мережею живлення є випадковий характер навантаження електроприводу, який приводить до зміни споживаної активної і реактивної потужності в широких межах.

Необхідність дистанційного керування роботою дробарок, вимагає певних правил за урахування певних режимів роботи.

Електропривод дробарки ККД-1500/180 повинен відповідати вимогам:

- 1) Забезпечити роботу при змінному навантаженні в режимі руху;
- 2) Після зупинки дробарки, треба забезпечити зі стану спокою зміну напрямку обертання;
- 3) Регулювання швидкості;
- 4) Обмеження динамічних навантажень, за допомогою регулювання електропривода;
- 5) Організувати місцеве та дистанційне керування дробаркою;
- 6) Організувати безпечну роботу дробарки;
- 7) Забезпечити експлуатаційну надійність.

2.2 Вибір схеми підключення двигунів дробарки ККД-1500/180 до мережі

Електропривод дробарки повинен відповідати умовам мінімізації заміни електричного обладнання дробарки ККД1500/800.

З урахуванням параметрів встановленого електричного двигуна із фазним ротором АКЗ-13-62-10УХЛ4 відповідної потужності 500кВт, ми будемо обирати перетворювач частоти. Також треба врахувати, що фазні обмотки знаходяться у режимі короткого замикання.

Розглянемо, наскільки задовольняють пред'явленим вимогам три види схем підключення двигунів дробильних агрегатів до мережі (рис.2.1, 2.2, 2.3, 2.4). (Додаток 8)

Перша схема (рисунок 3.1). Підключення двигуна з реостатним пуском

Проста схема підключення керування, велика надійність роботи. Але з іншого боку схема не гнучка, їй складно контролювати та підтримувати рівень навантаження на двигуні. Характеризується значними втратами при зниженні швидкості, в порівнянні з номінальним режимом роботи. Для підвищення коефіцієнту потужності необхідні додаткові витрати, тому що енергетичні показники двигуна погіршуються, у зв'язку з не повним використанням потужності асинхронного двигуна.

Друга схема (рисунок 2.2). При введеному додатковому ЕРС в коло ротора.

Додаткове ЕРС вводиться для регулювання швидкості АД. За допомогою включеного в коло ротора статичного перетворювача відбувається обмін додатковою потужністю між ротором АД та мережею живлення. Зміна кута регулювання випрямляча дає змогу регулювати швидкість.

Третя схема (рисунок 2.3)

Має велику гнучкість у використанні та керуванні потужністю двигуна. Має менші витрати. Але є певні складності блоку перетворювача частоти. Що є не припустимим для роботи дробарки, та її технологічних складових.

					Розділ2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Четверта схема (рисунок 2.4) з'єднання першої та другої схем. Розглянемо основні переваги:

- 1). резервування системи пуску;
- 2). регулювання швидкості двигуна;
- 3). максимальні енергетичні характеристики;
- 4) максимальні регулювальні характеристики.

Для вибору схеми підключення електроприводу треба враховувати:

- Вплив на ефективне використання дробарки;
- Формування технічних та економічних показників;
- Вплив енергетичних та економічних факторів.

За аналізом попереднього матеріалу для підключення електричного двигуна дробарки ККД-1500/180 беремо об'єднанні схеми реостатного пуску і перетворювача частоти.

2.3 Вибір перетворювача частоти

Частотне керування є найперспективнішим. Воно засноване на регулюванні чистоти напруги живлення, що підтверджує наступна формула:

$$\omega = \frac{2\pi f_1(1 - S)}{P} \quad (2.8)$$

Використання ПЧ дає можливість збільшення строку та ресурсу використання електромеханічного обладнання. Зробити обладнання з точки зору зменшення енергоспоживання найбільш енергоефективним. При оптимізації роботи обладнання всі ці умови виконуються.

Якщо ми регулюємо частоту, тому потрібно регулювати амплітуду напруги живлення, це впливає із формули:

$$U_1 \approx E_1 = k\Phi \cdot f_1 \quad (2.9)$$

При незмінній амплітуді напруги живлення будемо міняти її частоту, тоді магнітний потік буде мінятися оберненопропорційно частоті. І тому, якщо частота зменшиться відповідно до формули:

$$I_M = \frac{U_1}{X_M} = \frac{U_1}{2\pi \cdot f \cdot L_M} \quad (2.10)$$

зростає I_m і відповідно зростає магнітний потік Φ , це приводить до насичення сталі, тобто до збільшення втрат у сталі й по друге у зв'язку з ростом струму I_m , індуктивність контуру намагнічування L_m зменшується, що приводить до ще більшого зменшення індуктивного опору намагнічування X_m , а отже до ще більшого збільшення струму I_m , тобто перегріву статора.

При збільшенні частоти $f > f_n$ значно зменшується магнітний потік Φ и при постійному номінальному навантаженні $M_c = M_n = k\Phi \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 = const$ приводить до збільшення струму ротора I_2 , тобто перегріву ротора й зменшенню припустимого моменту двигуна.

Для повного використання двигунів, тобто для одержання оптимальних режимів роботи необхідно зі зміною частотою змінювати й амплітуду живлячої напруги.

За законом частотного регулювання ми можемо досягнути найкращого використання електричних двигунів за рахунок регулювання напруги у функції часу та навантаження:

$$\frac{U}{f} = \text{const} \quad (2.11)$$

Частотне регулювання забезпечує:

- регулювання швидкості обертання двигуна;
- плавність і широкий діапазон.

При діапазонах регулювання 1:2 і високим вимогам до твердості механічних характеристик електропривода при будь-якому характері зміни його навантаження, а значить і високій стійкості роботи найбільш перспективною є система живлення на базі тиристорного перетворювача частоти (ТПЧ-АД).

До переваг системи ПЧ-АД варто так само віднести відсутність додаткових втрат при регулюванні швидкості обертання двигуна.

Даними для вибору перетворювача частоти є:

- номінальна напруга двигуна $U_1 = 6000 \text{ В}$;
- номінальний струм двигуна $I_1 = 62 \text{ А}$;
- реверсування швидкості обертання двигуна;
- високий пусковий момент.

Умови вибору перетворювача частоти:

- номінальна вихідна напруга перетворювача повинна задовольняти умовам $U_{\text{дв}} < U_{\text{пч}}$
- номінальний струм перетворювача повинна задовольняти умовам $I_{\text{дв}} < I_{\text{пч}}$

Враховуючі умови вибору умовами вибору перетворювача частоти, оберемо високовольтний багаторівневий ПЧВМ-ТТПТ-60-6000-50-УХЛ4 з паспортними даними представленими у таблиці 2.1. (додаток 9)

2.4 Опис конструкції й принципу дії ПЧВМ-ТТПТ-60-6000-50-УХЛ4

Для того щоб мати можливість регулювати частоту обертання обраного АД треба взяти перетворювач частоти серії ПЧВМ, які для цього призначені. Потужність АД до 630 кВт.

У перетворювачі частоти серії ПЧВМ використовуються широко розповсюджені, випускаємі серійно тиристори й діоди.

Високі обчислювальні можливості мікропроцесорної системи й оригінальні алгоритми керування забезпечують перетворювачам частоти серії ПЧВМ наступні якісні регульовальні характеристики:

1) Робочий діапазон (тривала робота) регулювання по швидкості 20:1 під час відсутності спеціальних тахометричних пристроїв на валу двигуна й 50:1 при наявності універсальних тахометричних пристроїв.

2) Діапазон частот на виході перетворювача частоти 0,5 - 50 Гц.

3) Керування струмом двигуна в області вихідних частот інвертора 5 Гц і нижче. Даний спосіб керування істотно знижує пульсації швидкості двигуна в області низьких частот.

					Розділ 2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Перемикаємо у функції частоти обертання оптимальні закони керування двигуном:

- режим сталості потоку ротора двигуна. Такий режим забезпечує високі динамічні характеристики привода;
- режим сталості абсолютного ковзання двигуна незалежно від величини моменту двигуна. Такий режим забезпечує мінімізацію втрат у двигуні;
- двозонне регулювання швидкості: режими $U/f = const$ і $U = const$ з можливістю збільшення частоти обертання двигуна до значення $1,4 \omega_n$, якщо двигун допускає таке збільшення швидкості;
- при короткочасному зникненні й відновленні напруги мережі автоматичне підхоплення роботи двигуна.

5) Мікропроцесорна система керування забезпечує також:

- автоматичне настроювання параметрів регуляторів з урахуванням реальних параметрів двигуна й привода;
- само діагностичні системи керування;
- запам'ятовування причин аварійного відключення й індикацію даної причини;
- архівування режимів і подій у процесі експлуатації;
- керуючий і інформаційний зв'язок із пристроями керування по стандартному послідовному інтерфейсу (RS 232, RS 485).

Перелік основних командних сигналів:

- робота;
- зупинка;
- завдання частоти обертання;
- аварійна зупинка з відключенням силового живлення.

Керування швидкістю двигуна виконується по одному з наступних варіантів формування сигналу зворотного зв'язка по швидкості:

- по частоті внутрішніх електромагнітних процесів у двигуні з параметричною компенсацією ковзання. Робочий діапазон зміни швидкості 20:1 униз від номінальної й за узгодженням до 1,4 нагору від номінальної. Статична точність регулювання швидкості 2%.
- по сигналу тахогенератора аналогового або імпульсного за узгодженням. Робочий діапазон зміни швидкості 50:1. Та за узгодженням до 1,4 від номіналу. Статична точність відтворення завдання швидкості 1 % для імпульсного тахогенератора.

Конструкція перетворювачів частоти серії ПЧВМ.

Перетворювачі частоти конструктивно виконані у вигляді шафи однобічного обслуговування. Згладжуючий та вхідний стумообмежуючий дросель устанавлюються усередині шафи. Ступінь захисту IP21 за ДСТ 14254-96. Основною конструктивною одиницею є блок із шістьма тиристорами (діодами) із захисними RC ланцюгами. Охолодження силової схеми здійснюється за допомогою блоку вентиляторів. Напрямок руху повітря - знизу нагору. Ошиновка, комутуючі дроселі й конденсатори силової схеми розташовані за транзисторними блоками в задній частині шафи. Доступ до блоку конденсаторів забезпечується при вийнятих блоках тиристорів і діодів. З'єднання конденсаторних блоків між собою й із силовою схемою здійснюється шинами й кабелями. Перетворювачі мають цифрову систему керування. Конструктивно система управління виконана у вигляді друкованих плат, розташованих в екранованому відсіку на передніх дверях шафи. Силове уведення виконане знизу шафи на відстані не менш 300 мм від рівня підлоги й розраховані на приєднання мідних кабелів або кабелів з мідно-алюмінієвим кінцем.

					Розділ 2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови експлуатації.

Перетворювач частоти призначений для експлуатації в районах з помірним і холодним кліматом (кліматичне виконання й категорія розміщення УХЛ4 за ДСТ 15150-69) при температурі від плюс 1°C до плюс 40°C, відносна вологість не більше 80% при температурі плюс 20°C.

Група умов експлуатації по корозійній активності атмосфери для металів і сплавів без покриттів, а також з металевими й неметалічними неорганічними покриттями за ДСТ 15150-69:

1 – для електроустаткування в кліматичному виконанні УХЛ4.

2 – для трансформаторів і реакторів.

Висота установки над рівнем моря – до 1000м.

Зміст не струмопровідного пилу в приміщеннях, у яких установлюється перетворювач частоти і в повітрі для охолодження не повинне бути більше 0,5 кг/м³ Для встановлення в приміщеннях з великою запиленістю передбачено встановлення змінних фільтрів на входні та вихідні охолоджуючі отвори.

Робоче положення шаф вертикальне, допускається відхилення від вертикального положення в будь-яку сторону на кут не більше 5°.

Відхилення напруги живильної мережі від номінального значення не повинне перевищувати плюс мінус 10%.

Відхилення частоти - не більше плюс мінус 2,5% від номінального значення.

Підключення системи управління ПЧ виконується від трифазної мережі на 380 В., промислової частоти 50 Гц із використанням трансформатора. Допустиме відхилення напруги від + 10% до -15%.

2.5 Обчислення статичних характеристик електроприводу дробарки

Для розрахунку статичних режимів електропривода по системі ПЧ-АД приймаються припущення:

- є канал незалежного регулювання напруги і частотами;
- схема ПЧ повинна забезпечувати доступний обмін реактивної потужності між перетворювачем частоти та асинхронним двигуном, та між асинхронним двигуном та мережею живлення;
- в різних режимах роботи асинхронного двигуна перетворювач частоти не повинен обмежувати струми і напруги;
- повинні бути лінійні характеристики ПЧ за частотою і напругою (вхід-вихід)

Для того, щоб проаналізувати статичні характеристики, потрібно розрахувати параметри АД. Для аналізу і розрахунку скористаємося паспортними даними двигуна АКЗ-13-62-10 УХЛ4 таблиця 1.6 (додаток 7)

Розрахунок параметрів АД:

Розраховуємо номінальний струм статора:

$$I_I = \frac{P}{3 \cdot \eta \cdot U_{I\phi} \cdot \cos\varphi} = \frac{500 \cdot 10^3}{3 \cdot 0.93 \cdot 3464.0 \cdot 0.84} = 61.59 \text{ А} \quad (2.12)$$

Приведений струм ротора, при $\lambda_{кр} = 2.3$ з похибкою $\pm 5\%$, дорівнює:

					Розділ 2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_2 = I_1 \cdot \cos\varphi = 61.59 \cdot 0.84 = 51.736 \text{ A} \quad (2.13)$$

Номінальна кутова частота обертання

$$\omega_H = \frac{n_H \cdot \pi}{30} = \frac{735 \cdot \pi}{30} = 76.969 \text{ рад/с} \quad (2.14)$$

Синхронна кутова частота обертання

$$\omega_0 = \frac{n_0 \cdot \pi}{30} = \frac{600 \cdot \pi}{30} = 62.832 \text{ рад/с} \quad (2.15)$$

Номінальне ковзання

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{600 - 590}{600} = 0.017 \quad (2.16)$$

Критичне ковзання

$$s_{кр} = s_H \cdot (\lambda_{кр} + \sqrt{\lambda_{кр}^2 - 1}) = 0.01667 \cdot (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0.062 \quad (2.17)$$

2.5.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення електродвигуна дробарки

Схема заміщення приводного асинхронного двигуна наведена на рисунку 3.5.

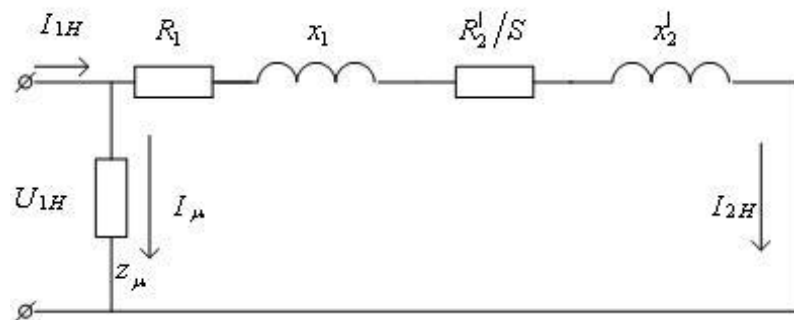


Рисунок 2.5 – Г-подібна схема заміщення фази АД

Приведений активний опір фази ротора:

$$R_2 = \frac{M_H \cdot \omega_0 \cdot s_H}{3 \cdot I_1^2} = \frac{8093.0 \cdot 62.83 \cdot 0.01667}{3 \cdot 61.59^2} = 0.7449 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

$$R'_2 = \frac{R_2}{\cos\varphi} = \frac{0.7449}{0.84} = 0.887 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Активний опір фази статора для двигунів даної потужності з номінальною

напругою 6000 В:

$$R_I = 3 \cdot R'_2 = 3 \cdot 0.8868 = 2.66 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

Струм намагнічування:

$$I_\mu = I_I \cdot \left(\sin\varphi - \cos\varphi \cdot \frac{S_H}{S_{кр}} \right) = 61.59 \cdot \left(0.5426 - 0.84 \cdot \frac{0.01667}{0.06221} \right) = 19.555 \text{ А} \quad (2.21)$$

Індуктивний опір намагнічування:

$$x_\mu = \frac{U_{I\phi}}{\sqrt{3} \cdot I_\mu} = \frac{3464.0}{\sqrt{3} \cdot 19.56} = 102.246 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

Індуктивний опір короткого замикання:

$$x_K = \sqrt{\left(\frac{R'_2}{S_{кр}} \right)^2 - R_I^2} = \sqrt{\left(\frac{0.8868}{0.06221} \right)^2 - 2.66^2} = 14.005 \text{ Ом} \quad (2.23)$$

Номінальний і критичний моменти:

$$M_H = \frac{P}{\omega_H} = \frac{500 \cdot 10^3}{61.78} = 8093.234 \text{ Н·м} \quad (2.24)$$

$$M_{кр} = \lambda_{кр} \cdot M_H = 2 \cdot 8093.0 = 16186 \text{ Н·м} \quad (2.25)$$

2.5.2 Розрахунок механічних та швидкісних характеристик

Механічні характеристики для частот від 20 Гц, до 60 Гц будуються по наступних формулах:

$$M_{20}(\omega_{20}) = \frac{3 \cdot (U \cdot \alpha_{20})^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{20}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{20}} - \omega_{20}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{20}} \cdot \left[\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{20}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{20}} - \omega_{20}} \right)^2 + (x_K \cdot \alpha_{20})^2 \right]} \quad (2.26)$$

					Розділ2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{30}(\omega_{30}) = \frac{3 \cdot (U \cdot \alpha_{30})^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{30}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{30}} - \omega_{30}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{30}} \cdot \left[\left(R_l + \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{30}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{30}} - \omega_{30}} \right)^2 + (x_k \cdot \alpha_{30})^2 \right]} \quad (2.27)$$

$$M_{40}(\omega_{40}) = \frac{3 \cdot (U \cdot \alpha_{40})^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{40}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{40}} - \omega_{40}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{40}} \cdot \left[\left(R_l + \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{40}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{40}} - \omega_{40}} \right)^2 + (x_k \cdot \alpha_{40})^2 \right]} \quad (2.28)$$

$$M_{50}(\omega_{50}) = \frac{3 \cdot (U \cdot \alpha_{50})^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{50}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{50}} - \omega_{50}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{50}} \cdot \left[\left(R_l + \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{50}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{50}} - \omega_{50}} \right)^2 + (x_k \cdot \alpha_{50})^2 \right]} \quad (2.29)$$

$$M_{60}(\omega_{60}) = \frac{3 \cdot (U \cdot \sqrt{\alpha_{60}})^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{60}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{60}} - \omega_{60}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{60}} \cdot \left[\left(R_l + \frac{R'_2 \cdot \omega_{0 \cdot \alpha_{60}}}{\omega_{0 \cdot \alpha_{60}} - \omega_{60}} \right)^2 + (x_k \cdot \alpha_{60})^2 \right]} \quad (2.30)$$

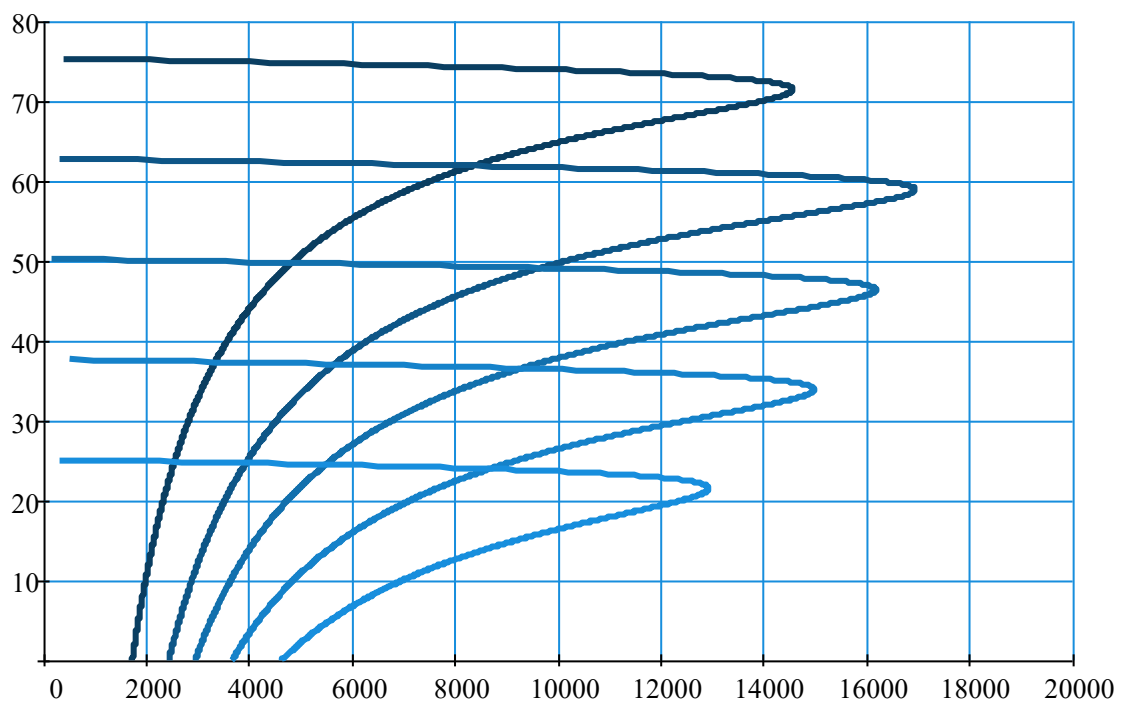


Рисунок 32.6 – Механічні характеристики привода

Швидкісні характеристики для частот від 20 Гц, до 60 Гц будуються по наступних формулах:

$$I_{20}(\omega_{20}) = \frac{U_{I\phi} \cdot \alpha_{20}}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{20}}{\omega_0 \cdot \alpha_{20} - \omega_{20}}\right)^2 + (x_K \cdot \alpha_{20})^2}} \quad (2.31)$$

$$I_{30}(\omega_{30}) = \frac{U_{I\phi} \cdot \alpha_{30}}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{30}}{\omega_0 \cdot \alpha_{30} - \omega_{30}}\right)^2 + (x_K \cdot \alpha_{30})^2}} \quad (2.32)$$

$$I_{40}(\omega_{40}) = \frac{U_{I\phi} \cdot \alpha_{40}}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{40}}{\omega_0 \cdot \alpha_{40} - \omega_{40}}\right)^2 + (x_K \cdot \alpha_{40})^2}} \quad (2.33)$$

$$I_{50}(\omega_{50}) = \frac{U \cdot \alpha_{50}}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{50}}{\omega_0 \cdot \alpha_{50} - \omega_{50}}\right)^2 + (x_K \cdot \alpha_{50})^2}} \quad (2.34)$$

$$I_{60}(\omega_{60}) = \frac{U_{I\phi} \cdot \sqrt{\alpha_{60}}}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{60}}{\omega_0 \cdot \alpha_{60} - \omega_{60}}\right)^2 + (x_K \cdot \alpha_{60})^2}} \quad (2.35)$$

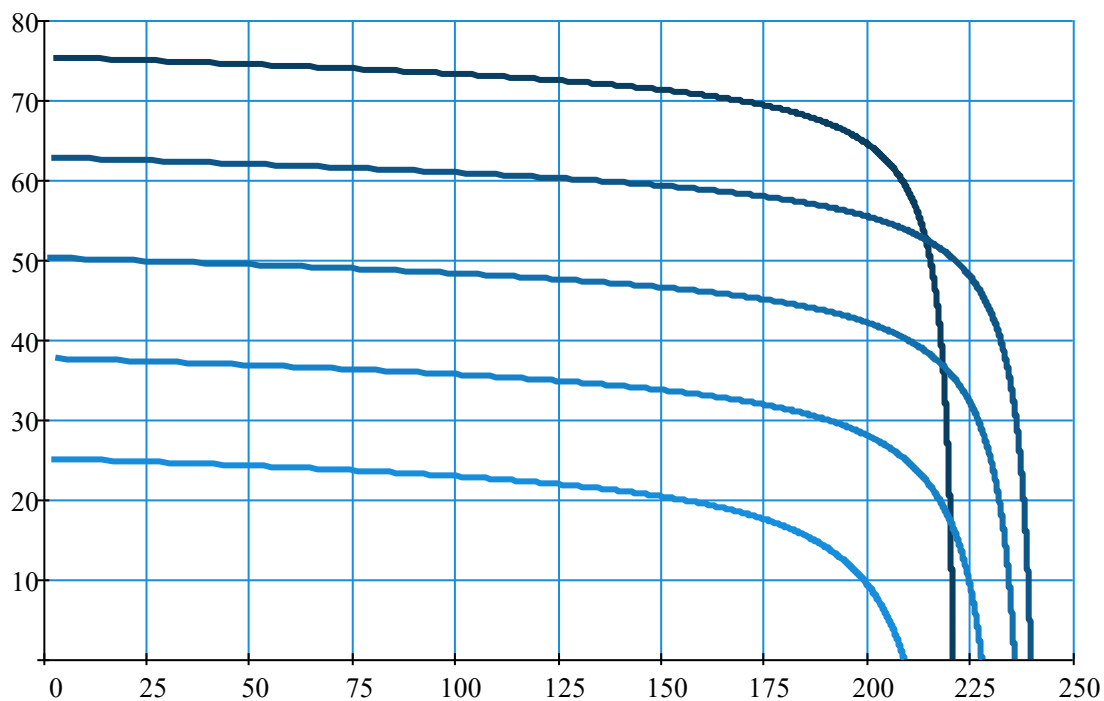


Рисунок 3.7 – Швидкісні характеристики привода

2.5.3 Розрахунок енергетичних характеристик

Розраховуємо потужність на валу приводного двигуна

$$P_{620}(\omega_{20}) = M_{20}(\omega_{20}) \cdot \omega_{20} \quad (2.36)$$

$$P_{630}(\omega_{30}) = M_{30}(\omega_{30}) \cdot \omega_{30} \quad (2.37)$$

$$P_{640}(\omega_{40}) = M_{40}(\omega_{40}) \cdot \omega_{40} \quad (2.38)$$

$$P_{650}(\omega_{50}) = M_{50}(\omega_{50}) \cdot \omega_{50} \quad (2.39)$$

$$P_{660}(\omega_{60}) = M_{60}(\omega_{60}) \cdot \omega_{60} \quad (2.40)$$

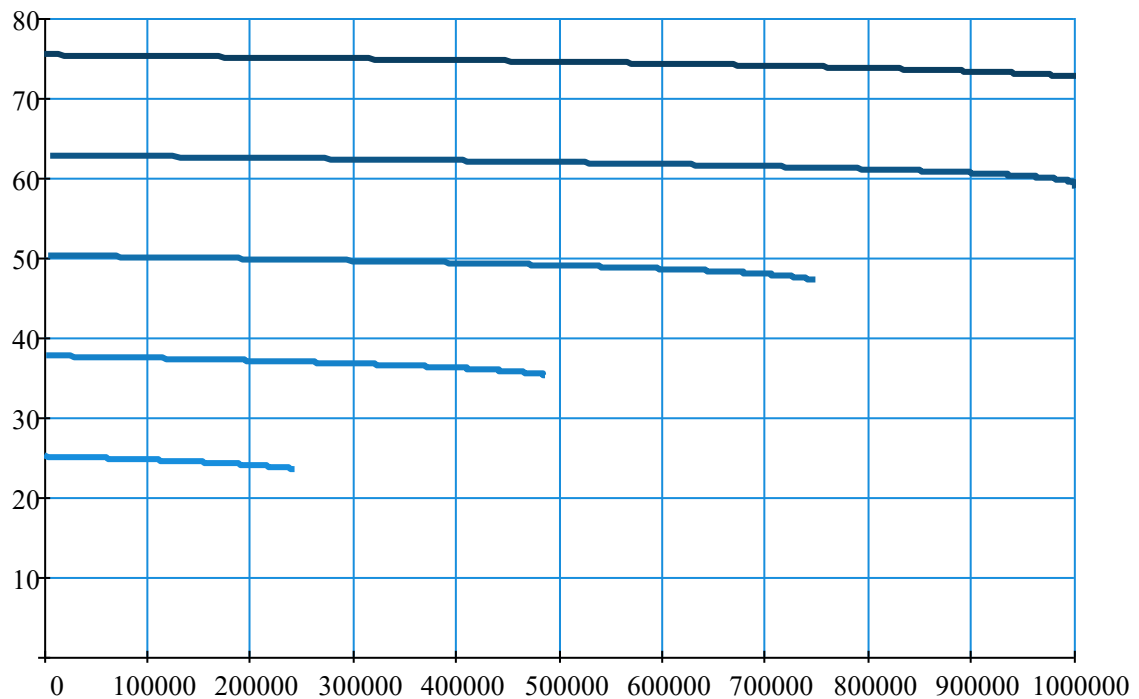


Рисунок 2.8 – Характеристики потужності на валу двигуна

Номінальні втрати в міді двигуна:

$$\Delta P_{\text{мн}} = M_H \cdot \omega_0 \cdot s_H \cdot \left(1 + \frac{R_l}{R'_2} \right) = 8093.0 \cdot 62.83 \cdot 0.01667 \cdot \left(1 + \frac{2.66}{0.8868} \right) = 33901.836 \text{ Вт} \quad (2.41)$$

Втрати в міді двигуна при зміні частоти:

$$\Delta P_{\text{м}20}(\omega_{20}) = M_{20}(\omega_{20}) \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{20} \cdot \left(\frac{\omega_0 \cdot \alpha_{20} - \omega_{20}}{\omega_0 \cdot \alpha_{20}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_l}{R'_2} \right) \quad (2.42)$$

$$\Delta P_{\text{м}30}(\omega_{30}) = M_{30}(\omega_{30}) \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{30} \cdot \left(\frac{\omega_0 \cdot \alpha_{30} - \omega_{30}}{\omega_0 \cdot \alpha_{30}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_l}{R'_2} \right) \quad (2.43)$$

$$\Delta P_{\text{м}40}(\omega_{40}) = M_{40}(\omega_{40}) \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{40} \cdot \left(\frac{\omega_0 \cdot \alpha_{40} - \omega_{40}}{\omega_0 \cdot \alpha_{40}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_l}{R'_2} \right) \quad (2.44)$$

$$\Delta P_{\text{м}50}(\omega_{50}) = M_{50}(\omega_{50}) \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{50} \cdot \left(\frac{\omega_0 \cdot \alpha_{50} - \omega_{50}}{\omega_0 \cdot \alpha_{50}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_l}{R'_2} \right) \quad (2.45)$$

$$\Delta P_{\text{м60}}(\omega_{60}) = M_{60}(\omega_{60}) \cdot \omega_0 \cdot \alpha_{60} \cdot \left(\frac{\omega_0 \cdot \alpha_{60} - \omega_{60}}{\omega_0 \cdot \alpha_{60}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_l}{R'_2} \right) \quad (2.46)$$

Механічні втрати є можливість визначити з залежності:

$$\Delta P_{\text{мех}}(\omega_{60}) = 0.03 \cdot P \cdot \frac{\omega_{60}}{\omega_H} \quad (2.47)$$

Додаткові витрати потужності визначимо за формулою:

$$\Delta P_{\text{дод}} = 0.01 \cdot \frac{P}{\eta} = 0.01 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{0.93} = 5376.344 \text{ Вт} \quad (2.48)$$

Сумарні втрати:

$$\Delta P_{20}(\omega_{20}) = \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{20}) + \Delta P_{\text{м20}}(\omega_{20}) + \Delta P_{\text{дод}} \quad (2.49)$$

$$\Delta P_{50}(\omega_{50}) = \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{50}) + \Delta P_{\text{м50}}(\omega_{50}) + \Delta P_{\text{дод}} \quad (2.50)$$

$$\Delta P_{40}(\omega_{40}) = \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{40}) + \Delta P_{\text{м40}}(\omega_{40}) + \Delta P_{\text{дод}} \quad (2.51)$$

$$\Delta P_{30}(\omega_{30}) = \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{30}) + \Delta P_{\text{м30}}(\omega_{30}) + \Delta P_{\text{дод}} \quad (2.52)$$

$$\Delta P_{60}(\omega_{60}) = \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{60}) + \Delta P_{\text{м60}}(\omega_{60}) + \Delta P_{\text{дод}} \quad (2.53)$$

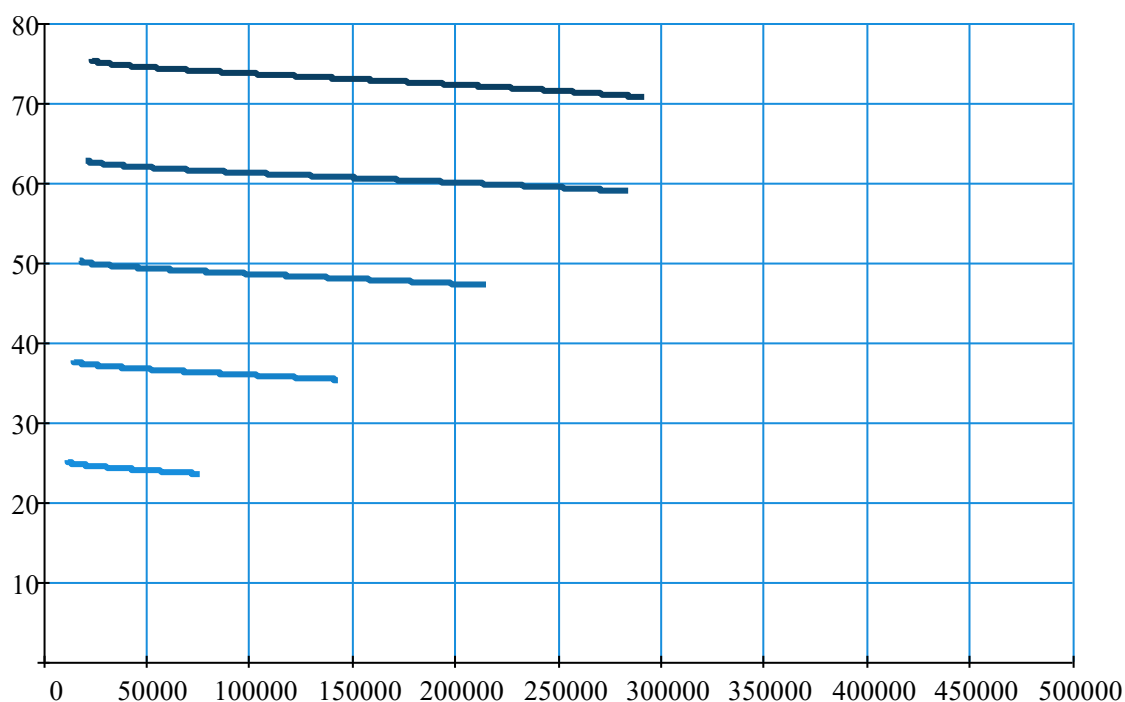


Рисунок 2.9 – Характеристики загальних втрат потужності

Розрахунок коефіцієнту корисної дії.

$$\eta_{20}(\omega_{20}) = \frac{P_{\text{в}20}(\omega_{20})}{P_{\text{в}20}(\omega_{20}) + \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{20}) + \Delta P_{\text{м}20}(\omega_{20}) + \Delta P_{\text{до}д}} \quad (2.54)$$

$$\eta_{30}(\omega_{30}) = \frac{P_{\text{в}30}(\omega_{30})}{P_{\text{в}30}(\omega_{30}) + \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{30}) + \Delta P_{\text{м}30}(\omega_{30}) + \Delta P_{\text{до}д}} \quad (2.55)$$

$$\eta_{40}(\omega_{40}) = \frac{P_{\text{в}40}(\omega_{40})}{P_{\text{в}40}(\omega_{40}) + \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{40}) + \Delta P_{\text{м}40}(\omega_{40}) + \Delta P_{\text{до}д}} \quad (2.56)$$

$$\eta_{50}(\omega_{50}) = \frac{P_{\text{в}50}(\omega_{50})}{P_{\text{в}50}(\omega_{50}) + \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{50}) + \Delta P_{\text{м}50}(\omega_{50}) + \Delta P_{\text{до}д}} \quad (2.57)$$

$$\eta_{60}(\omega_{60}) = \frac{P_{\text{в}60}(\omega_{60})}{P_{\text{в}60}(\omega_{60}) + \Delta P_{\text{мех}}(\omega_{60}) + \Delta P_{\text{м}60}(\omega_{60}) + \Delta P_{\text{до}д}} \quad (2.58)$$

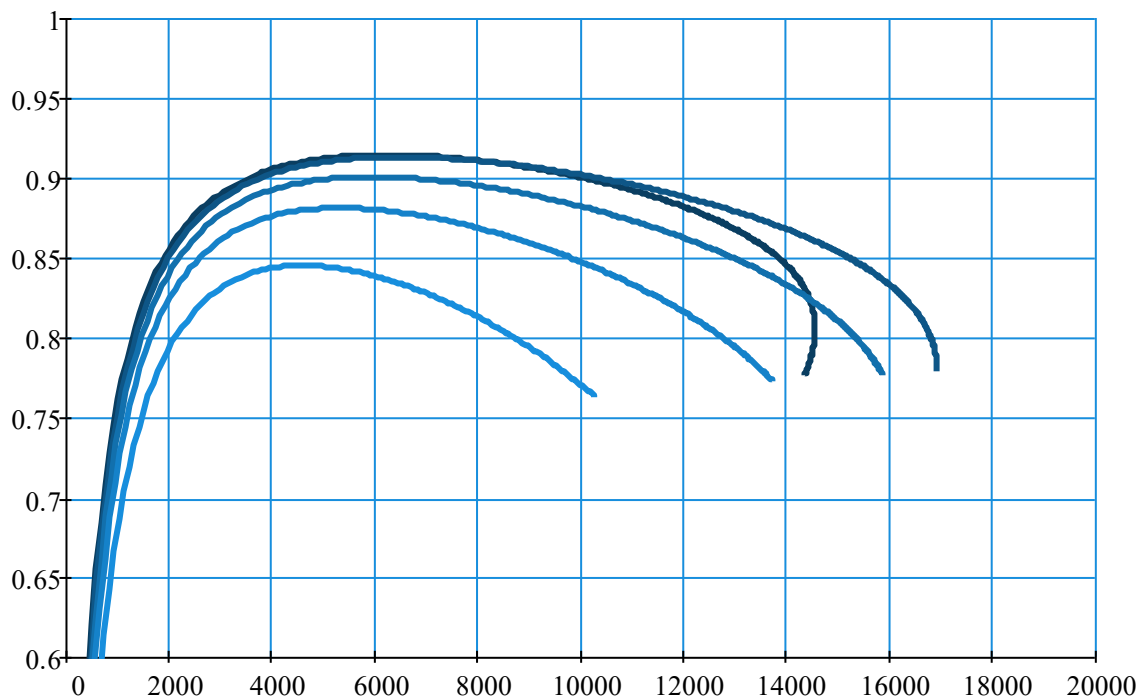


Рисунок 2.10 – Сімейство характеристик ККД в залежності від навантаження

2.6 Розробка заходів з енергозбереження

Зменшення напруги на шинах підстанції що живить двигуни та трансформатори (при їх сумарній потужності) спричиняє збільшення пускового струму, безумовно це порушує нормальну роботу двигунів і інших споживачів. Виникає так зване затягування пуску. Як наслідок прискорює старіння і вихід із ладу ізоляції, в зв'язку з тепловими перевантаженнями обмоток.

На початку роботи АД виникають великі коливання моменту. Ці коливання перевищують номінальний момент у 4-5кратному розмірі. Вони можуть спричинити скручування валу, який знаходиться у кінематичному колі. Для роботи механіки це є проблемою. Пряме підключення Ад до мережі має три дуже великих недоліків:

1) Впливає на електричний двигун:

З виникненням короткого замикання витків обмотки двигуна, він може вийти з ладу та призупинити свою роботу. Тому що кидки струму у перехідному процесі запуску 6-10 кратні стосовно номінального моменту. Це може привести до порушення ізоляції (перетиранню).

2) Впливає на мережу:

Негативно позначається на роботі іншого підключеного до неї обладнання (контролерів, зв'язок, терміналів релейного захисту та ін.), електричний двигун не запуститься тому що момент знижується. Це явище пов'язано з тим що напруга в мережі має просадку, так як через внутрішні опори генераторів протікають великі пускові струми.

3) Має вплив на технологію процесу:

У ряді випадків шкідливо позначаються на технології процесу, де такі механічні навантаження недопустимі. При запуску двигуна виникають пікові моменти, які мають змінний знак. Це може привести до зростання проміжків (мається на увазі механічне з'єднання) між електричним двигуном і дробаркою.

За допомогою плавного пуску при використанні тиристорного перетворювача ми отримуємо такі переваги:

- при зніжені пускових струмів зменшуються ударні перенавантаження;
- зменшується перегрів електричних двигунів;
- збільшується строк роботи електричних двигунів;
- у момент пуску практично зникають ривки в механічній частині.

З вище означеними перевагами плавний пуск дає можливість знизити активну споживану потужність, знизити шум, вібрацію, знизити реактивну потужність.

					Розділ 2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.XXX-YY РЗ.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розробив	Манченко Д.				Розділ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	Лім.	Лист	Листів
Перевірів	Льченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.								
Затвердив								

3.1 Розрахунок електричного навантаження споживачів

Навантаження споживачів та їх розрахунок надано в таблиці 3.1 (Додаток 10)

В таблиці:

K_C – коефіцієнт попиту,

$\cos \phi$ – коефіцієнт потужності.

Навантаження споживачів визначимо за виразами :

$$P_P = K_C \cdot \sum P, \text{кВт} \quad (3.59)$$

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \phi, \text{квар} \quad (3.60)$$

3.2 Вибір силових трансформаторів

Знаходимо повну потужність трансформаторів:

$$S_P = \sqrt{\sum P_P^2 + \sum Q_P^2} = \sqrt{3947,7^2 + 1972,13^2} = 44129 \text{ кВА} \quad (3.61)$$

Для живлення підстанцій за одним типом встановлюємо два трансформатора ТДТН-25000/150, з потужністю $S_{н.тр} = 25 \text{ МВА}$. Паспортні данні трансформатора 154/35/6 кВ надані в таблиці 2.2 (додаток 11)

Розрахуємо повну потужність низьковольтних споживачів:

$$S_{P(0,4)} = \sqrt{\sum P_{P(0,4)}^2 + \sum Q_{P(0,4)}^2} = \sqrt{47,7^2 + 118,125^2} = 127,39 \text{ кВА} \quad (3.62)$$

Для живлення низьковольтних споживачів встановлюємо трансформатор типу ТМ-160/6, $S_{н.тр} = 160 \text{ кВА}$. Паспортні данні трансформатора 6/0,4 кВ надані в таблиці 3.3 (додаток 12)

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання

За розрахунковою схемою (рисунок 2.1) знаходимо струми КЗ, враховуючі параметри схеми.

Базисну потужність $S_B = 100 \text{ МВА}$.

При знаходженні струмів КЗ від джерела необмеженої потужності $S_C = \infty$, тому опір системи $X_C = 0$.

В цьому пункті треба розрахувати опір повітряної лінії:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_1 = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{НОМ}^2} = 0,42 \cdot 150 \cdot \frac{100}{154^2} = 0,253 \quad (3.63)$$

$$X_0 = 0,42 \text{ Ом}$$

$$l = 150 \text{ км}$$

$$S_B = 100 \text{ МВА}$$

$$U_{НОМ} = 154 \text{ кВ}$$

Визначаємо опір трансформатора:

$$X_2 = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{Н.ТР}} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,47 \quad (3.64)$$

$$U_K = 11,5\%$$

$$S_{Н.ТР} = 25 \text{ МВА}$$

Для того щоб розрахувати струми короткого замикання складаємо схему заміщення (рисунок 3.1).

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

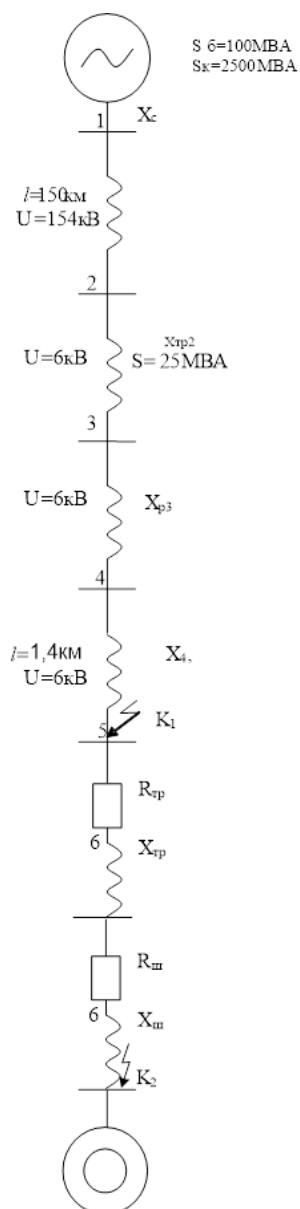


Рисунок 3.1 – Схема заміщення

Робимо розрахунок опору кабельної лінії :

$$X_4 = X_O \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2} = 0,08 \cdot 1,4 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,282 \quad (3.65)$$

X_O – 0,08Ом/км

l – 1,4км

Робимо розрахунок опору реактора:

$$X_3 = \frac{(X_L/100) \cdot I_B \cdot U_H}{I_H \cdot U_B} = \frac{(8/100) \cdot 9,16 \cdot 6}{1,5 \cdot 6,3} = 0,465 \quad (3.66)$$

U_B – 6,3кВ

$U_{НОМ}$ – 6кВ

$$I_{НОМ} = 1,5 \text{ кА}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16 \text{ кА} \quad (3.67)$$

Розраховуємо загальний опір до т. К1:

$$X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 0,253 + 0,46 + 0,465 + 0,282 = 1,46 \quad (3.68)$$

Перший період. Повний струм КЗ (діюче значення)

$$I_{y1} = I_K \cdot q = 6,274 \cdot 1,52 = 9,54 \text{ кА} \quad (3.69)$$

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

Потужність КЗ у т. К1:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K1} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 6,274 = 68,461 \text{ МВА} \quad (3.70)$$

$$U_H = 6,3 \text{ кВ}$$

Струм КЗ у т. К1:

$$I_{K1} = \frac{I_B}{X_{\Sigma}} = \frac{9,16}{1,46} = 6,274 \text{ кА} \quad (3.71)$$

Рахуємо ударний струм КЗ

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,274 = 16 \text{ кА} \quad (3.72)$$

Ударний коефіцієнт(не враховуючі активний опір) $K_y = 1,8$

3.4 Розрахунок струмів КЗ $U_H = 0,4 \text{ кВ}$

Опір системи:

$$X_C = \frac{U_H^2}{S_{K1}} = \frac{400^2}{68,461 \cdot 10^3} = 2,337 \text{ МОм} \quad (3.73)$$

$$U_H = 6,3 \text{ кВ}$$

$$S_{K1} \text{ кВА к.з. за значенням } U_H = 6,3 \text{ кВ.}$$

У абсолютних одиницях знайдемо активний опір трансформатору:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_T = \frac{\hat{r}_T \cdot U_H^2}{S_T} = \frac{0,0166 \cdot 400^2}{160} = 16,6 \text{ мОм} \quad (3.74)$$

$S_{H.T} - 160 \text{кВА}$

$\Delta P_{K3} - 2,65 \text{кВт}$

У відносних одиницях знайдемо активний опір трансформатору:

$$\hat{r}_T = \frac{\Delta P_{K3}}{S_{H.T}} = \frac{2,65}{160} = 0,0166 \quad (3.75)$$

У відносних одиницях знайдемо індуктивний опір трансформатору:

$$\hat{X}_T = \sqrt{\left(\frac{U_{K3}}{100}\right)^2 - \hat{r}_T} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - 0,0166^2} = 0,042 \quad (3.76)$$

$U_{K3} - (\%)$

У абсолютних одиницях знайдемо індуктивний опір трансформатору:

$$X_T = \frac{\hat{X}_T \cdot U_H^2}{S_T} = \frac{0,042 \cdot 400^2}{160} = 42 \text{ мОм} \quad (3.77)$$

Рахуємо індуктивний опір:

$$X_{III} = l \cdot X_O = 30 \cdot 0,189 = 5,68 \text{ мОм} \quad (3.78)$$

Знаходимо активний опір шин:

$$r_{ш} = l_{ш} \cdot r_O = 30 \cdot 0,056 = 1,68 \text{ мОм} \quad (3.79)$$

$l_{ш} - 30 \text{м}$

$r_O - 0,056 \text{мОм/м}$.

Обираємо:

Активний опір автоматичного вимикача: $1 r_a = 0,12 \text{ мОм}$,

Індуктивний опір: $X_a = 0,085 \text{ мОм}$

Активний загальний опір:

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{ш} + r_a = 16,6 + 1,68 + 0,12 = 18,41 \text{ мОм} \quad (3.80)$$

Значення повного опору:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{18,4^2 + 50,091^2} = 53,364 \text{ мОм} \quad (3.81)$$

Знаходимо струм КЗ у т.К2:

$$I_{K2} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 53,364} = 8,656 \text{ кА} \quad (3.82)$$

Значення ударного коефіцієнту:

$$\frac{X_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \frac{50,091}{18,4} = 2,722 \quad (3.83)$$

$$K_y = 1,2$$

Індуктивний загальний опір:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_T + X_{III} + X_a = 2,337 + 42 + 5,67 + 0,084 = 50,0914 \text{ мОм} \quad (3.84)$$

Значення ударного струму:

$$I_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 8,655 = 14,688 \text{ кА} \quad (3.85)$$

$$\text{Потужність КЗ при } U_H = 0,4 \text{ кВ } S_{K2} = \frac{S_{K1}}{Z_{\Sigma}} = \frac{68,462}{53,364} = 1,284 \text{ МВА}$$

Повний струм КЗ (діюче значення):

$$I_{y2} = I_{K2} \cdot q = 8,655 \cdot 1,04 = 9 \text{ кА} \quad (3.86)$$

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

3.5 Вибір високовольтної апаратури

Вибір та розрахунок шин

З урахуванням розрахункового струму навантаження обираємо переріз шин:

$$I_{PO3P} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4412,9}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 404,411 \text{ А} \quad (3.87)$$

S_p – 4412,9кВА;

U_H – 6,3кВ.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Переріз прямокутний 30×6 мм, $I_{\text{доп}} = 450 \text{ А}$, шини алюмінієві, знаходяться в одній площині, були обрані для встановлення.

За допомогою впливу електродинамічних шини перевіряють на міцність.

Знаходимо момент опору шини:

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 0,6 \cdot 3^2 = 0,902 \text{ см}^3 \quad (3.88)$$

Товщина: $b = 0,6 \text{ см}$;

Ширина: $h = 3 \text{ см}$.

Розглянемо однополосну шину і знайдемо тах напруження

$$G_{\text{розр}} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot l^2 \cdot i_y^2}{a \cdot W} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot 60^2 \cdot 16^2}{30 \cdot 0,902} = 59,94 \text{ кгс/см}^2 = 59,4 \text{ МПа} \quad (3.89)$$

l – відстань між опорними ізоляторами, (см);

i_y – ударний струм трифазного к.з. (кА);

a – відстань між вісями суміжних фаз, см.

Тому що $G_{\text{доп}} = 70 \text{ МПа} > G_{\text{розр}} = 59,4 \text{ МПа}$

Обрані шини є динамічно стійкими.

В цьому пункті обираємо роз'єднувачі

Основний критерій вибору роз'єднувача за номінальними значеннями струму та напруги. Враховуючі конструктивне виконання. На динамічну та термічну стійкість треба перевіряти обов'язково. За каталогами перевіряють відповідність розрахункових струмів КЗ. Таблиця 3.4 (додаток 13) приведені основні параметри.

До встановлення прийнятий роз'єднувач РВ3-10/1000, це підтверджується каталожними даними.

Вибір високовольтних вимикачів

При обираєні вимикача потрібно враховувати розрахунковий струм, його здатність вчасно відмикатися, також треба враховувати напругу, що відновлюється. Таблиця 2.5. Вказані основні параметри (Додаток 14)

За каталожними даними обираємо і встановлюємо вимикач ВВ-10-1000УЗ.

Вибір трансформатора струму

При виборі трансформатору струму беруть до уваги розрахунковий струм, напругу, навантаження первинної та вторинної обмоток. Треба знати клас точності, допустиму похибку, зробити перевірку на динамічну та термічну стійкість до струмів КЗ. Номінальні параметри Таблиці 2.6.(додаток 15)

Умова електродинамічної стійкості:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_y \leq i_{\text{дин}} \quad (3.90)$$

$i_{\text{дин}}$ (кА);

i_y – (кА)

Термічна стійкість струму виконується, якщо тепловий імпульс:

$$B = I_{\text{п}}^2 \cdot t_{\text{к}} \leq (K_{\text{т}} \cdot I_{\text{ном1}})^2 \cdot t_{\text{к}} \quad (3.91)$$

$I_{\text{ном1}}$ (кА);

Час термічної стійкості $t_{\text{к}} = 1$ с.

Таблиця 3.6 Номінальні параметри трансформатору струму (Додаток 16)
Встановлюємо трансформатор струму ТПЛ-10, за каталогом.

Вибираємо реактор

Включення в мережу додаткових опорів реакторів дає нам можливість знизити, а також обмежити струми КЗ.

Індуктивний опір реактора:

$$X_{\text{р}} = \frac{X_{\text{л}} \cdot U_{\text{н}}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}}} = \frac{8 \cdot 6000}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 404,411} = 0,685 \text{ Ом} \quad (3.92)$$

$X_{\text{л}}$ - 8%

$U_{\text{н}}$ - 6000В

При виборі реактора потрібно враховувати розрахунковий опір також розрахунковий струм.

Таблиця 3.7 Параметри реактору (Додаток 14)

Встановлюємо реактор РБА-10-1000, за каталогом.

Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги обирають за номінальними параметрами:

- 1). класу точності;
- 2). Навантаженню.

До трансформатора напруги підключені паралельні котушки наступних приладів:

- вольтметри ЕН – 2шт.,
- ватметри ВІТ – 2шт.,
- фазометри ФДВ – 2шт.,
- лічильники ІТ – 10шт.,
- лічильники реактивної енергії ІР – 2шт.

Вторинне навантаження трансформатора напруги:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{2POЗP} = \sqrt{(\sum P_{ПРИЛ})^2 + (\sum Q_{ПРИЛ})^2} \quad (3.93)$$

Рахуємо реактивну потужність приладів:

$$\begin{aligned} \sum Q_{ПРИЛ} &= \sum (S_{ПРИЛ} \cdot \sin \varphi_{ПР}) = \\ &= 2 \cdot 4,5 \cdot 0 + 2 \cdot 5 \cdot 0,99 + 2 \cdot 1,25 \cdot 0,64 + 10 \cdot 1,75 \cdot 0,92 + 2 \\ &\quad \cdot 1,73 \cdot 0,92 = 30,9 \text{ квар} \end{aligned} \quad (3.94)$$

Знаходимо активну потужність приладів:

$$\begin{aligned} \sum P_{ПРИЛ} &= \sum (S_{ПРИЛ} \cdot \cos \varphi_{ПР}) = \\ &= 2 \cdot 4,7 \cdot 1 + 2 \cdot 5 \cdot 0,12 + 2 \cdot 1,25 \cdot 0,77 + 10 \cdot 1,75 \cdot 0,38 + 2 \cdot 1,73 \cdot 0,038 = 20,4 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (3.95)$$

Повне навантаження приладів:

$$S_{2POЗP} = \sqrt{20,4^2 + 30,9^2} = 43,8 \text{ ВА} \quad (3.96)$$

Приймаємо до встановлення трансформатор напруги НТМІ-6:

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

Вибираємо кабельні лінії

Розрахунковий струм двигуна дробарки:

$$I_P = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,89 \cdot 0,925} = 55,66 \text{ А} \quad (3.97)$$

P_H –500кВт

U_H –6,3кВ

При $t_{\text{повітря}} = +30^\circ\text{C}$, $K_2 = 0,85$

$$I'_P = \frac{I_P}{K_2} = \frac{55,66}{0,85} = 65,48 \text{ А} \quad (3.98)$$

АСБ 3×25, $I_{\text{ДОП}} = 70 \text{ А}$, обраний кабель, з врахування $t_{\text{нагріву}}$.

Враховуючи щільність струму, перевіряємо переріз кабелю:

$$F_{ЕК} = \frac{I_P}{j_{ЕК}} = \frac{55,66}{1,0} = 55,66 \text{ мм}^2 \quad (3.99)$$

Встановлюємо кабель АСБ 3×25, $I_{\text{ДОП}} = 100 \text{ А}$.

Враховуючи термічну стійкість кабелю до струмів КЗ перевіримо:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F \frac{I_{y1} \cdot \sqrt{tn}}{c} = \frac{16000 \cdot \sqrt{0,5}^2}{85} \quad \text{min} \quad (3.100)$$

Кабель АСБ 3×25, $I_{доп} = 100$ А беремо до встановлення.
Перевірка кабелю за втратою напруги:

$$\Delta U_p = \frac{10^3 \cdot P_H \cdot l_K}{\gamma \cdot S \cdot U_H} = \frac{10^3 \cdot 500 \cdot 1,4}{32 \cdot 75 \cdot 6300} \cdot 100\% = 4,6\% \quad (3.101)$$

$P_H - 500\text{кВт}$;

$l_K - 1,4\text{км}$;

$\gamma - 32^{\text{М/Ом}\cdot\text{мм}^2}$;

$U_H - 6300\text{В}$.

Втрата напруги $\Delta U_p = 4,6\% < \Delta U_{доп} = 5\%$, обраний кабель підходить.

Перевіряємо на скільки відповідають жили кабелю струму автоматичного вимикача.

Для встановлення було обрано автоматичний вимикач А3700, $I_H = 100$ А

За умовою

Умова відповідності:

$$I_{H,доп} = 100\text{А} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K} = \frac{100 \cdot 1}{1} = 100 \text{ А} \quad (3.102)$$

K_3, K – коефіцієнти захисту, поправочний.

$I_3 - 1\text{А}$

Відповідність кабелю струму захисту автоматичного вимикача задовольняє.

3.6 Вибір низьковольтної апаратури

Вибір автоматичних вимикачів

Номінальний струм:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 23,09 \text{ А} \quad (3.103)$$

$S_H - 16\text{кВА}$,

$U_H - 0,4\text{В}$

Автоматичний вимикач АЕ2030: $U_H = 500\text{В}$, $I_H = 75 \text{ А}$, $I_{расч} = 25 \text{ А}$.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальний струм освітлення

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 7,22 \text{ A} \quad (3.104)$$

P_H - 15кВт.

Прийнято автоматичний вимикач АЕ1000: $I_H = 25 \text{ A}$, $U_H = 380 \text{ В}$, $I_{PACU} = 10 \text{ A}$.
Беремо запобіжник ПРС-20П, I_H плавкої вставки = 10А.

Вибираємо та розраховуємо шини

З урахування розрахункового струму навантаження обираємо переріз шин:

$$I_{PO3P} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{31}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 44,75 \text{ A} \quad (3.105)$$

S_P – 31кВА;

U_H – 0,4В.

Переріз прямокутний 10×6 (мм), шини алюмінієві. Прийняті до встановлення.
 $I_{доп} = 80 \text{ A}$.

Перевірка на вплив електродинамічних сил:

Момент опору:

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 0,6 \cdot 1^2 = 0,1 \text{ см}^3 \quad (3.106)$$

Товщина b – 0,6см;

Ширина h – 1см.

Знайдемо в однополосній шині тах напруження , за розрахунком:

$$G_{PO3P} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot l^2 \cdot i_{кзу}^2}{a \cdot W} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot 30^2 \cdot 14,688^2}{30 \cdot 0,1} = 113,9 \text{ кгс/см}^2 = 11,39 \text{ МПа} \quad (3.107)$$

l – 30см;

$i_{кзу}$ – 14,688кА;

a – 30см.

Тому що $G_{доп} = 20 \text{ МПа} > G_{PO3P} = 11,39 \text{ МПа}$. Шини динамічно стійкі.

Вибір магнітних пускатів

Обирання магнітних пускатів здійснюється за номінальною напругою, робочому струму та потужності підключеного обладнання.

Для зварювального трансформатора приймаємо до встановлення магнітний пускач серії ПАЕ-300 $U_H = 380 \text{ В}$; максимальна потужність підключеного обладнання 17 кВт; $I_H = 36 \text{ A}$.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір кабельних ліній

Струм за розрахунком $I_{розр} = 44,75 \text{ А}$:

$t_{повітря} = +30^{\circ}\text{C}$. $K_2 = 0,86$

$$I'_P = \frac{I_P}{K_2} = \frac{44,75}{0,86} = 52,65 \text{ А} \quad (3.108)$$

З урахуванням $t_{нагріву}$ беремо кабель АСБ 3×25, $I_{доп} = 70 \text{ А}$

Перевірка перерізу кабелю з врахуванням економічної щільності струму:

$$F_{ЕК} = \frac{I_P}{j_{ЕК}} = \frac{52,65}{1,0} = 52,65 \text{ мм}^2 \quad (3.109)$$

Встановлюємо кабель АСБ3×25, $I_{доп} = 70 \text{ А}$.

Перевірка кабель з врахуванням термічної стійкості до струмів КЗ.:

$$F \frac{I_{y2} \cdot \sqrt{tn}}{c} \frac{14688 \cdot \sqrt{0,5}^2}{85} \text{ min} \quad (3.110)$$

Встановлюємо кабель АСБ 3×25, $I_{доп} = 70 \text{ А}$.

Перевірка кабелю з врахуванням втрат напруги:

$$\Delta U_P = \frac{10^3 \cdot P_H \cdot l_K}{\gamma \cdot S \cdot U_H} = \frac{10^3 \cdot 31 \cdot 50}{32 \cdot 75 \cdot 400} \cdot 100\% = 1,6\% \quad (3.111)$$

P_H - 31кВт ;

l_K - 50км;

γ - 32 М/ОМ·мм²

U_H - 400В.

$\Delta U_P = 1,6\% < \Delta U_{доп} = 5\%$, обраний кабель з врахуванням умов втрат напруги встановлюємо.

Перевірка відповідність жил обраного кабелю струму автоматичного вимикача.

Встановлений автоматичний вимикач АЗ711, $I_H = 100 \text{ А}$.

Дотримання умови відповідності:

$$I_{H,доп} = 100 \text{ А} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K} = \frac{100 \cdot 1}{1} = 100 \text{ А} \quad (3.112)$$

K_3, K – коефіцієнти захисту, поправочний, який враховує умови прокладення.

I_3 – номінальний струм захисного апарату, А

Кабель за умовами є відповідний струму захисту автоматичного вимикача.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. Дроблення є важливим процесів у металургійній промисловості. Який вимагає значних грошових вкладень і значного споживання електричної енергії. Тому оптимізація цього процесу дуже важлива для галузі. Сучасні системи електроприводів дробарок є застарілими, тому обмежують енергоефективну та економічну складові промисловості. Впровадження частотно-регульованих приводів покращує динамічні характеристики обладнання, підвищує його надійність і довговічність. Функція частотного перетворювача робить автоматизацію процесів ефективною і дозволяє більш оптимізовано керувати параметрами системи.
2. Розроблена схема підключення двигунів до мережі забезпечує оптимальний динамічний режим роботи дробарки і полегшує впровадження автоматизованих систем управління технологічним процесом. Використання сучасних високовольтних перетворювачів частоти забезпечує плавний пуск і зупинку, регулювання швидкості та надійне керування двигунами. Це мінімізує пускові струми, зменшує втрати енергії та подовжує термін служби електрообладнання. Аналіз статичних характеристик двигунів і вибір оптимальної схеми керування показує, що існує великий потенціал для подальшої модернізації дробарок з метою покращення їх техніко-економічних показників.
3. Для доцільного підбору параметрів обладнання проведено детальні розрахунки електричних навантажень різних користувачів. Трансформатори, кабелі та високовольтне і низьковольтне обладнання були обрані на основі техніко-економічних показників для забезпечення енергоефективності та надійності системи. Розраховано струми короткого замикання в основних точках мережі з метою вибору обладнання, що відповідає вимогам динамічної та термічної стійкості. Передбачено заходи для обмеження струмів короткого замикання (наприклад, використання реакторів), що сприяють підвищенню експлуатаційної безпеки. Розрахунки та перевірки підтверджують вибір кабелів та обладнання для забезпечення мінімальних втрат напруги. Використання перевірених стрижнів і кабелів забезпечує динамічну стабільність і надійність електричної системи.

					Висновки	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

Додаток 1

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика дробарки ККД-1500/800 ГРЩ

Технічні характеристики	Типорозміри
Кількість	4
Діаметр підстави рухомого конуса, мм	2300
Ширина приймального отвору, мм	1500
Найбільший шматок живлення, мм	1200
Ширина вихідної щілини, мм	180
Об'ємна продуктивність, м ³ /год.	1450
Частота коливань конуса, хв ⁻¹	80
Електродвигун приводу: потужність, кВт	400
Частота обертання, хв ⁻¹	590
Маса дробарки, т	410

Додаток 2

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика конвеєрів технологічної ділянки №1 дробарної фабрики

Параметри	Конвеєр						
	К-1А	К-2А	К-3А	К-4А	К-12А	К-13А	К-16А
Довжина конвеєра, м	536	512	31	456	206	37	11
Ширина стрічки, мм	1600	2000	1600	2000	2000	2000	2000
Швидкість руху стрічки, м/с	2,16	2,28	2,5	2,5	2,5	2,3	2,05

Додаток 3

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика конвеєрів технологічної ділянки №2

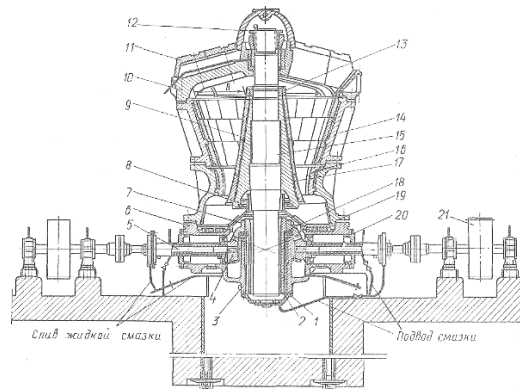
Параметри	Конвеєр								
	К-1	К-2	М-1	М-2	М1А – М-11А	М-13	М-14	2П-1	4П-1
Довжина конвеєра, м	312	318	240	240	9,5	62	62	185	328
Ширина стрічки, мм	2000	2000	1600	1600	1600	1600	1600	2000	2000
Швидкість руху стрічки, м/с	2,2	2,2	2,6	2,6	0,17	1,52	1,52	2,94	2,94
Продуктивність, т/год	2900	2900	2900	2900	500	1750	1750	2600	2600

					Додатки	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика конвеєрів технологічної ділянки №3

Параметри	Конвеєр								
	4П-2	5КПС	7П-1	3Т-1	3Т-2	0-5А	0-6	0-5Б	0-6Б
Довжина конвеєра, м	13	508	778	17,5	2,8	494	500	247	290
Ширина стрічки, мм	2000	2000	2000	1800	1800	1600	1600	1600	1600
Швидкість руху стрічки, м/с	1,6	2,63	2,27	1,6	1,6	2	2,7	2,3	1,72
Продуктивність, т/год	2600	2600	2600	2600	2600	3150	3150	3150	3150

Конусна дробарка ККД-1500/180



Таблиця 1.5 – Технічні параметри конусної дробарки ККД-1500-180

Технічні параметри	Значення
Ширина приймальної щілини, мм	1500
Номінальна ширина розвантажувальної щілини в фазі розкриття профілів, мм	180
Найбільший розмір кусків живлення, мм	1200
Частота качання дробарного конусу, c^{-1} , ($хв^{-1}$)	1,6(90)
Продуктивність, $м^3/год$	1450
Потужність головного привода, кВт	400
Частота обертів електродвигуна, c^{-1} , ($хв^{-1}$)	9,8(590)
Напруга частоти 50 Гц, В	6000
Продуктивність змазочної установки, л/хв.	200
Габаритні розміри дробарки, мм	
довжина	111515
ширина	6535
висота	10125
Маса дробарки без запасних частин, т	405

Додаток 7

Опис (рисунок 1.2) схема конусної дробарки крупного подрібнення:
1 – частина станини, що зверху; 2 – подрібнений матеріал; 3 – вал; 4 – подрібнювальний конус; 5 – ексцентриковий стакан; 6 – зубчаста передача; 7 – приводний вал; 8 – шків.

Додаток 8

Технічні параметри приводного двигуна дробарки

Таблиця 1.6

Технічні параметри	Значення
Потужність, кВт	500
Напруга, кВ	6
Частота обертання, об/хв.	590
Частота, Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, %	93
Струм статора, А	61
Коефіцієнт потужності	0,84
Напруга фазного ротора, В	750
Струм ротора, А	410
Кратність пускового моменту	1.8
Кратність критичного моменту	2
Кратність пускового струму	2
Інерційність мас двигуна J , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	1.5
Напрямок руху	Праве
Середній повітряний зазор, мм	1,1

Додаток 9

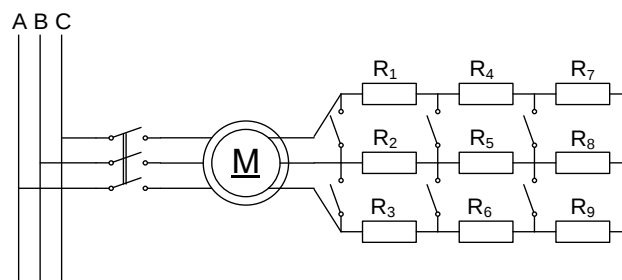


Рисунок 2.1 – Схема підключення двигуна дробильного агрегату з реостатним пуском

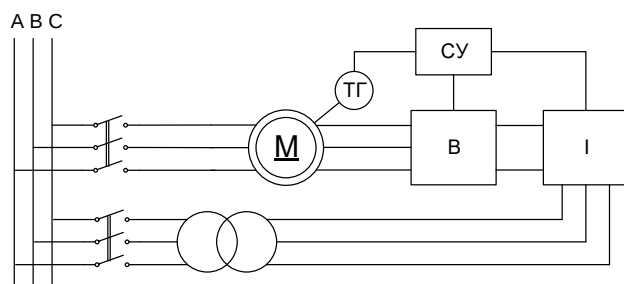


Рисунок 2.2 – Схема підключення двигуна дробильного агрегату за системою АВК

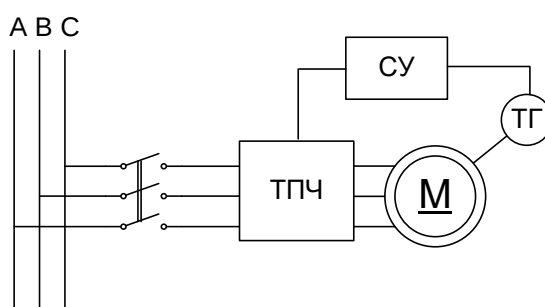


Рисунок 2.3 – Схема підключення двигуна з перетворювачем частоти

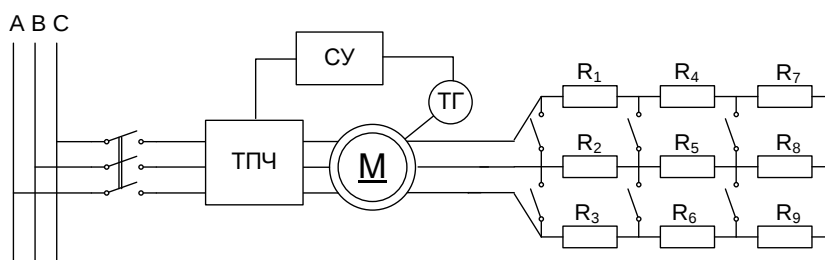


Рисунок 2.4 – Схема підключення двигуна дробильного агрегату з об'єднанням схеми реостатного пуску та схеми живлення через перетворювач частоти

Додаток 10

Таблиця 2.1 – Паспортні данні ПЧВМ-ТППТ-60-6000-50-УХЛ4

Назва параметру	Величина параметру
Напруга живильної мережі, В	6000±5%
Число фаз живильної мережі	3
Частота живильної мережі, Гц	50
Номінальний струм, А	60А
Діапазон регулювання вихідної напруги, В	Від 500 до 6000
Діапазон регулювання вихідної частоти	Від 0,5 до 50

Коефіцієнт корисної дії при $f_{\text{вых}}=50\text{Гц}$ $U_{\text{вых}}=6000\text{В}$	0,98
Коефіцієнт потужності	0,95
Погрішність підтримки швидкості при зміні навантаження	3%
Допустиме струмове перевантаження впродовж 300 с, $I_{\text{макс}}/I_{\text{н}}$	1,25
Режим роботи	Тривалий
Спосіб охолодження	Примусовий повітряний
Габаритні розміри	4175x2400x1200

Додаток 11

Таблиця 3.1 – Розрахунок навантажень споживачів

Найменування споживачів	Кіль- кість	P_H , кВт	ΣP , кВт	K_C	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_P , кВт	Q_P , квар
Приймачі 6 кВ								
Дробарка ККД 1500/180	4	500	2000	0,75	0,93	0,4	1500	600
Конвеєр 5-Б	1	400	400	0,8	0,89	0,51	320	163,2
Конвеєр 4-Б	1	200	200	0,8	0,89	0,51	160	91,6
Конвеєр 1-А	1	400	400	0,8	0,89	0,51	320	163,2
Конвеєр 1-Б	1	200	200	0,8	0,89	0,51	160	91,6
Конвеєр К-13А	1	400	400	0,8	0,89	0,51	320	163,2
Конвеєр 2-Б	1	200	200	0,8	0,89	0,51	160	91,6
Конвеєр 2-А	1	400	400	0,8	0,89	0,51	320	163,2
Пластинчатий живитель	2	400	800	0,8	0,89	0,51	640	326,4
Всього по 6 кВ							3900	1854
Приймачі 0,4 кВ								
Електрозварка	3	16	48	0,9	0,35	2,7	43,2	116,64
Освітлення			5	0,9	0,95	0,33	4,5	1,485
Всього по 0,4 кВ							47,7	118,125
Разом							3947,7	1972,13

Додаток 12

Таблиця 3.2 – Технічні параметри триобмоточного трансформатора

Тип	$S,$ кВА	$U, \text{кВ}$			$U_{\text{кз}}, \%$			$\Delta P, \text{кВт}$		$I_{\text{хх}},$ %
		ВН	СН	НН	ВН- СН	ВН- НН	СН- НН	НХ	КЗ	
ТДН- 25000/150	25000	154	38,5	6,6	18	11,5	5,8	120	190	6

Таблиця 3.3 – Технічні параметри трансформатора ТМ-160/6

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

Таблиця 3.4 – Параметри роз'єднувача

Розрахункові	Каталожні
$U_{НОМ} = 6,3 \text{ кВ}$ $I_{РОЗР} = 404,411 \text{ А}$ $i_y = 6,274 \text{ кА}$ $I_y = 16 \text{ кА}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 1000 \text{ А}$ $i_{ДОП} = 12 \text{ кА}$ $I_{ДОП} = 31,5 \text{ кА при } t_{ПР} = 4 \text{ с}$

Таблиця 3.5 – Параметри вимикача

Розрахункові	Каталожні
$U_{НОМ} = 6,3 \text{ кВ}$ $I_{РОЗР} = 404,411 \text{ А}$ $i_y = 16 \text{ кА}$ $I_y = 6,274 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot I_y = \sqrt{2} \cdot 16 = 22,63 \text{ кА}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$ $I_H = 1000 \text{ А}$ $i_{ДОП} = 52 \text{ кА}$ $I_{ДОП} = 30 \text{ кА при } t_{ПР} = 4 \text{ с}$ $\sqrt{2} \cdot I_{ОТ} = \sqrt{2} \cdot 30 = 42,43 \text{ кА}$

Таблиця 3.6 – Параметри трансформатора струму

Розрахункові	Каталожні
$U_{НОМ} = 6,3 \text{ кВ}$ $I_{РОЗР} = 404,411 \text{ А}$ $i_y = 16 \text{ кА}$ $I_y^2 \cdot t_{СК} = 16^2 \cdot 2,2 = 563,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$ $I_{НОМ1} = 1000 \text{ А}$ $i_{ДИН} = 52 \text{ кА}$ $(K_T \cdot I_{НОМ1})^2 \cdot t = (30 \cdot 1)^2 \cdot 1 = 900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця 3.7 – Дані реактора

Розрахункові	Каталожні
$U_H = 6,3 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{PO3P} = 404,411 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$
$i_Y = 16 \text{ кА}$	$I_{НОМ.ДИН.} = 52 \text{ кА}$
$X_{PO3P} = 0,685 \text{ Ом}$	$X_H = 0,75 \text{ Ом}$

					Додатки	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електричні машини: підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
2. Міліх В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Міліх, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Міліх. –Київ : Каравела, 2012. – 688 с.
3. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса: Наука і техніка, 2012. – 478 с.
4. Андрієнко В.М. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К.: НУХТ, 2010. – 366 с.
5. Jacek F Gieras. Electrical Machines. Fundamentals of Electromechanical Energy Conversion. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2020. – 452 P.
6. Ion Boldea, Lucian Nicolae Tutelea. Electric Machines. Steady State, Transients, and Design with MATLAB: B/W Illustrations. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. – 792 P.
7. Міліх В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник /В.І. Міліх, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Міліх. –Київ: Каравела, 2012. – 688 с.
8. Епштейн І.І. Теорія керування та синтез системи регулювання асинхронним електропривідом на базі автономного інвертору струму: Праці НІП НПО «ХЕМЗ» та ООО «ННТ», 1999.
9. Проектування електричних машин: навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.
10. Шестеренко Є.В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2004. 655 с.
11. Спеціальні питання електропостачання та електрозахисту електричних мереж залізничних кар'єрів. Підручник /О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, А.В. Пироженко, М.Л. Барановська. Кременчук: ЧП Щербатих, 2019. 320 с.
12. Функціональна безпека електротехнічних систем та комплексів залізничних підприємств. Традиції та новітні рішення. / О.М. Сінчук, А.В. Пироженко, М.Л. Барановська, О.О. Харитонов. Кременчук: ЧП Щербатих, 2018. 190 с.
13. Методичні вказівки до виконання випускної роботи бакалаврів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».напрямку підготовки «Електромеханіка (усіх форм навчання) Укладачі: Толмачов С.Т., Ільченко О.В., Барановська М. Л., Бондаревський С. Л., Рожненко Ж. Г., КНУ-2021, с.35.
14. http://www.tsatu.edu.ua/etem/wp-content/uploads/sites/60/dp_ch2.pdf
15. <https://res.ua/kak-vybrat-magnitnyj-puskatel.html>

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.XXX-YY С.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розробив		Лихопавло В			Список використаних джерел	Лім.	Лист	Листів
Перевірів		Ільченко О.В.						
Реценз.						ЕЕМ-21-		
Н. Контр.								
Затвердив								