

ВСТУП

Найбільш енергоємним процесом на РЗФ є рудопідготовка. На процес розмолу приходиться майже 78% електроспоживання всієї фабрики. Варто відмітити, що на цей переділ у світі витрачається близько 5% всієї електроенергії. Рудопідготовка - найбільш витратна стадія переробки сировини: на її частку доводиться 50 - 60% капітальних витрат і до 80% експлуатаційних витрат; другою найбільш енергоємною технологічною операцією є транспортування пульпи - більше 8% (може досягати 21%) усього електроспоживання. При цьому питома вага постійної складової витрати електроенергії на РЗФ становить 30%.

Основним і найбільш потужним устаткуванням для подрібнення руд є барабанні млини, у які завантажують різні тіла, що мелють (кулі, стержні). Відповідно розрізняють млини кульові, стержневі, рудногалькові, самоподрібнення.

Причинами надлишкової витрати електроенергії в процесі подрібнення є неефективне устаткування, нераціональні режими роботи млинів і вузлів подрібнення зі зниженою продуктивністю, неоптимальним завантаженням рудою та розмелюючими тілами тощо.

Для традиційних млинів об'ємом (місткістю) до 160 – 170 м³ прийнятий нерегульований однодвигунний привод з високовольтним тихохідним СД одиничною потужністю до 4 МВт, що приводить барабан за допомогою комплексу передач (сполучної муфти, редуктора й зубчастої передачі).

Серйозною проблемою нерегульованих потужних СД є їхній пуск. Залежно від потужності двигуна млина застосовують різні способи пуску: прямий асинхронний від повної напруги мережі, на зниженій напрузі, плавний.

Найчастіше застосований на практиці перший спосіб, він стає найбільш простим при наявності автоматизованої напівпровідникової системи збудження.

Прямий пуск СД впливає на рівень напруги мережі й роботу інших споживачів збагачувального комплексу й допускається при потужності двигунів до 2 МВт. Цей вплив можна зменшити при пуску СД на зниженій напрузі. В основному для цієї мети використовується реакторний пуск, що базується на додатковому зниженні напруги шляхом включення послідовного зі статорним ланцюгом двигуна додаткового індуктивного опору.

Для кардинального підвищення ефективності процесу подрібнення у світовій практиці йдуть шляхом збільшення розмірів, продуктивності й потужності електропривода млинів. Створюються й використовуються млини: кульові – об'ємом до 159-420 м³ із установленою потужністю приводних двигунів 4-35 МВт; самоподрібнення – до 400 м³ і 4,8-14,9 МВт; галькові – до 320 м³ і 3,2-8,4 МВт.

У зв'язку із цим виникає проблема вибору електроприводів надпотужних млинів, що забезпечують кращі енергетичні й техніко-економічні показники процесу подрібнення, а також можливість частих пусків. При цьому можливі різні типи приводів: електромеханічні, до складу яких входять передачі (зубчасті, фрикційні, муфти, проміжні вали, редуктори); електричні, у яких обертання барабана відбувається безпосередньо від тихохідного двигуна; з одним та багатьма приводними двигунами; з нерегульованою або регульованою частотою обертання барабана.

Метою даної роботи є розробка ефективної системи пуску потужного синхронного двигуна млина самоподрібнення на прикладі млина ММС-90-30А в умовах дробильної фабрики №1 ПрАТ «Північний ГЗК».

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕ- ХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Різновиди способів самоподрібнення

Під час подрібнення руди та іншої мінеральної сировини великі шматки руди можуть бути середовищем для подальшого подрібнення дрібніших шматків. Великі шматки при цьому також поступово руйнуються в барабані млина, утворюючи менші шматки. На цьому заснований принцип роботи млинів самоподрібнення (рис. 1.1).

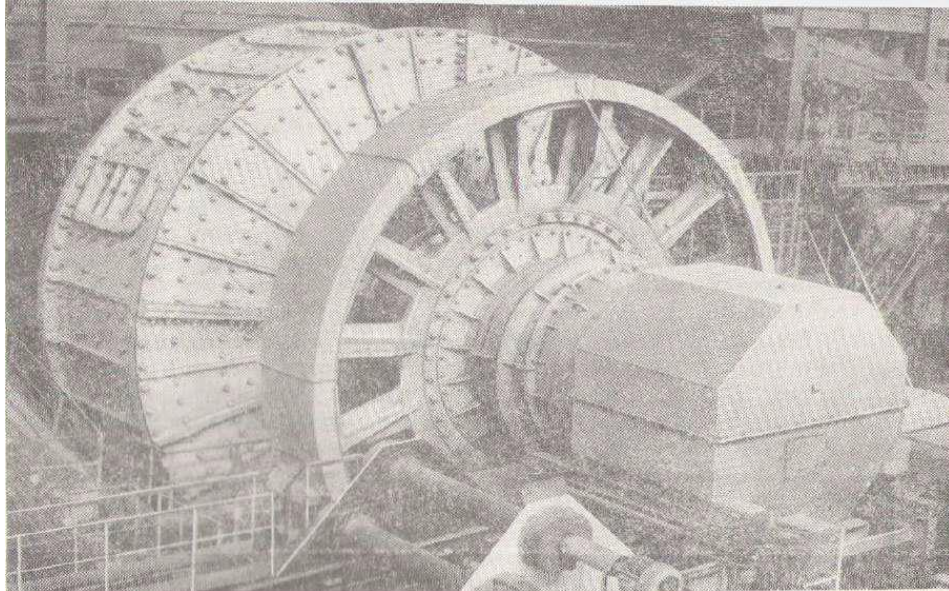


Рис. 1.1 – Зразок млина самоподрібнення типу ММС-90-30

Основна класифікація окремих варіантів процесу самоподрібнення заснована на відносній швидкості руху мелючого середовища або типом навантаження частинок у мелючому матеріалі. Самоподрібнення при цьому ділиться на дві великі підгрупи. Перша включає високошвидкісне автоматичне подрібнення в пароструминному млині з низькошвидкісним самоподрібненням і прискоренням частинок під тиском.

Максимальна швидкість пари або газу 100 м/с або більше. В гірничій справі здебільшого використовуються барабанні млини з малою швидкістю обертання.

Для деталізованої класифікації самоподрібнення в млинах з низькою швидкістю в якості критеріїв використовуються наступні характеристики: розмір і гранулометричний склад сировини та кінцевого продукту млина, відношення довжини барабану до його діаметра, особливості конструкції, а також область

застосування. На основі цих ознак виділяють наступні основні варіанти процесів саморуйнування речовини: первинне самоподрібнення руди – 1), мокре (з мокрими млинами типу «каскад») і сухе (з сухими млинами типу «Аерофол») – I-ша стадія; 2) вторинне самоподрібнення руд і гальки – II-га і III-я стадій.

При первинному самоподрібненні живлення млина відбувається рудою, видобутої з шахти або кар'єру крупністю 350 мм після використання попередньої стадії дроблення у дробарці. Сучасні млини самоподрібнення великого діаметру (9–11 м) можуть працювати з вихідним матеріалом з максимальним розміром шматка руди до 500–700 мм.

Зараз для самоподрібнення руди первинної стадії (переважно за кордоном) застосовується попередня класифікація руди на великі (100 мм) і середні (–100+0 мм) шматки. Подача таких фракцій у млин здійснюється дозовано, дотримуючись певного співвідношення. Це дозволяє значно підвищити продуктивність млина самоподрібнення. Зокрема такий підхід застосовується на Північному ГЗК (м. Кривий Ріг).

Крупність матеріалу на виході з млина може значно змінюватись (особливо при мокрому самоподрібненні). Як правило, розмір фракції готового продукту мокрого помелу коливається від -0,5 до 0,2 мм. Так як млини самоподрібнення первинної стадії виробляють гальку, яка використовується в млинах наступної стадії, з них виділяється фракція з крупністю шматка до -100 мм.

Для млинів самоподрібнення дуже характерною рисою в їх конструкції є велике значення співвідношення між діаметром барабану та його довжиною, яке коливається у межах від 4:1 до 2:1.

Для первинного самоподрібнення (I стадії) подрібнювальним матеріалом є великі шматки початкової руди (–300+150 мм). Такий матеріал виділяють з в результаті крупного дроблення. Подрібнюваним матеріалом є дрібна руда фракції менше 20 мм.

Для вторинного самоподрібнення (II стадія) подрібнювальним матеріалом як правило є рудна галька з розміром -100+50 мм, що утворюється після переробки на млинах первинного мокрого самоподрібнення.

Класифікація видів самоподрібнення показана на рис. 1.2. Варто відмітити, що процес самоподрібнення присутній при всіх способах помелу матеріалу, так як стикання шматків матеріалу між собою призводить до їх руйнування у тій чи іншій мірі.

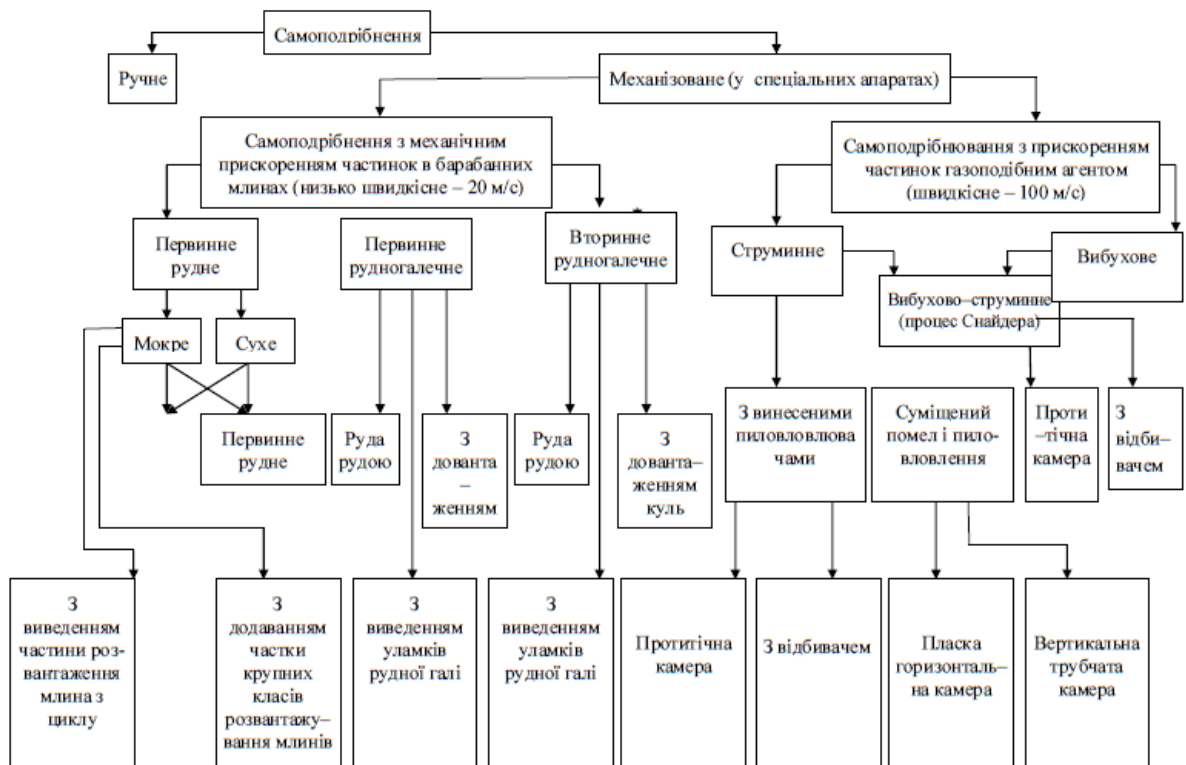


Рис. 1.2 – Види самоподрібнення

1.2 Напрямки розвитку технології самоподрібнення

Сучасний спосіб рудопідготовки за допомогою самоподрібнення є прогресивним напрямком у галузі дроблення і подрібнення руди.

Застосування млинів самоподрібнення в гірничій промисловості в Україні і за кордоном обумовлено рядом переваг, які вони мають у порівнянні з кульовими і стержневими млинами.

При самоподрібненні значно більше досягається інтеркристалітне руйнування руди (по межі зерна), що підвищує вилучення металу. Крім того самоподрібнення не потребує стадій дрібного і середнього дроблення. При застосуванні самоподрібнення відсутні витрати на кулі або стрижні. Технологія самоподрібнення дозволяє зменшити капітальні та експлуатаційні витрати. Застосування самоподрібнення дає змогу покращити якість продуктів збагачення, підвищити продуктивність збагачувального комбінату.

Одна з тенденцій розвитку самоподрібнення – це застосування одностадійних схем, а також застосування напівсамоподрібнення, при якому додаються кулі в кількості 5–10% від загального завантаження млина.

У вітчизняній практиці напівсамоподрібнення було застосовано в 1981–1986 рр. на РЗФ–2 ПівнГЗК і на РЗФ–2 ІнГЗК.

Іншим напрямком розвитку є збільшення одиничної встановленої потужності млинів. Так, найбільша установка з млином самоподрібнення має потужність 8940 кВт та розмір барабану 11,0х4,6 м, а розроблені проекти досягають потужності 22 000 кВт.

Ще одна важлива тенденція розвитку млинів самоподрібнення – це збільшення відношення довжини барабана млина та його діаметра.

У закордонній практиці намічається тенденція до застосування млинів з приводами на два двигуни (потужність більше 4000 кВт). При цьому особливу увагу приділяють системі синхронізації двигунів. У вітчизняній практиці всі промислові млини мають привод з одним двигуном.

1.3 Млин самоподрібнення ММС-90-30

Млин ММС–90–30А відноситься до млинів мокрого самоподрібнення руд чорних і кольорових металів. В якості помельних тіл в млині використовуються великі шматки руди, які стикаючись з меншими шматками, виконують їх розмелювання.

Перший дослідний млин самоподрібнення з розміром барабана 9х3 м (МВ-90-30) проходив випробування в умовах збагачувальної фабрики ІнГЗК з 1973 по 1975 рік (рис. 1.3). За результатами цих випробувань було вироблено першу партію млинів мокрого самоподрібнення ММС-90-30 з потужністю приводів 4000 кВт. На Північному ГЗК було встановлено 8 млинів такого типорозміру.

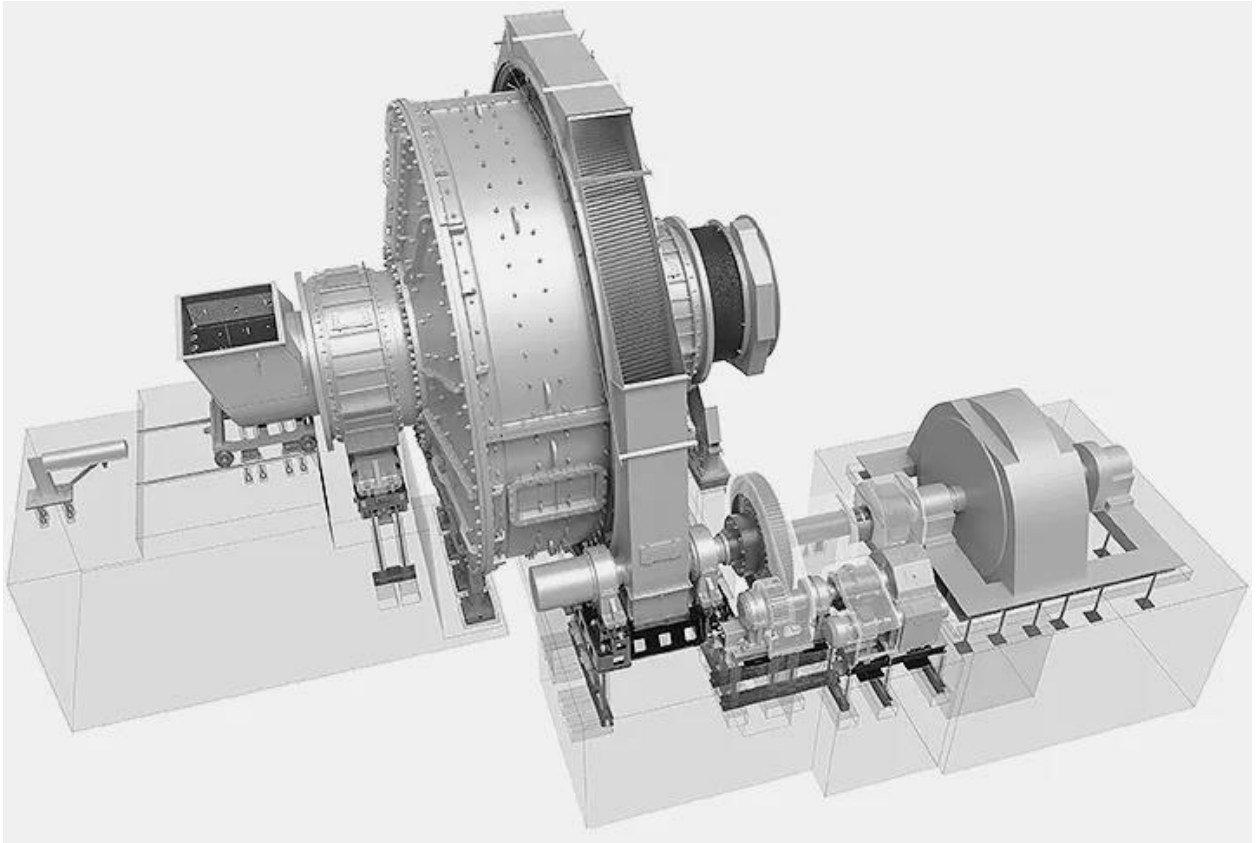


Рис. 1.3 – Млин мокрого самоподрібнення ММС-90-30

Технічна характеристика млина ММС-90-30:

Внутрішній діаметр циліндричної частини барабана (без футеровок), мм	9100
Внутрішня довжина циліндричної частини барабана (без футеровок), мм	3000
Об'єм робочої камери барабана (до решітки), м ³	160
Продуктивність млина *, т / год	300
Частота обертання барабана, хв ⁻¹	11,1
Крупність завантажуваного матеріалу, мм	400
Розрахункова максимальна споживана потужність, кВт	3500
Відкрита зубчаста передача:	
модуль нормальний, мм	28
кут нахилу зубів, град	6,26
число зубів вінця, шт.	284
число зубів шестерні, шт,	42
передавальне число	6,76
Електродвигун привода:	
тип	СДМЗ-2-24-55-80
потужність, кВт	4000
напруга, В	6000
частота обертання, хв ⁻¹	75
Габарити млини, мм:	
довжина	26000
ширина	15000
висота	11000
Маса млина без електроустаткування і пристосувань, кг	700000

На рисунку 1.4 вказані основні конструктивні елементи млина ММС-90-30: 1 – пристрій завантаження; 2 – корінний підшипник; 3 – цапфа завантажувальна; 4 – кришка завантажувальна (торцева); 5 – циліндр барабану; 6 – кришка розвантажувальна (торцева); 7 – цапфа розвантажувальна; 8 – корінний підшипник з боку розвантаження; 9 – вінець зубчастий; 10 – бутара; 11 – приводний двигун; 12 – відкатний візок.

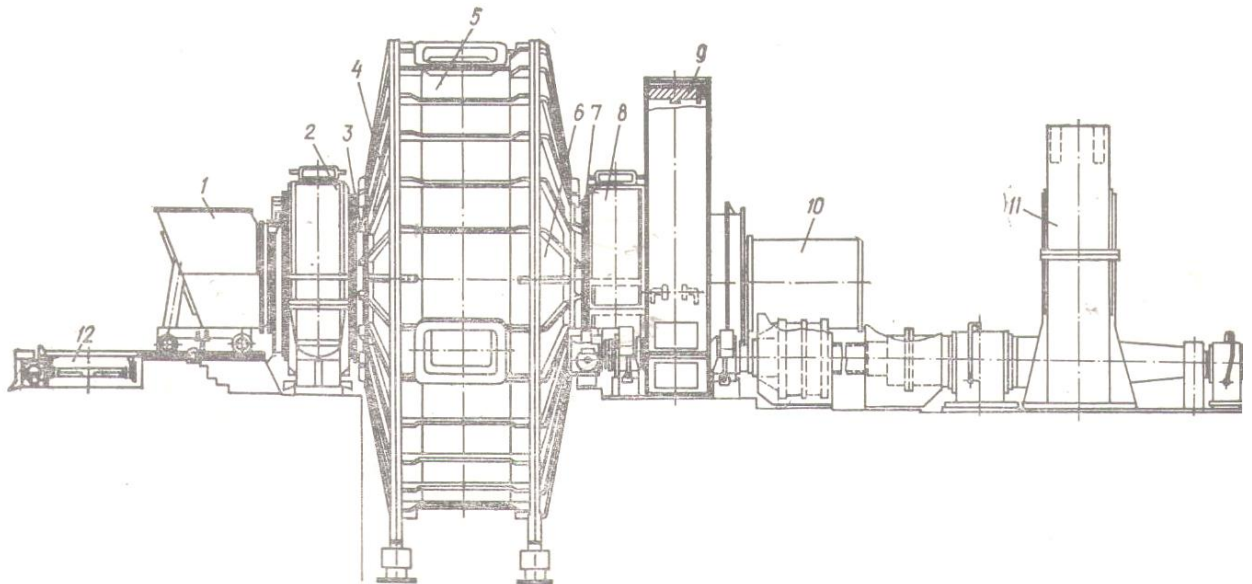


Рис. 1.4 – Конструкція млина ММС-90-30

Принцип роботи млина базується на безперервній подачі в порожнину барабана, що обертається шматків руди різних розмірів і води. Внесений в барабан матеріал, захоплюється підйомниками і піднімається до тих пір, поки радіальна складова сили тяжіння не перевищить відцентрову силу. Після цього шматки руди послідовно переміщуються вниз. Таким чином, відбувається постійне перемішування матеріалу, під час чого відбувається подрібнення матеріалу завдяки процесам стирання, розколювання та роздавлювання.

Після подрібнення матеріал, який стає менше щілини завантажувальної решітки, проходить через щілини із потоком води і вивантажується з млина у вигляді пульпи.

Основні складові частини млина: барабан, підшипник опорно–упорний, підшипник опорний, приводна шестерня, муфта, завантажувальний пристрій, стопорний пристрій, пристосування для повороту завантажувального пристрою, пристосування для підйому барабана, система мастила млина, гідропривод стопорного пристрою, система мастила електродвигуна, електрообладнання.

Барабан. Корпус барабана має зварну конструкцію. Барабан розділений діаметральними площинами на чотири рівні частини, які з'єднані між собою болтами, після чого зварені між собою.

Завантажувальна і розвантажувальна цапфи представлені монолітними сталевими частинами, які прикріплені до корпусу барабана фланцевим болтовим з'єднанням. Втулка завантажувальної цапфи має спіралі, що пришвидшують живлення млина. Втулка розвантажувальної цапфи має спіралі, що пришвидшують розвантаження вихідної пульпи. Вхідний кінець розвантажувальної втулки разом з підгратною футеровкою, виконують також роль підйомників. Вони спрямовують потік пульпи в розвантажувальну цапфу.

Внутрішня поверхня барабана має облицювання, що періодично змінюється. Воно що складається з футеровок, підйомників та решіток. Кріплення футеровок та підйомників виконується болтами. Для ущільнення отворів під болти використовують кільця з технічної гуми та шайби. Щоб зменшити шум а також запобігти абразивному зносу внутрішньої поверхні барабана під футерування розміщується листова гума.

Розвантажувальна частина також входить решітка (грати), ліфтери і підгратові футерування–елеватори. В решітці присутня щілина клиноподібної форми. Розвантажувальні елеватори крім захисту забезпечують вивантаження з млина подрібненої фракції у безперервному процесі. Футерування мають ребра, які утворюють кишені, що перешкоджають поверненню пульпи в барабан.

Привод. Основна функція головного привода млина – обертання завантаженого барабану з робочою частотою, а також повільний поворот барабану і його гальмування у разі здійснення ремонтних робіт. Привод виконається головним двигуном, який обладнаний груповим перетворювачем частоти. Механічна частина привода містить наступні елементи:

- циліндричний косозубий вінець, який встановлений на фланці розвантажувальної цапфи;
- приводна шестерня, яка напресована на вал і встановлена на роликівих сферичних підшипниках;

- проміжний вал з муфтами, які сполучають вал приводної шестерні з валом приводного двигуна. З протилежного боку на вал змонтована зірочка стопорного пристрою. Всі рухомі елементи привода мають огороження відповідно до вимог техніки безпеки.

Пристрій завантаження. Завантажувальний пристрій представляє собою патрубок зварної конструкції, через який в млин подається руда. Також присутній пересувний завантажувальний пристрій, який може забезпечити вільний доступ всередину млина. Привод пересувного завантажувального пристрою виконується за допомогою черв'ячного редуктора. Патрубок завантажувального пристрою всередині облицьований броньованими сталевими листами, що запобігає зносу від рудного потоку.

Корінні підшипники. Опорами Обертвий барабан опирається на два корінні підшипники. Підшипник, який знаходиться біля зубчастого вінця, працює як на радіальні так і на осьові навантаження. Це забезпечується конструктивними особливостями у вигляді упорних буртів на цапфі. Другий підшипник навантажений лише в радіальному напрямку. Конструкція підшипників включає вкладиші зі сталі, в яких присутня бабітова заливка. Вкладиші установлені в чавунні корпуси.

Нижня опорна частини підшипників виконана у вигляді сферичної поверхні, що допомагає компенсувати неточності монтажу, а також розподілити навантаження на підшипники. Змащення підшипників виконується за допомогою мастила УС-1, яке наноситься ручним шприцом. Подача мастила здійснюється від насосної установки під тиском. Мастило надходить в спеціальні кишені з отворами, що розташовані в корпусах підшипників. В корпусах підшипників також присутні канали для відводу відпрацьованого мастила. Кришки прикріплені до корпусів через проміжні підставки. На кришці підшипника додатково встановлений ліхтар, що дозволяє спостерігати за подачею мастила.

Подача мастила контролюється із використанням індикаційних приладів. Зокрема, для контролю температури підшипника в його корпус влаштовані два термометри.

Стопорний пристрій. З метою забезпечити зафіксоване положення барабану, як правило для ремонтних робіт, слугує стопорний пристрій. Конструкцію стопорного пристрою складає:

- корпус;
- два гідравлічні циліндри;
- важелі з тягами;
- зірочка;
- насосна установка;
- кінцеві вимикачі.

Щоб застопорити млин використовується два важелі, замикаючими вал приводної шестерні через виступи в зірочці. Порядок встановлення стопору: вручну включається в режим гальмування головний електродвигун; включається електродвигун насоса; після підходу зубів стопора із зазором 3–5 мм до виступів зірочки електродвигун головного привода і електродвигун насоса автоматично відключаються. Зняття стопора виконується тільки після закінчення ремонтних або монтажних робіт. Порядок дій наступний: головний електродвигун вручну включається в режим гальмування після чого включається електродвигун насоса; стопорні зубці відходять від зірочки у почтакову позицію; далі для роботи на робочій частоті обертання вмикається двигун головного привода млина.

Система змащування. Система змащування складається з двох частин: змащування рідким мастилом у замкненому рециркуляційному режимі та змащування густою змазкою зубчастої передачі головного привода млина. Рециркуляційна система змащування під тиском забезпечує роботу корінних підшипників, підшипників приводної шестерні і підшипників електричних машин.

Змащування корінних підшипників млина і підшипників приводної шестерні здійснюється від станції рідкого мастила, продуктивність якої 300 л/хв (рис. 1.5). Система змащування підшипників складається зі станції рідкого мастила, трубопровода з арматурою, а також містить контрольно–вимірвальну апаратуру. Щоб забезпечити необхідну кількість мастила на кожен підшипник мається вентиль, яким регулюється подача мастила. З метою контролю наявності мастила в системі слугує реле протоку мастила. Якщо кількість мастила зменшується, реле спрацьовує, та електродвигун млина відключається від живлення. Також для індикації подачі мастила додатково застосовуються покажчики течії. Відпрацьоване масло надходить у відстійник прямою ком по зливній магістралі.



Рис. 1.5 – Маслостанція системи рідкого змащування

Система гідропідпору. Система гідропідпору забезпечує зниження коефіцієнт тертя в підшипниках під час пуску та зупинки. Система подає мастило в робочу зону підшипника під тиском. Система гідропідпору запускається після включення станції рідкого змащування. Мастило подається до підшипників радіальнопоршневими насосами типу, продуктивність яких 8 л/хв, тиск 30 МПа. Мастило подається в систему гідропідпору з нагнітального трубопро-

воду станції рідкого змащування. Пуск приводного двигуна виконується автоматично, коли створюється необхідний тиск в робочій зоні підшипників. Гідропідпір здійснюється, коли барабан млина досягає необхідної частоти обертання. В процесі експлуатації установлюється час, який необхідний досягнення потрібної швидкості барабаном.

Підйомний механізм барабану. Підйомне пристосування дозволяє виконати підйом завантаженого барабану млина, якщо в цьому є потреба, при здійсненні ремонтних робіт, наприклад, при заміні корпусів або вкладишів підшипників. Підйомний пристрій містить дві зварні опори, чотири гідравлічні домкрати (вантажопідйомність кожного складає 300 т), а також насосну установку.

За вимогами техніки безпеки одночасно при підйомі мають працювати тільки два домкрата: спочатку виконується підняття двома домкратами на 5-7 мм з боку розвантаження; після цього домкрати фіксуються стопорними гайками. Далі виконається підняття барабану домкратами з з боку завантаження; після підйому на 5-7 мм поршні домкратів фіксуються стопорними гайками. Таким чином, по чергово виконується підняття домкратами попарно поки не буде досягнуто необхідну висоту. Максимально допустима висота підйому барабана становить 30 мм.

Змащення підшипників електричних машин виконується за допомогою станції рідкого змащування, продуктивність якої 35 л/хв. Система складається з власне станції та трубопровода. Змащування зубчастого зачеплення привода млина виконується за допомогою системи густого автоматичного змащування на базі станції 060-П-1-1. В систему змащення входять:

- установка станції густого змащування;
- чотириходові розподільники РЧЕ-П;
- форсунки, для розпилення мастила із використанням повітря під тиском;
- контрольно-вимірювальні прилади;
- мастилопровід.

В якості змащувальної речовини в системі густого змащування використовується графітове мастило.

Електрообладнання. До основних функцій електричного обладнання млина ММС–90–30А входить: зупинка та управління у процесі ремонтних робіт, автоматизований пуск, контроль роботи млина.

Система електрообладнання включає наступні основні вузли:

- головний привод;
- стопорний пристрій;
- завантажувальний пристрій;
- установка для підйому барабана;
- станції рідкого мастила;
- станції густого мастила;
- система контролю температури підшипників млина;
- система гідропідпору підшипників;
- система контролю температури мастила станцій рідкого мастила.

Система електрообладнання також включає груповий перетворювач частоти, який керує головним двигуном при ремонтах млина.

1.4 Розрахунок потужності приводного двигуна

Існують різноманітні методики розрахунку необхідної потужності приводних двигунів млинів в залежності від їх типу та конструкції. Для млинів самоподрібнення використовується особлива методика розрахунку потужності двигуна. У джерелі [78] пропонується розрахунок за формулою:

$$P_{\text{дв}} = KV\gamma\sqrt{DP_0}\psi/\eta_{\text{пер}} \quad (1.1)$$

де K – коефіцієнт нестабільності пульпи, який приймається $K = 1,05$; γ – насипна маса руди, яка рівна $\gamma = 2,2$ т/м³; V – об'єм барабану млина, м³; D – діаметр барабану, м; P_0 – значення питомої потужності, яка залежить від ступеня за-

повнення і визначається за номограмою; $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнт корисної дії механічної передачі. Таким чином, для млина самоподрібнення ММС–90–30А необхідна механічна потужність на валу приводного двигуна становить:

$$P = \frac{KV\gamma\sqrt{D}P_0\psi}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{1,05 \cdot 190,85 \cdot 2,2 \cdot \sqrt{9} \cdot 3 \cdot 0,8}{0,95} = 3341 \text{ кВт}$$

Для розрахунку необхідної потужності двигуна необхідно врахувати коефіцієнт корисної дії, який попередньо приймається 0,85:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta_{\text{дв}}} = \frac{3341}{0,85} = 3931 \text{ кВт}$$

Отже, можна прийняти для встановлення двигун з номінальною потужністю 4 000 кВт. Відповідно до рекомендацій заводу виробника варто використати синхронний двигун типу СДМЗ 2-24-59-80.

1.5 Характеристики приводного двигуна

До використання в якості приводного двигуна млина ММС-90-30 було обрано синхронний двигун СДМЗ 2-24-59-80. Загальний вигляд, габаритні та установочні розміри двигуна показані на рисунку 1.6.

Синхронні двигуни типу СДМЗ застосовуються в якості привода рудорозмольних, вуглерозмольних та цементних млинів. Можуть застосовуватись в технологічній лінії гірничого комбінату, цементного заводу або вугільної ТЕЦ. Двигуни виконуються у закритій конструкції та можуть застосовуватись у приміщеннях з високою запиленістю.

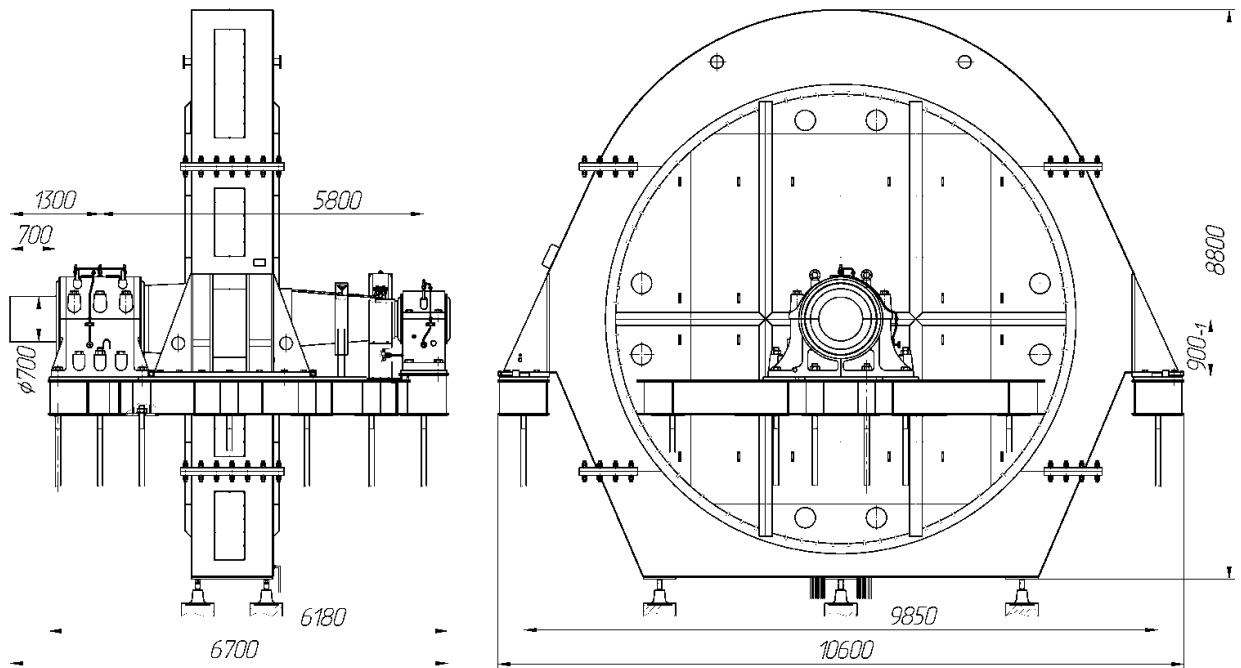


Рис. 1.6 Двигун СДМЗ 2-24-59-80

Двигуни розраховані на живлення від мережі змінного струму частотою 50Гц напругою 6000В або 10000В.

За способом монтажу ІМ7321 (ГОСТ 2479) двигун виконаний на фундаментних балках, з двома стояковими підшипниками ковзання, на піднятих лапах, з одним або двома циліндричними кінцями валу.

За кліматичним виконанням та категорією розміщення двигун відноситься до УХЛ4 (ГОСТ 15150). Ступінь захисту контактних кілець ІР 11 (ГОСТ 17494).

Пуск двигуна може бути асинхронний або прямий, від повної напруги мережі з включеним у коло обмотки збудження розрядного опору. Допускається два пуски підряд із холодного стану, також можливий один пуск із гарячого стану. Інтервал між пусками має бути не менше двох годин.

У двигуні передбачений контроль температури обмотки та сердечника статора, підшипників та води на вході та виході охолоджувачів. Обмотка статора має ізоляційні матеріали класу нагрівостійкості не нижче "F". Обмотка статора з'єднана в зірку. Виводи обмотки статора виведені у фундаментну яму.

Збудження двигуна здійснюється від тиристорного збуджувача із системою керування та автоматичним регулюванням струму збудження.

Охолодження двигуна СДМЗ 2 здійснюється в режимі примусової вентиляції по замкненому або розімкненому циклу. Повітроохолоджувач розташовується в напрямку фундаменту відповідно до виконання ІСW37А97.

Основні паспортні характеристики двигуна СДМЗ 2-24-59-80 приведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики двигуна СДМЗ 2-24-59-80

Параметри	Одиниці ви- міру	Значення
Потужність	кВт	4 000
Напруга живлення	В	6 000
Частота живлення	Гц	50
Виконання по монтажу	-	ІМ 7321
Виконання по охолодженню	-	ІСW37А97
Частота обертання	об/хв	75
Маса	кг	168 300

Висновки до розділу 1

В першому розділі було виконано опис основного електромеханічного обладнання, що забезпечує процес самоподрібнення в умовах гірничо-збагачувального комбінату.

В даному розділі викладено матеріали з описом різновидів самоподрібнення. Особливу увагу приділено способу мокрого самоподрібнення із використанням барабанних млинів. Зроблено детальний виклад матеріалу щодо конструктивних особливостей, основних вузлів та механізмів млина самоподрібнення ММС-90-30А, який використовується на дробильній фабриці підприємстві.

Виходячи із необхідного механічного навантаження на обертання барабану млина в робочому режимі виконано розрахунок потужності приводного двигуна. На основі потрібної потужності зроблено вибір та опис паспортних технічних характеристик приводного синхронного двигуна типу СДМЗ 2-24-59-80.

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 2. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОВНОГО ПРИВОДА МЛИНА

2.1 Математична модель синхронного двигуна

Головним приводом млина, як було обрано раніше, є синхронний двигун типу СДМЗ 2-24-59-80. Синхронний двигун є складним електромеханічним об'єктом, аналіз якого можна виконати із використанням його математичної моделі.

Математичний опис синхронного двигуна, як правило, представляється у вигляді системи диференціальних рівнянь в системі координат $0dq$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1d}}{dt} &= U_{1d} - \frac{R_1 L_B}{\Delta} \psi_{1d} + \frac{R_1 L_0}{\Delta} \psi_{Bd} + \omega_0 \psi_{1q}; \\ \frac{d\psi_{1q}}{dt} &= U_{1q} - \frac{R_1 L_B}{\Delta} \psi_{1q} + \frac{R_1 L_0}{\Delta} \psi_{Bq} - \omega_0 \psi_{1d}; \\ \frac{d\psi_B}{dt} &= U_B - \frac{R_B L_1}{\Delta} \psi_B + \frac{R_B L_0}{\Delta} \psi_{1d}; \\ J \frac{d\omega}{dt} &= \frac{m_1 Z_{\Pi}}{2} \operatorname{Im}\{\bar{\psi}_1^* \bar{I}_1\} - M_c, \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де R_1 і R_3 – активні опори обмотки статора та обмотки збудження; U_1 і U_3 – напруги статора (фазна) та обмотки збудження, відповідно; L_1 та L_3 – власні індуктивності еквівалентної обмотки статора та обмотки збудження; L_0 - взаємна індуктивність; ψ_{1d} та ψ_{1q} – проєкції потокозчеплення на відповідні осі; ψ_3 - потокозчеплення, що створюється обмоткою збудження; $\Delta = L_1 L_3 - L_0^2$; $\bar{\psi}_1^*$ - сполучений вектор потокозчеплення статора; I_1 – вектор струму статора; J – приведений до валу електродвигуна момент інерції; M_c – момент сил опору; m_1 і Z_{Π} – числа фаз та пар полюсів статора двигуна; ω_0 та ω - швидкості обертання магнітного поля статора та ротора, відповідно.

Рівняння, що показують зв'язок векторів струмів в ортогональній системі координат із фазними струмами:

$$\left\{ \begin{aligned} i_d &= \frac{3}{2} \left[i_A \cos \gamma + i_B \cos \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) + i_C \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) \right]; \\ i_q &= \frac{3}{2} \left[i_A \sin \gamma + i_B \sin \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) + i_C \sin \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) \right]. \end{aligned} \right. \quad (2.2)$$

Аналогічні рівняння перетворення також справедливі для напруг та потокозчеплень.

Електромагнітний момент двигуна можна визначити за відповідним виразом:

$$M = \frac{3}{2} p (\psi_d i_q - \psi_q i_d); \quad (2.3)$$

Еквівалентне електричне коло, що зображає математичну модель синхронного двигуна в осях $0dq$ показано на рис. 2.1

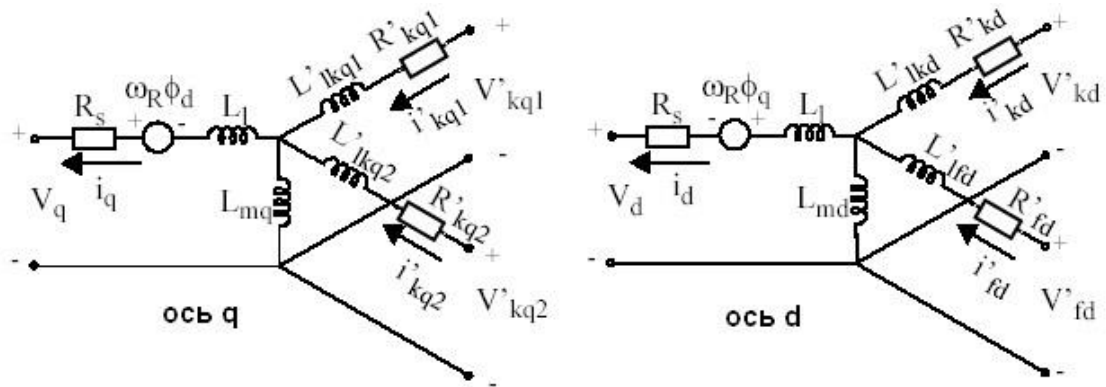


Рис. 2.1 – Еквівалентне коло синхронного двигуна

2.2 Розрахунок параметрів синхронного двигуна

Основні параметри математичної моделі обраного синхронного двигуна розраховуються відповідно до наступних виразів:

- номінальна кутова частота обертання:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 75}{30} = 7,85 \text{ рад/с} \quad (2.4)$$

- повна номінальна потужність:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4000 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,95} = 4,68 \cdot 10^6 \text{ кВА}; \quad (2.5)$$

- номінальний струм статора двигуна:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4,68 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 450,17 \text{ А}; \quad (2.6)$$

- базисний опір двигуна:

$$Z_{б} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{ном}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 450,17} = 7,69; \quad (2.7)$$

- електромагнітний момент на валу двигуна:

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{n_{НОМ} \cdot \frac{3,14}{30}} = \frac{4000 \cdot 10^3}{75 \cdot \frac{3,14}{30}} = 512820 \text{ Нм}; \quad (2.8)$$

- індуктивний опір:

$$X_C = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \lambda_i \cdot I_{НОМ}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 450,17} = 1,28 \text{ Ом}; \quad (2.9)$$

- активний опір статорної обмотки:

$$R = \frac{0,25 \cdot P_{НОМ} \cdot (1-\eta)}{3 \cdot I_{НОМ}^2} = \frac{0,25 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot (1-0,95)}{3 \cdot 450,17^2} = 0,08 \text{ Ом}; \quad (2.10)$$

- опір роторної обмотки збудження:

$$R_{ром} = \frac{U_{зб}}{I_{зб}} = \frac{75}{320} = 0,23 \text{ Ом}; \quad (2.11)$$

- противо-ЕРС:

$$E_f = \frac{\frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}} - I_{НОМ} \cdot R}{\cos \varphi} = \frac{\frac{6000}{\sqrt{3}} - 450,17 \cdot 0,23}{0,9} = 3734 \text{ В}. \quad (2.12)$$

2.3 Реалізація математичної моделі двигуна в середовищі Simulink MatLab

З метою спрощення реалізації математичної моделі двигуна була використана модель з бібліотеки SimPower в середовищі Simulink MatLab (рис. 2.2).

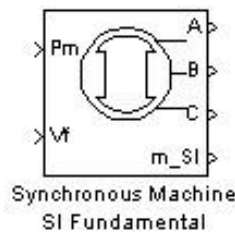


Рис. 2.2 - Математична модель двигуна в середовищі Simulink MatLab

Параметри, які були використані в блоці математичної моделі синхронного двигуна показані на рисунку 2.3.

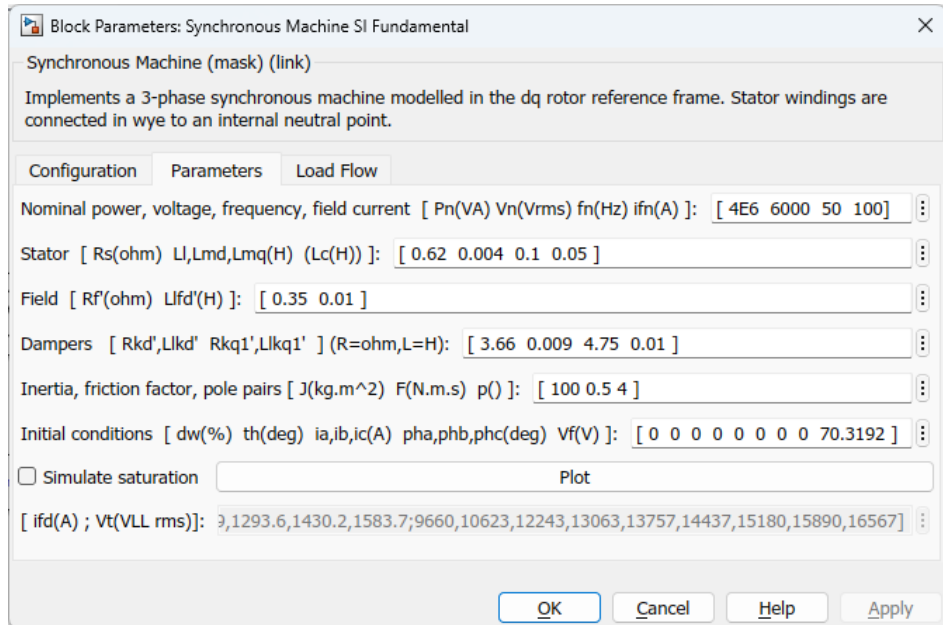


Рис. 2.3 - Параметри математичної моделі двигуна

Структурна схема повної математичної моделі в середовищі Simulink MatLab для дослідження електромеханічних характеристик синхронного двигуна головного привода млина наведена на рисунку 2.4.

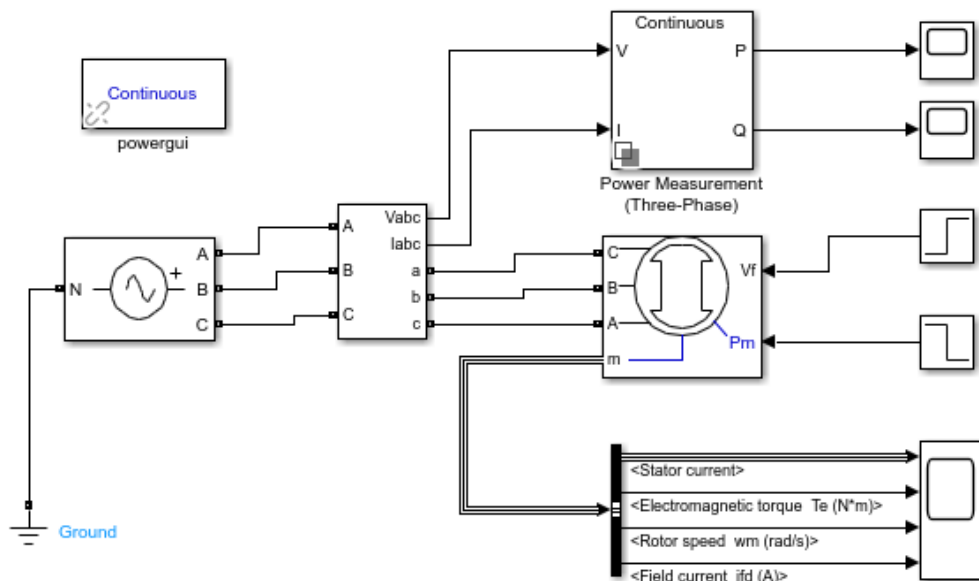


Рис. 2.4 - Математична модель для дослідження синхронного двигуна в середовищі Simulink MatLab

Окрім власне моделі синхронного двигуна структурна схема моделі містить блок живлення *Three-Phase Programmable Voltage Source*, який представляє собою мережу напругою 6000 В. Джерело з'єднано в зірку, має глухозаземлену нейтраль. Для спрощення моделі внутрішні опори джерела не задаються.

Вимірювання основних електричних параметрів при роботі схеми виконується блоком *Three-Phase V-I Measurement*. Цей блок слугує для вимірювання фазних напруг та струмів трифазної мережі живлення синхронного двигуна.

Функції вимірювання також виконує блок *Power Measurement (Three-Phase)*, який реєструє миттєві значення активної та реактивної потужності, що споживаються двигуном.

Реєстрація усіх необхідних параметрів роботи двигуна у вигляді графіків виконується за допомогою блоку *Scope*.

Для дослідження розробленої математичної моделі привода млина виконано математичний експеримент перехідного процесу запуску двигуна. На рисунку 2.5 показано результати прямого пуску двигуна без навантаження. Запуск здійснювався в асинхронному режимі. На рисунку приведені діаграми статорного струму, кутової частоти обертання ротора, електромагнітного моменту та струму збудження.

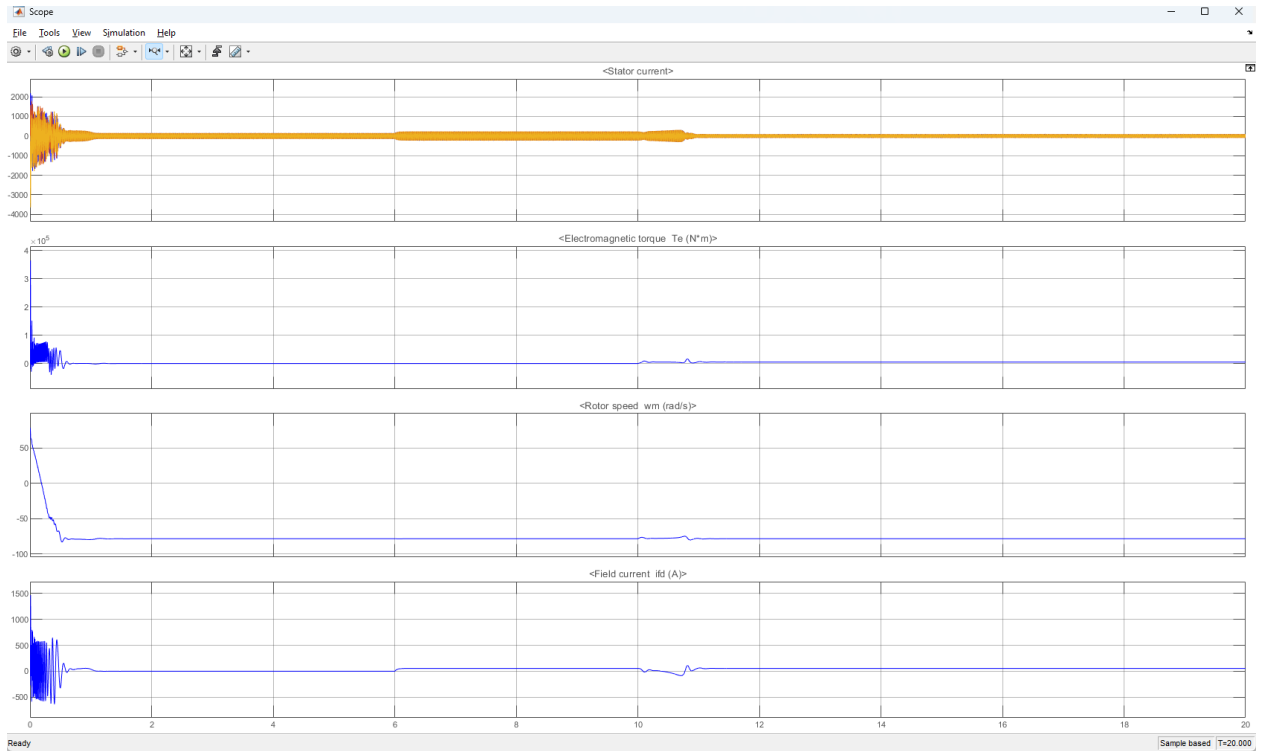


Рис. 2.5 – Перехідний процес асинхронного пуску двигуна

На рисунку 2.6 зображені діаграми основних параметрів синхронного двигуна в процесі входу двигуна в синхронізм по мірі його розгону. В момент часу 6,0 с було ввімкнено обмотку збудження двигуна.

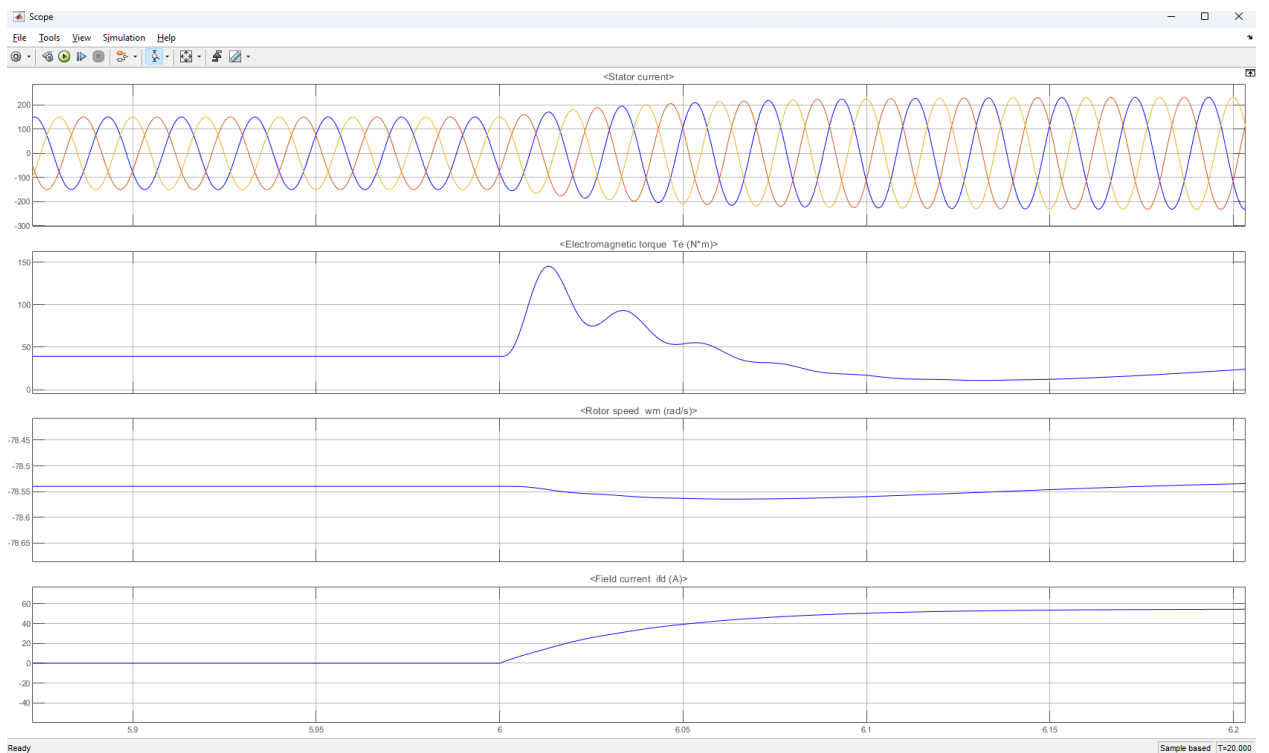


Рис. 2.6 – Перехідний процес входу двигуна в синхронну швидкість

На рисунку 2.7 зображені діаграми основних параметрів синхронного двигуна під час введення навантаження на вал двигуна в момент часу 10,0 с.

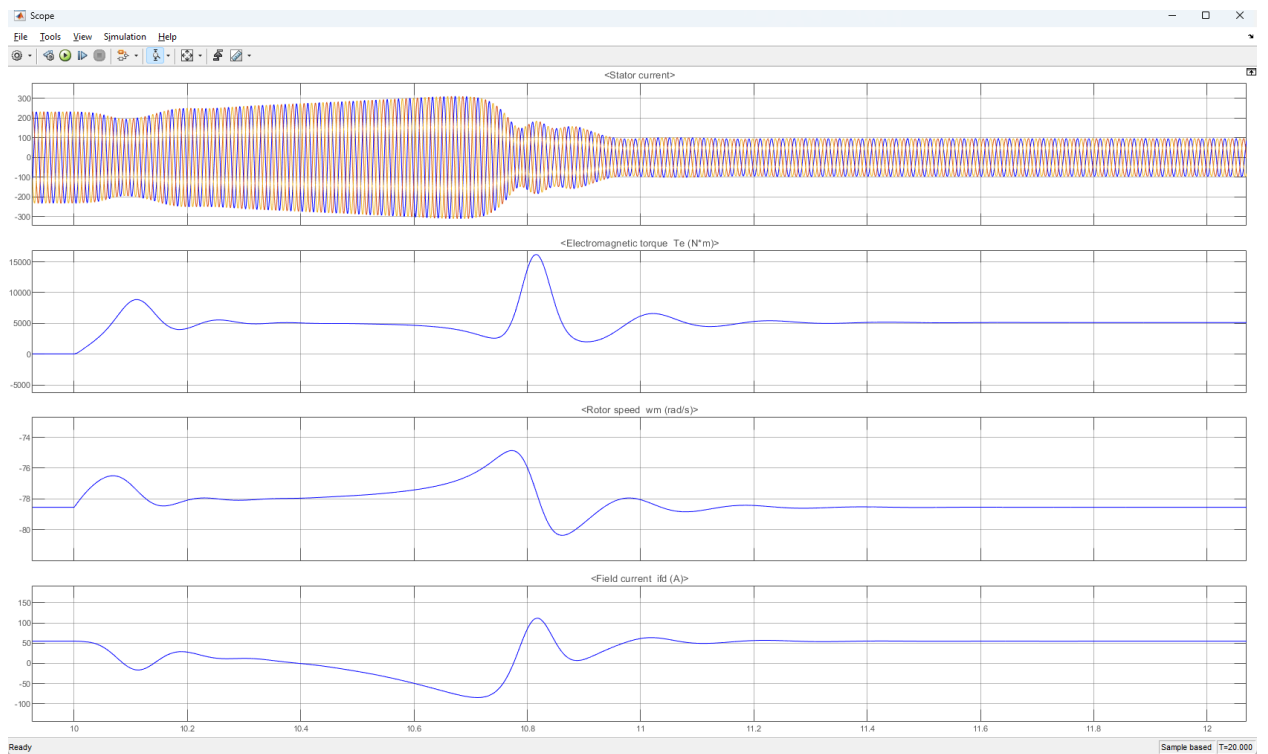


Рис. 2.7 – Введення навантаження на валу двигуна

Графіки активної та реактивної потужності споживання двигуна під час його запуску показані на рисунках 2.8 та 2.9 відповідно.

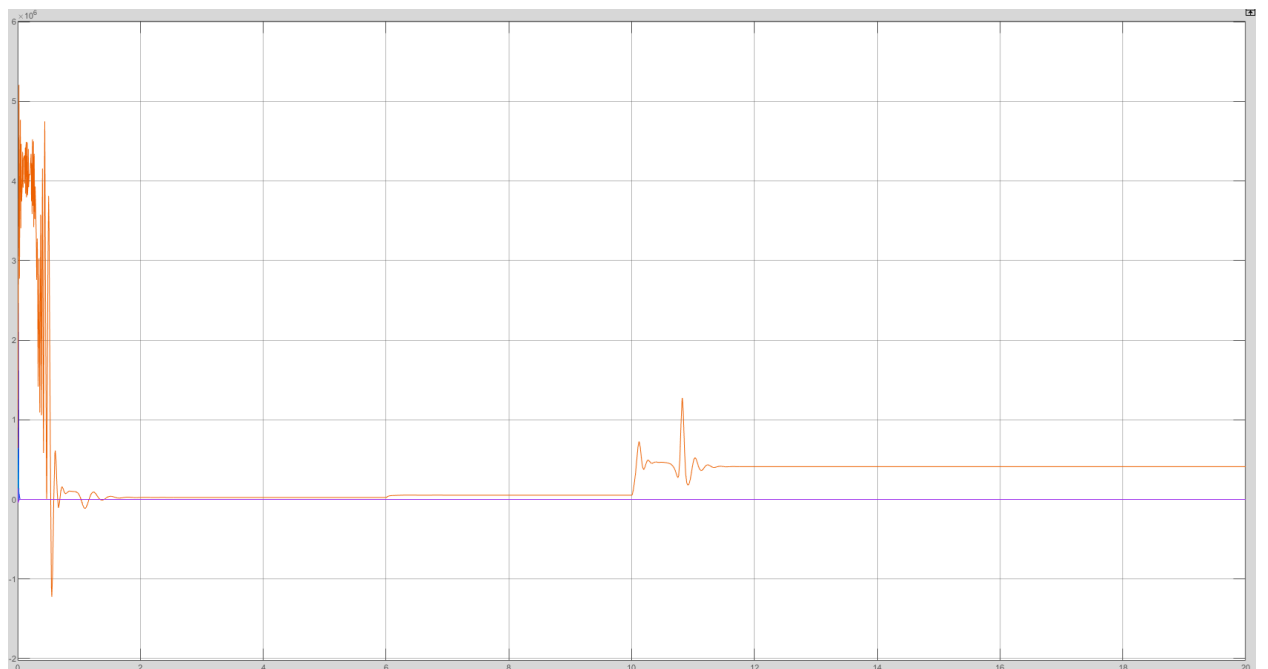


Рис. 2.8 – Активна потужність двигуна

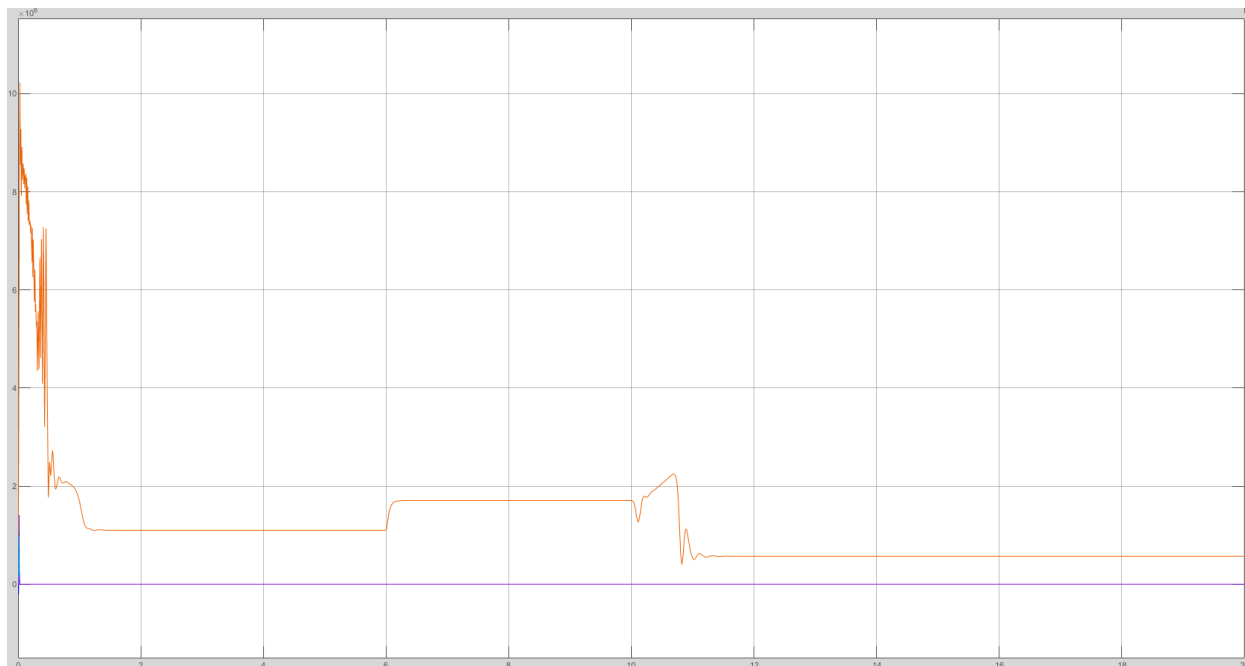


Рис. 2.9 – Реактивна потужність двигуна

Аналізуючи отримані графіки під час перехідного процесу запуску двигуна, можна зробити висновок, що розроблена математична модель відповідає теоретичному опису синхронного двигуна. Отримані значення електромагнітного моменту, струмів, кутової частоти обертання відповідають паспортним значенням двигуна СДМЗ 2-24-59-80. Загальний час перехідного процесу запуску двигуна склав приблизно 1,5 с.

2.4 Розрахунок енергетичної характеристики двигуна

Компенсація реактивної потужності та підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств, в результаті має велике значення промислового рівня і є частиною загальної проблеми підвищення ККД роботи систем електропостачання й поліпшення якості електроенергії, що відпускається споживачеві.

Потужний синхронний привод млина здатний виступати в якості джерела реактивної енергії в певних режимах роботи.

Використовуючи математичну модель в середовищі Simulink MatLab, була побудована енергетична характеристика двигуна у вигляді залежності коефіцієнту потужності від струму збудження (рис. 2.10). Методика побудови такої характеристики була реалізована шляхом встановлення фіксованих значень струму збудження в діапазоні 260-380 А, та реєстрації значень активної та реактивної потужності. Навантаження двигуна при цьому залишається фіксованим, що є важливою умовою. Отримані значення використані для обчислення коефіцієнту потужності.

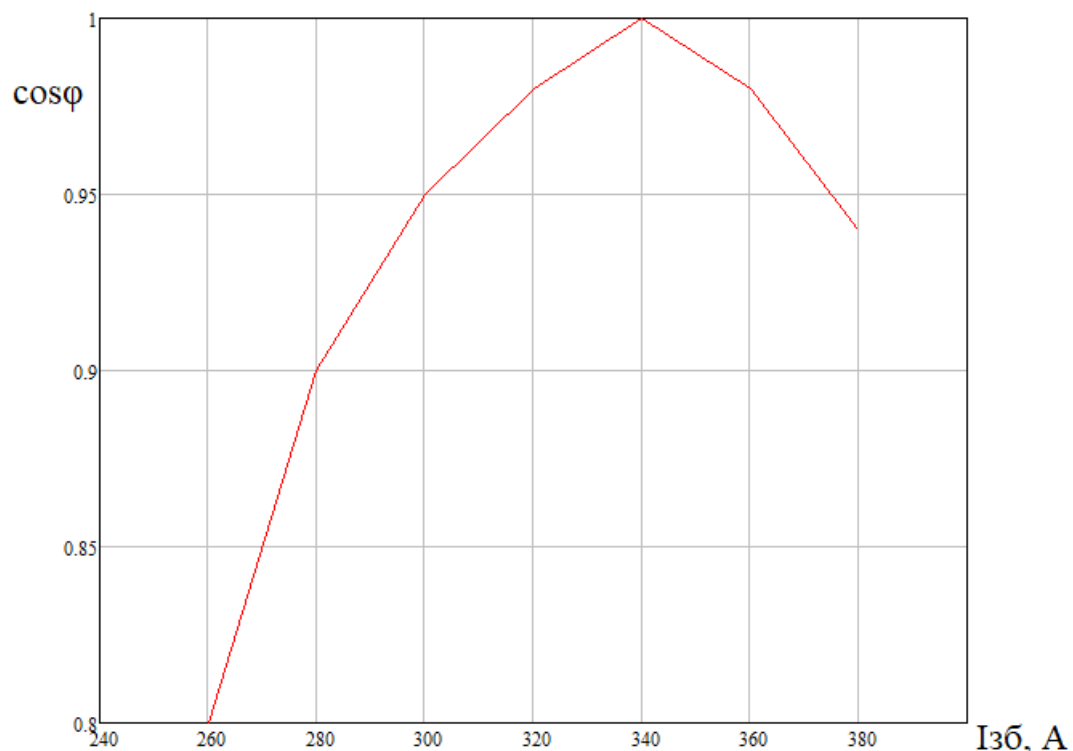


Рис. 2.10 – Залежність коефіцієнту потужності двигуна від струму збудження

Отримана характеристика доводить можливість використання синхронного двигуна з метою компенсації реактивної потужності в мережі підприємства.

2.5 Вибір тиристорного збуджувача синхронного двигуна

Система управління синхронним двигуном великої потужності базується на керуванні струмом збудження двигуна. Ефективне керування збудженням

двигуна може бути реалізоване із застосуванням сучасного тиристорного збуджувача, який здатний забезпечити всі необхідні умови управління, захисту, надійності тощо.

Основою умовою для вибору збуджувача синхронного двигуна є забезпечення потрібного струму збудження, який для обраного двигуна становить 320 А. Так, для керування збудженням високовольтного двигуна великої потужності може бути обраний збуджувач серії ВТЕ ЕСО з номінальним струмом до 400 А. Загальний вигляд шафи збуджувача показано на рисунку 2.11.



Рис. 2.11 – Збуджувач серії ВТЕ ЕСО

Збуджувачі серії ВТЕ ЕСО є статичними тиристорними швидкодіючими системами збудження (далі СЗ), що володіють низьким споживанням реактивної потужності. До основних переваг збуджувачів серії ВТЕ ЕСО можна віднести:

- високий коефіцієнт потужності (низьке споживання реактивної потужності), що досягається за рахунок застосування подвійного випрямляючого моста;
- рівень пульсацій вихідної напруги в 3-5 разів нижчий порівняно зі стандартним збуджувачем (з одним випрямляючим мостом), що сприяє

- зменшенню індукційного нагріву ротора від гармонік струму та зменшенню ймовірності пробоя ізоляції ротора;
- функція гарячого резервування випрямного мосту на час не менше 20 хвилин, якого достатньо для переходу на резервний агрегат або штатної зупинки механізму. Опціонально доступна функція тривалого гарячого резервування випрямного моста;
 - ступінь захисту IP54;
 - природне повітряне охолодження;
 - сенсорний кольоровий дисплей 7", з веденням журналу подій та осцилографуванням основних параметрів;
 - відображення стану комутаційної апаратури на кольоровій мнемосхемі;

Основні технічні характеристики збуджувача:

- тип: ВТЕ ЕСО-400/75;
- номінальний вихідний струм, А: 400;
- номінальна вихідна напруга, В: 75;
- кратність форсування за напругою: 1,75;
- схема випрямлення: два трифазні мостові випрямлячі;
- напруга мережі живлення: трифазна, 380 В;
- частота мережі живлення: 50 Гц.

Силова схема збуджувача зображена на рисунку 2.12. Перетворювальна частина складається із двох трифазних мостових випрямлячів (схема Ларіонова), підключених до навантаження паралельно. Управління випрямлячами роздільне. Як силові напівпровідникові прилади використовуються безпотенційні тиристорні модулі, закріплені на плиті охолоджувача. Відведення тепла від охолоджувача – шляхом природної конвекції.

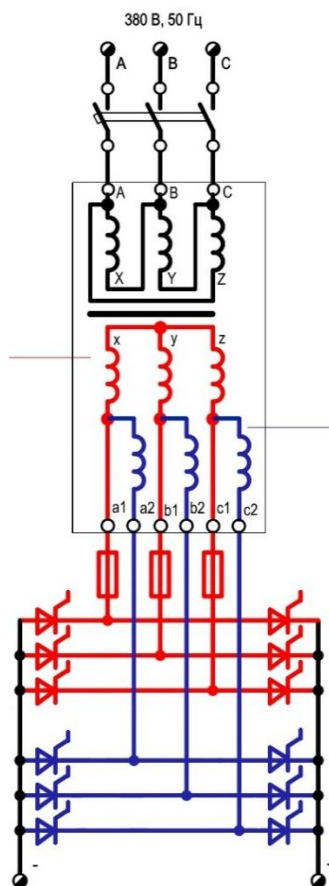


Рис. 2.12 – Силова схема збуджувача

Живлення мостів здійснюється від трифазної мережі 380 за допомогою спеціального перетворювального трансформатора. Трансформатор має дві вторинні (вентильні) обмотки – робочу та форсувальну, з'єднані послідовно. Вторинна обмотка з підключеними до неї мостами утворюють робочу та форсувальну групи.

Живлення кожного моста забезпечується від окремої групи вторинної обмотки. Напряга живлення кожної групи розрахована таким чином, щоб при номінальній вихідній напрузі, кут управління був оптимальний з точки зору забезпечення найкращих енергетичних характеристик.

Форсування вихідної напруги забезпечується не глибоким зниженням кута управління, а переходом на групу форсування.

Внаслідок відсутності зарегульованого режиму ВТЕ ЕСО під час роботи з номінальними вихідними параметрами, має рівень пульсацій вихідної напруги в 3-5 разів нижчий порівняно зі стандартним збуджувачем. Це сприяє

зменшенню індукційного нагріву ротора від гармонік струму та зменшенню ймовірності пробією ізоляції ротора.

В збуджувачі ВТЕ ЕСОPOWER реалізовано ефективну систему захисту від можливих аварійних режимів, що поєднує швидкодіючу мікропроцесорну систему та апаратні засоби – автоматичний вимикач на вході трансформатора та швидкодіючі плавкі запобіжники у фазах на вході моста робочої групи.

Збуджувач має функцію резервування робочої групи при виникненні несправності в роботі шляхом перемикання на групу форсування. Перехід здійснюється автоматично при виявленні системою несправності.

Резервування на групі форсування допустимо тимчасово щонайменше 20 хвилин, якого достатньо переходу на резервний агрегат, чи штатної зупинки механізму. Опціонально доступна функція тривалого гарячого резервування випрямного моста.

Основні функції збуджувача:

- Способи пуску двигуна:
 - прямий пуск двигуна з подачею збудження функції струму статора і в функції ковзання;
 - реакторний важкий пуск двигуна з подачею збудження після включення шунтуючого вимикача;
 - реакторний легкий пуск двигуна з подачею збудження на реакторній стадії пуску до включення шунтуючого вимикача;
 - пуск із ПЧ з управління струмом збудження каналом «4-20мА» від ПЧ;
 - пуск із УПП;
 - включення в мережу методом точної синхронізації в генераторному режимі двигуна з допоміжним приводом;
- Ручний, автоматичний та ударний автоматичний режими роботи;
- Регулювання в ручному режимі – струму збудження;
- Регулювання в автоматичному режимі одного з параметрів:

- реактивної потужності двигуна - для компенсації реактивної потужності суміжного обладнання при її відносно постійному рівні;
- напруги двигуна – для стабілізації напруги живильної двигун мережі;
- COS (φ) двигуна – підвищення стійкості двигунів зі змінним навантаженням;
- реактивної потужності у віддаленому вузлі навантаження - для компенсації реактивної потужності на введенні ділянки, цеху, підстанції при її змінному рівні;
- Спосіб переходу при зміні режиму регулювання:
 - безударний перехід;
 - перехід на задану уставку.
- регулювання в ударному автоматичному режимі:
 - у паузах між навантаженнями – головного параметра обраного автоматичного режиму;
 - в момент появи навантаження - форсування збудження із заданим рівнем - для підвищення стійкості двигунів з різко змінним навантаженням;
- Випробування збуджувача перед пуском:
 - автоматична перевірка чергування фаз вхідної силової напруги;
 - перевірка цілісності кола пускового опору;
 - струмова перевірка збуджувача та кола збудження;
 - перевірка опору ізоляції кіл ротора з індикацією поточного опору;
- Точність регулювання:
 - напруга двигуна - 0.2%;
 - реактивна потужність двигуна - 0.5%;
 - Cos(φ) двигуна – 0.5%;
 - струму збудження в ручному режимі - 0.5%

- Демпфування електромеханічних коливань ротора, забезпечення статичної та динамічної стійкості двигуна;
- Статизм (компаундування) регулювання по повному та реактивному струму двигуна;
- Форсування збудження;
- Режим динамічного (електричного) гальмування;
- Режим ресинхронізації при режимах АВР, АПВ живлення двигуна;
- Облік спожитої активної енергії, спожитої індуктивної та ємнісної реактивної енергії від моменту пуску до моменту зупинки двигуна та за весь період експлуатації СВ;
- Функція введення пароля зміни параметрів.

Висновки до розділу 2

У другому розділі наведено опис математичної моделі синхронного двигуна головного привода млина самоподрібнення ММС-90-30А, в основі якої лежить перетворення електричних величин до проекцій на вісі ортогональної системи координат Odq . Математична модель реалізована за допомогою вбудованої бібліотеки SimPower в середовищі Simulink MatLab. Для дослідження синхронного двигуна модель була доповнена вимірювальними та реєструючими приладами.

Із використанням математичної моделі було розраховано перехідні процеси запуску двигуна в асинхронному режимі. На основі математичної моделі виконано побудову енергетичної характеристики двигуна у вигляді коефіцієнту потужності $\cos\varphi=f(I_{3\phi})$.

З метою забезпечення регульовальних можливостей синхронного двигуна в автоматизованому режимі було обрано тиристорний збуджувач, від якого живиться обмотка збудження двигуна.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Електропостачання дробильної фабрики

Електропостачання дробильної фабрики №1 в Північного гірничо-збагачувального комбінату здійснюється від підстанції з напругою 32 кВ, що містить дві секції. Аналізуючи схему електропостачання дробильної фабрики, складаємо таблицю ключових споживачів електроенергії по стороні 6,0 кВ. Паспортні потужності основних споживачів зазначені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Список споживачів електроенергії для дробильної фабрики №1

Найменування споживачів	Кількість, шт	Номінальна потужність споживача $P_{ном}$, кВт	Сумарна активна потужність ΣP , кВт	Сумарна реактивна потужність ΣQ , кВАр	Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	Сумарна повна потужність $\Sigma S_{ном}$, кВА	Коефіцієнт попиту Кп	Приведена повна потужність споживачів S, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Млин ММС-90-30А	8	4000	3200	0	0,0	1,0	32 000	0,95	30400
Трансформатор ТМ 1000/6-0,4	2	2000	1960	40,0	0,9	8	2000	0,80	1600
Конвеєр	8	350	2800	616,0	0,7	8	2867	0,88	2523
Насос	10	200	2000	360,0	0,8	2	2032	0,75	1524
Сума:			3876	0	1016		38899		36047

Розрахункові значення встановленої активної потужності становить:

$$P_{\text{вст}} = \sum P_{\text{ном}} = 38760 \text{ кВт} \quad (3.1)$$

Розрахункові значення встановленої реактивної потужності становить:

$$Q_{\text{вст}} = \sum Q_{\text{ном}} = 1016 \text{ кВАр} \quad (3.2)$$

Повна потужність споживачів з урахуванням коефіцієнту попиту обладнання:

$$S = \sum S_{\text{вст}} K_n = 36047 \text{ кВА} \quad (3.3)$$

3.2 Розрахунок потужності силових трансформаторів

Дробильна фабрика гірничо-збагачувального комбінату є важливим технологічним об'єктом, який має постійно бути забезпечений електроенергією для безперервної роботи. Зважаючи на це необхідно застосувати схему живлення з двома силовими трансформаторами.

Коефіцієнт завантаження трансформатора приймається значенням $\beta = 0,6$. В результаті потужність одного силового трансформатора, що необхідна для забезпечення всіх споживачів становить:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S}{2 \cdot \beta} = \frac{36\,047}{2 \cdot 0,6} = 30\,039 \text{ кВА} \quad (3.4)$$

Розраховане значення потрібної потужності береться за базове, в результаті чого обираємо для використання масляні трансформатори типу ТРДН-32000/35 потужністю по 32 000 кВА. Паспортні характеристики силового трансформатора наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Паспортні характеристики силового масляного трансформатора напругою 32/6 кВ

Тип	ТРДНС-32000/35/6
Номінальна потужність $S_{\text{ном}}$, кВА	32 000
Напруга високої сторони $U_{\text{вн}}$, кВ	36,75
Напруга низької сторони $U_{\text{нн}}$, кВ	6,3
Втрати потужності холостого ходу $P_{\text{хх}}$, кВт	30,0

Втрати потужності короткого замикання $P_{кз}$, кВт	145
Напруга короткого замикання $U_{кз}$, %	11,5
Струм холостого ходу $I_{хх}$, %	0,45
Схема та група з'єднання обмоток	Д/Д-Д-0-0 УН/Д-Д-11-11 Д/Д-Д-0-0

Щоб забезпечити споживачів напругою рівня 0,4 кВ, які присутні на дробильній фабриці, обираємо два масляні трансформатори типу ТМ-1000/6/0,4. Паспортні характеристики обраного трансформатора наведені в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 – Паспортні характеристики масляного трансформатора напругою 6/0,4 кВ

Тип	ТМ-1000/6/0,4
Номінальна потужність $S_{ном}$, кВА	1 000
Напруга високої сторони $U_{вн}$, кВ	6,3
Напруга низької сторони $U_{нн}$, кВ	0,4
Напруга короткого замикання $U_{кз}$, %	5,5
Втрати потужності КЗ $P_{кз}$, Вт	10 800
Втрати потужності ХХ $P_{хх}$, Вт	2000
Струм холостого ходу $I_{хх}$, %	1,2
Частота, Гц	50
Клас нагрівостійкості ізоляції	Н

Зображення трансформатора з позначенням установочних та габаритних розмірів наведено на рисунку 3.1.

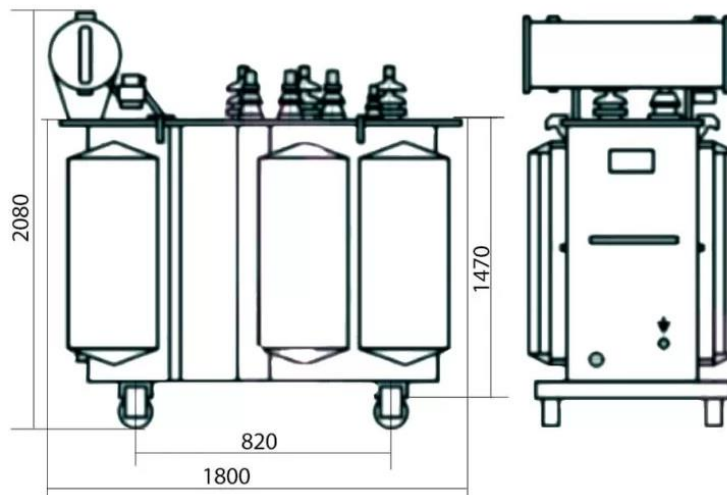


Рис. 3.1 – Трансформатор ТМ-1000/6/0,4

Корпус трансформатора ТМ-1000/6/0,4 обладнаний сталевими пластинами по периметру для покращення тепловідведення. Рама укомплектована коліщатами, що полегшує переміщення важкої конструкції трансформатора при підключенні.

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання

Для того щоб розрахувати струми короткого замикання складемо однолінійну схему живлення споживачів від шин підстанції до точок короткого замикання по ланці 32-6,0-0,4 кВ (рис. 3.2). У схемі розрахунку струмів короткого замикання присутні трансформатори та основні лінії живлення.

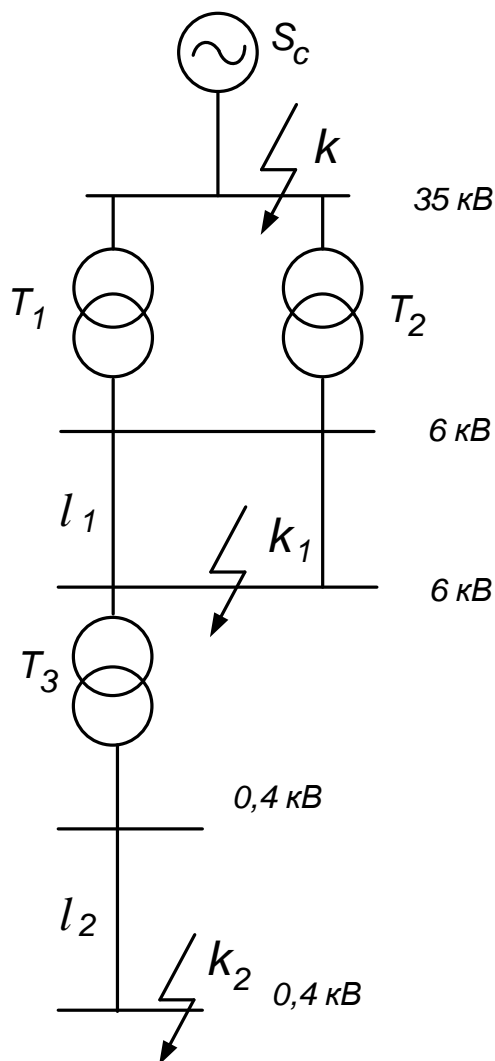


Рис. 3.2 –Схема розрахунку струмів короткого замикання

Приймаючи значення базової потужності системи електропостачання S_0 на рівні 100 МВА, розраховуємо струм короткого замикання на стороні 35 кВ (на шинах підстанції):

$$I_k = \frac{S_0}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 1,57 \text{ кА.} \quad (3.5)$$

Реактивний опір системи:

$$X_c = \frac{1,05 \cdot U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{1,05 \cdot 6,3}{\sqrt{3} \cdot 1,57} = 2,43 \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

Опір трансформатора Т1 зі сторони напруги 35 кВ розраховується наступним чином:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{вн}}^2}{100 \cdot S_{\text{трном}}} = \frac{11,5 \cdot 36,75^2}{100 \cdot 32} = 4,85 \text{ Ом.} \quad (3.7)$$

де $S_{\text{трном}}$ – номінальна паспортна потужність трансформатора, МВА.

Так як трансформатори працюють паралельно, то сумарний опір трансформаторів становить:

$$X'_{\text{тр}} = \frac{X_{\text{тр}}}{2} = \frac{4,85}{2} = 2,42 \text{ Ом.} \quad (3.8)$$

Опір кабельної лінії напругою 6 кВ на ділянці від підстанції до головного привода млина:

$$X_1 = X_{01} \cdot l_1 = 0,1 \cdot 0,75 = 0,075 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

де X_{01} – реактивний опір 1 км кабельної лінії напругою 6 кВ, Ом/км.

Так як живлення секції млинів від шин підстанції здійснюється двома кабельними лініями, то загальний опір ділянки лінії становить:

$$X'_1 = \frac{X_1}{2} = \frac{0,75}{2} = 0,04 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Опір кабельної ділянки напругою 0,4 кВ від трансформатора ТМ-1000/6/0,4 до живлення споживачів становить:

$$X_2 = X_{02} \cdot l_2 = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

де X_{02} – опір реактивний 1 км кабельної лінії напругою 0,4 кВ, Ом/км.

Загальний опір до точки короткого замикання K_1 можна розрахувати за формулою:

$$X_{K1} = (X_c + X'_{\text{тр}}) \frac{U_{\text{нн}}^2}{U_{\text{вн}}^2} + X'_1 = (2,43 + 2,42) \cdot \frac{6,3^2}{36,75^2} + 0,04 = 0,183 \text{ Ом} \quad (3.12)$$

Опір знижувального трансформатора напругою 6/0,4 кВ зі сторони високої напруги:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{вн}}^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{5,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 1,0} = 2,18 \text{ Ом} \quad (3.13)$$

Загальний опір до точки короткого замикання K_2 можна розрахувати за формулою:

$$X_{K2} = (X_{K1} + X_{\text{тр}}) \frac{U_{\text{нн}}^2}{U_{\text{вн}}^2} + X_2 = (0,183 + 2,18) \frac{0,4^2}{6,3^2} + 0,05 = 0,06 \text{ Ом} \quad (3.14)$$

Струм короткого замикання та ударний струм у точці K_1 розраховуються відповідним чином:

$$I_{K1} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot X_{K1}} = \frac{1,05 \cdot 6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,183} = 20,8 \text{ кА} \quad (3.15)$$

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{K1} = 2,55 \cdot 20,8 = 53,04 \text{ кА} \quad (3.16)$$

$$I_{y1} = 1,52 \cdot I_{K1} = 1,52 \cdot 20,8 = 31,6 \text{ кА} \quad (3.17)$$

Струм короткого замикання та ударний струм у точці K_2 розраховуються відповідним чином:

$$I_{K2} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot X_{K2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,06} = 4,04 \text{ кА} \quad (3.18)$$

$$i_{y2} = 2,55 \cdot I_{K2} = 2,55 \cdot 4,04 = 10,3 \text{ кА} \quad (3.19)$$

$$I_{y2} = 1,52 \cdot I_{K2} = 1,52 \cdot 4,04 = 6,14 \text{ кА} \quad (3.20)$$

Повна потужність в точках короткого замикання K_1 та K_2 відповідно становлять:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot I_{K1} \cdot U_{\text{ВН}} = \sqrt{3} \cdot 20,8 \cdot 6,3 = 227 \text{ МВА} \quad (3.21)$$

$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot I_{K2} \cdot U_{\text{НН}} = \sqrt{3} \cdot 4,04 \cdot 0,4 = 2,8 \text{ МВА} \quad (3.22)$$

3.4 Розрахунок електропостачання та вибір апаратури у мережі 6 кВ

3.4.1 Кабельна лінія напругою 6 кВ

Розраховуємо номінальний струм, який створює повне навантаження :

$$I_{\text{розр}} = \frac{\sum S_{\text{н}}}{3 \cdot U_{\text{н}}} = \frac{36047}{3 \cdot 6,3} = 1907,25 \text{ А} \quad (3.23)$$

де $\sum S_{\text{н}}$ – загальна встановлена потужність споживачів навантаження у межах фабрики.

Живлення споживачів здійснюється двома паралельними кабельними лініями, тому один кабель має номінальний струм на рівні:

$$I'_{\text{розр}} = \frac{I_{\text{розр}}}{2} = \frac{1907,25}{2} = 953,62 \text{ А} \quad (3.24)$$

Кабель обирається по величині розрахункового струму. За максимальним струмовим навантаженням необхідно обрати алюмінієвий кабель типу ААБл3х240, для якого:

$$I_{\text{доп}} = 980 \text{ А} > I'_{\text{розр}} = 953,62 \text{ А} \quad (3.25)$$

Для обраного кабелю визначаємо втрати напруги у кабелі:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I'_{\text{розр}} \cdot l_1 \cdot Z_0}{U_H} = \frac{\sqrt{3} \cdot 953,62 \cdot 0,75 \cdot 0,154}{6300} \cdot 100\% = 3\% \quad (3.26)$$

де Z_0 – повний опір 1 км кабелю, Ом.

Так як $\Delta U = 3\%$ не перевищує значення 5% , то можна стверджувати, що обраний кабель ААБл 3х240 може бути застосований для живлення навантаження дробильної фабрики.

3.4.2 Визначення необхідних вимірювальних трансформаторів

1. Трансформатор напруги

Для того, щоб обрати трансформатор напруги, необхідно врахувати номінальну напругу роботи його первинної обмотки, яка в даному випадку рівна 6 кВ. Даній умові відповідає вимірювальний трансформатор типу НТМК-6У4, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики вимірювального трансформатору напруги

Тип	НТМК-6У4
Номінальна напруга первинної обмотки U_{1H}	6000 В
Номінальна напруга вторинної обмотки U_{2H}	100 В
Схема з'єднання обмоток	Y/Y _H – 0
Максимальна потужність $S_{\text{макс}}$	640 ВА
Номінальна потужність дорівнює $S_{\text{ном}}$	75 ВА;
у класі точності	0,5

Вторинна обмотка трансформатора напруги допускає підключення наступних приладів: ватметр, лічильник електричної енергії, лічильник реактивної енергії, фазометр, реле напруги. Загальний вигляд трансформатора напруги наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3 – Трансформатор напруги НТМК-6У4

2. Трансформатор струму

Трансформатор струму обирається в першу чергу з огляду на номінальний струм навантаження. Також при виборі трансформатора струму необхідно враховувати клас точності та його виконання, що важливо при монтажних роботах.

Обраний трансформатор струму повинен бути також перевірений на термічну та динамічну стійкість струмам короткого замикання. Які виникають в разі аварії.

Як було визначено раніше, розрахунковий номінальний струм становить:

$$I'_{\text{розр}} = 953,62 \text{ А}$$

Враховуючи потрібний номінальний струму обираємо з ряду стандартних високовольтних трансформаторів струму такий, у якого значення струму з найближчим значенням струму переважає розрахунковий струм.

Трансформатор типу ТПОЛУ-10 1000/5 0,5s/10р відповідає поставленим умовам. Технічні характеристики обраного трансформатора струму наведені в таблиці 3.5.

Трансформатори струму ТПОЛУ-10 призначені для використання в комплектних розподільних пристроях. Використовуються для передачі сигналу вимірювальним приладам і пристроям захисту, автоматики та керування в установках змінного струму з напругою живлення 6 та 10 кВ частотою 50 Гц.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики трансформатора струму

Тип	ТПОЛУ-10 1000/5 0,5s/10р
Номинальна напруга, кВ	6,0
Максимальна робоча напруга, кВ	12,0
Номинальна частота, Гц	50
Номинальний струм первинної обмотки, А	1000
Номинальний струм вторинної обмотки, А	5
Клас точності для вимірювання	0,2
Кількість вторинних обмоток	3
Випробувальна напруга промислової частоти	
- первинної обмотки, кВ	42
- вторинної обмотки, кВ	3
Струм електродинамічної стійкості, кА	215
Струм термічної стійкості тривалістю 1 с, кА	86
Струм термічної стійкості тривалістю 3 с, кА	43
Опір ізоляції первинної обмотки, МОм	> 50
Опір ізоляції вторинної обмотки, МОм	> 1000

Загальний вигляд трансформатора струму ТПОЛУ-10 1000/5 0,5s/10р наведено на рис. 3.4.

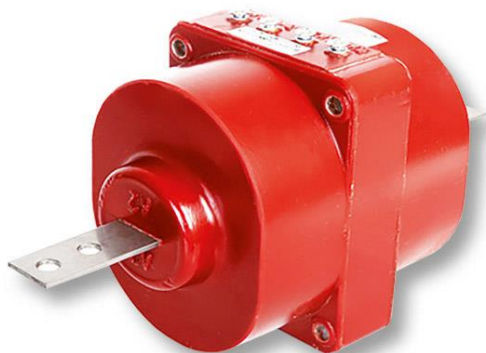


Рис. 3.4 – Трансформатор напруги ТПОЛУ-10

Трансформатор струму ТПОЛУ-10 1000/5 0,5s/10р має струм електродинамічної стійкості на рівні 215 кА, який перевищує ударний струм короткого замикання $i_{y1} = 53,04$ кА.

Обраний трансформатор струму також необхідно перевірити на термічну стійкість струму короткого замикання:

$$I_{K1}^2 t_{\phi} = 20,8^2 \cdot 1 = 432,64 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.27)$$

При цьому термічна стійкість трансформатора ТПОЛУ-10 1000/5 0,5s/10р:

$$I_t^2 t_t = 86 \cdot 1 = 7396 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.28)$$

Це говорить про достатньо великий запас термічної стійкості. Отже, обраний трансформатор струму задовольняє всім необхідним умовам та може бути використаний до встановлення.

3.4.3 Розрахунок та вибір силового вимикача

Підключення навантаження здійснюється через автоматичний вимикач, який призначений для комутації та захисту обладнання. Для коректного вибору автоматичного вимикача потрібно врахувати номінальний струм, номінальну напругу, а також перевірити вимикач на стійкість струмам короткого замикання за критерієм динамічного та теплового навантаження.

Номінальний струм обраного вимикача має бути більшим, ніж номінальний розрахунковий струм навантаження $I_{розр} = 953,62$ А. З огляду на це обираємо автоматичний вимикач типу ВВ/ВЛ-12-25/1000 з номінальним струмом 1000 А. Технічна характеристика вимикача наведена в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристика автоматичного вимикача

Тип	ВВ/ВЛ-12-25/1000
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальна частота мережі, Гц	50
Номінальний струм, А	1000
Номінальний струм відключення (короткого замикання), кА	25
Струм термічної стійкості, кА/1 с	50
Власний час включення без навантаження, мс	<0,06
Власний час відключення, мс	<0,04
Механічна комутаційна стійкість, циклів	30 000

Електрична комутаційна стійкість, циклів	100
Номінальна напруга живлення кіл керування, В	220
Привод	електромагнітний
Виконання	викатне
Діапазон робочих температур, °С	-45 - +55
Маса, кг	80

Зовнішній вигляд вимикача із зазначенням розмірів представлений на рисунку 3.5.

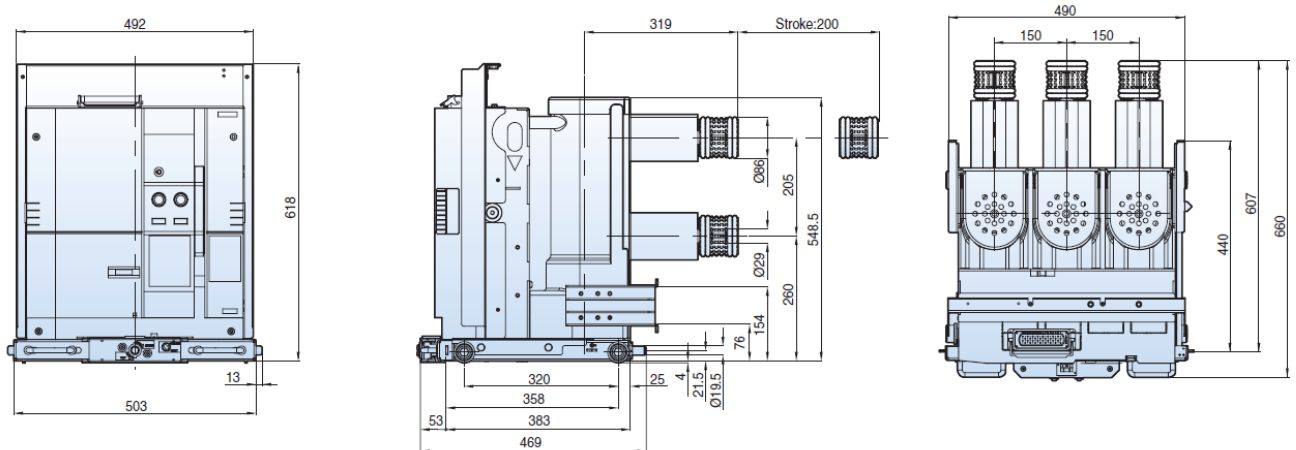


Рис. 3.5 – Вакуумний автоматичний вимикач BB/VL-12-25/1000

Обраний вимикач типу BB/VL-12-25/1000 призначений для комутації в нормальних та аварійних режимах електричних кіл трифазного змінного струму частотою 50/60 Гц з номінальною напругою до 10 кВ.

Необхідна термічна стійкість:

$$I_{K1}^2 t_{\phi} = 20,8^2 \cdot 3 = 1297,92 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.29)$$

Термічна стійкість обраного вимикача струмам короткого замикання:

$$I_t^2 t_t = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.30)$$

Отже можна зробити висновок, що обраний вимикач задовольняє вимогам термічної стійкості струмам короткого замикання.

3.4.4 Вибір комплектного розподільного пристрою

Вибір комплектного розподільного пристрою виконується для підключення головного привода млина самоподрібнення. Комплектний розподільний пристрій (КРП) слугує для прийняття та розподілення трифазного струму змінної частоти, а також для встановлення захисного та контрольно-вимірювального обладнання, яке біло обрано вище. Вибір та встановлення КРП залежить від номінального струму навантаження, при цьому також враховується номінальна напруга мережі. Номінальний розрахунковий струм навантаження був визначений раніше, який становить $I'_{\text{розр}} = 953,62 \text{ А}$.

Заданим умовам задовольняє високовольтний комплектний розподільний пристрій КУ10С(М), який призначений для використання на електричних підстанціях та в електроустановках промислових підприємств.

Розподільний пристрій КУ10С(М) являє собою набір окремих шаф з комутаційними апаратами та іншою високовольтною комплектуючою апаратурою, з приладами вимірювання, пристроями автоматики та захисту, а також апаратурою керування, сигналізації та іншими допоміжними пристроями. Шафи з'єднуються між собою відповідно до схеми електричної. Приєднання до зовнішньої мережі – кабельне або шинами.

Зображення розподільного пристрою КУ10С(М) наведено на рисунку 3.6. Розподільний пристрій розділений на три відсіки: А – релейний відсік; Б – відсік висувного елемента і трансформаторів струму; В – відсік збірних шин. На рисунку позначено: 1 – каркас; 2 – висувний елемент; 3 – заземлювач; 4 – контакт; 5 – кабельне розділення; 6 – обмежувач перенапруги; 7 – трансформатор нульової послідовності; 8 – шина заземлення нейтральна; 9 – трансформатор струму; 10 – втулка; 11 – механізм шторний; 12 – шини збірні; 13 – ізолятор; 14 – відпайки збірних шин; 15 – трансформатор напруги; 16 – клапани; 17 – дверцята.

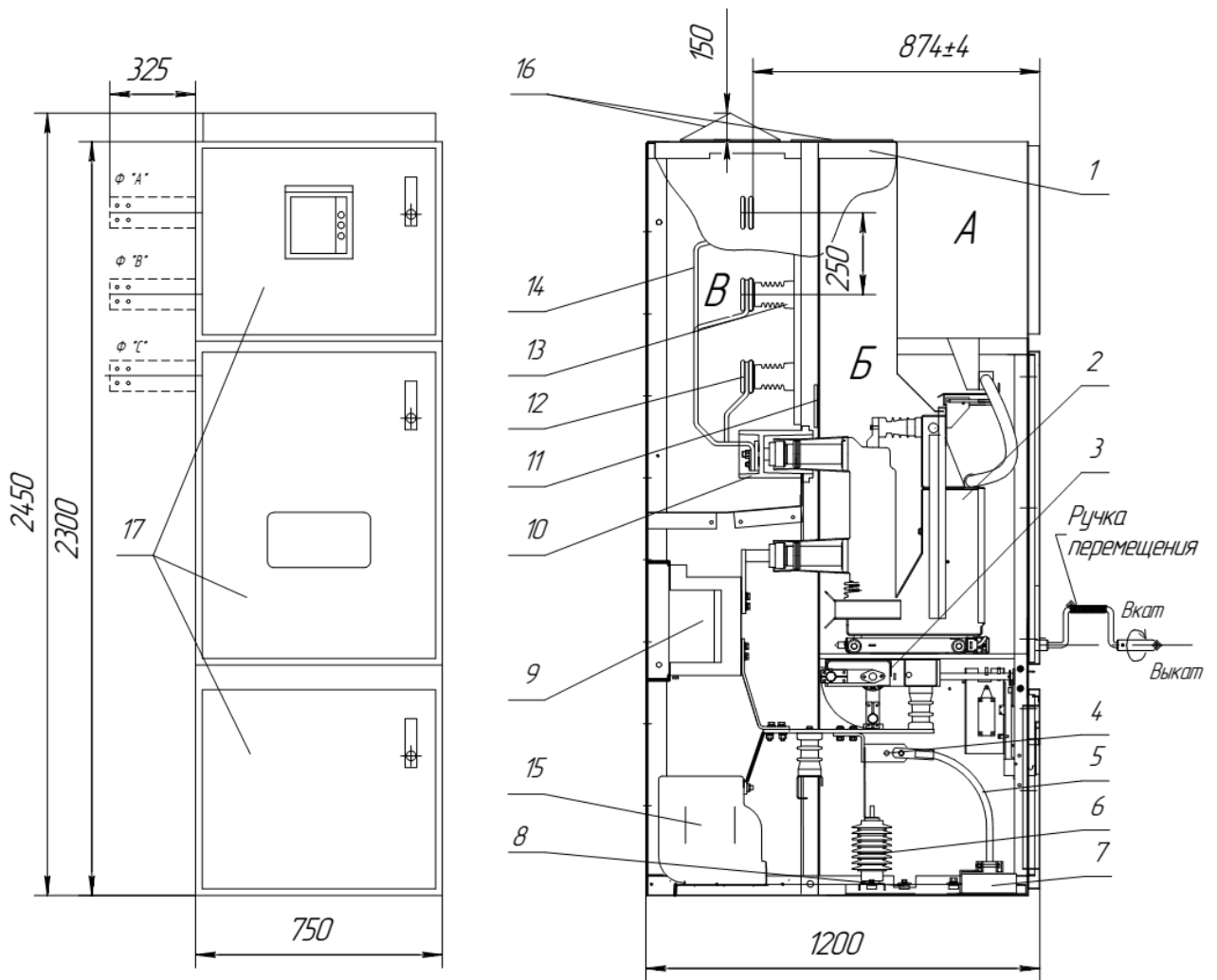


Рис. 3.6 – Комплектний розподільний пристрій КУ10С(М)

Основні технічні характеристики комплектного розподільного пристрою КУ10С(М) приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики розподільного пристрою

Тип	КУ10С(М)
Номинальна напруга, кВ	6
Частота струму, Гц	50, 60
Номинальний струм збірних шин, А	1000
Номинальний струм головних з'єднань шафи, А	1000
Номинальний струм електродинамічної стійкості головних з'єднань шафи, кА	51
Номинальна напруга кіл освітлення, В	12; 110; 220
Номинальна напруга кіл захисту, керування і сигналізації, В	220

Струм термічної стійкості, кА при дії струму 3 с	25
Комутаційний ресурс	
- при номінальних струмах	50000
- при струмах короткого замикання	100
Вид ізоляції	повітряна, комбінована
Габарити шафи, мм:	
- ширина	750
- глибина	1200
- висота	2300
Маса, кг	800

Термічна стійкість обраного розподільного пристрою становить:

$$I_t^2 t_t = 25 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.21)$$

Умова термічної стійкості виконується, так як перевищує необхідне розрахункове значення 1297,92 кА²с.

3.5 Розрахунок електропостачання та вибір апаратури у мережі 0,4 кВ

З метою підключення та захисту споживачів місцевих потреб низької напруги 0,4 кВ було виконано розрахунок трансформатора з номінальною потужністю 1000 кВА. Тому номінальний розрахунковий струм навантаження може досягати:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443 \text{ А} \quad (3.32)$$

Струм, при якому спрацьовує захист від перевантаження:

$$I_{\text{спр}} = 1,25 I_{\text{розр}} = 1,25 \cdot 1443 = 1804 \text{ А} \quad (3.33)$$

Орієнтуючись на розраховане значення струму використовуємо автоматичний вимикач серії EB2 1600/3LE-FC (рис. 3.7). Технічні характеристики за каталожними даними показані в таблиці 3.5.



Рис. 3.7 – Автоматичний вимикач EB2 1600/3LE-FC

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики вимикача EB2 1600/3LE-FC

Номінальний струм, А	1600
Номінальна напруга ізоляції, В	800
Кількість полюсів	3
Частота мережі, Гц	50
Номінальна робоча напруга, В	660
Максимальний струм відключення, кА	80
Максимальна імпульсна напруга, кВ	6,2
Ресурс механічний, циклів	2500
Ресурс електричний, циклів	500
Захист корпусу	IP30
Захист контактних затискачів	IP00
Температурний діапазон, °С	25 до +40

Автоматичний вимикач виконує функцію захисту обладнання та кабельних ліній від перевантаження та струмів короткого замикання.

Висновки до розділу 3

В даному розділі виконано розрахунок та підбір за технічними показниками основного обладнання, що забезпечує електропостачання дробильної фабрики, та зокрема млина самоподрібнення.

На основі списку основних споживачів фабрики виконано розрахунок та вибір силових трансформаторів, від яких живиться фабрика, а також трансформатора власних потреб напругою 6/0,4 кВ. Використовуючи однолінійну схему електропостачання об'єкту, розраховані струми короткого замикання в трьох характерних точках мережі, включаючи сторону низької напруги 0,4 кВ.

З огляду на номінальне навантаження зі сторони високої напруги 6 кВ розраховано та обрано наступне обладнання: силовий кабель живлення, вимірювальні трансформатори струму та напруги, комплектний розподільний пристрій, автоматичний вимикач. Все обладнання перевірено на стійкість струмам короткого замикання, виконано розрахунок на термічну та динамічну стійкість. Для мережі 0,4 кВ виконано розрахунок автоматичного вимикача для комутації та захисту споживачів.