

Електромеханічне обладнання конвеєра СК-2 в умовах ПРАТ "Північний ГЗК"
Маліновський Артем Денисович
Група ЕЕМ-20
Керівник ТИТЮК В.К.

Розділ 1. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ КОНВЕЄРА СК2 ДРОБАРНОЇ ФАБРИКИ ДФ-3

1.1 Характеристика і опис роботи дробарної фабрики ДФ-3

Руда і розкривні породи представлені скельними гірськими породами і розробляються із застосуванням буро підричних робіт. Висота робочих уступів 15 м.

Буріння вибухових свердловин проводиться верстатами шарошечного буріння СБШ-250МН з шарошечними долотами діаметром 250мм, а також 215 і 270 мм.

Видобуток руди ведеться відкритим способом з навантаженням екскаваторами ЕКГ-8 (10) з ковшами ємністю 8, 10м³ в думпкарі ВС-105 вантажопідйомністю 105т. Транспортування руди від вибою до дробильної

фабрики проводиться залізничним транспортом тяговими агрегатами ЕЛ-10 (20) і ОПЕ-1АМ.

Вивезення розкриву виробляється на зовнішні екскаваторні відвали тяговими агрегатами ЕЛ-10 (20) і ОПЕ-1М. Питома вага розкриву в загальному обсязі гірничої маси відносно невеликий і становить близько 0,1м³на1 т. руди.

При вивезенні гірничої маси з в'їзних і розрізних траншей використовуються автосамоскиди БелАЗ вантажопідйомністю 120 т.

Гірнична маса при цьому вивозиться до стаціонарної дробарки, що знаходиться в Первомайському кар'єрі.

Подрібнення руди відбувається за допомогою конусної дробарки ККД 1500/180. Подрібнена руда через живильник ЖП2-24-60 подається на стрічковий конвеєр СК1 з шириною стрічки 2000 мм. З СК1 через розвантажувальну станцію № 1 подрібнена порода подається на СК2 який видає її на поверхню. Сумарна довжина СК1 і СК2 понад 1500 м, висота підйому 583 м, кут підйому 16 град.

На поверхні через розвантажувальну СР№2 станцію відбувається перевантаження руди або на СК 3 і потім її транспортування в КПРД де через 4 живильника ЖП2-15-30 відбувається завантаження думпкарів залізничного складу, або на СК4 який через розвантажувальну станцію передає її на СК6 для відвантаження руди в сховище, або через конвеєр СК5 руда подається на пересувну ШФМ яка за допомогою СК7 формує відвал з руди для тимчасового її зберігання. Навантаження руди зі сховища в думпкарі проводиться за допомогою екскаватора ЕКГ-10 .

Допоміжні цехи забезпечують електропостачання, водопостачання, теплопостачання, зв'язок, ремонтні та будівельні роботи, обслуговування засобів автоматики, охорону об'єктів фабрики й інші функції для нормальної роботи підприємства. До складу підприємства входять і об'єкти соціально-культурної сфери. У всіх цехах є також свої невеликі спеціалізовані електромеханічні і ремонтні служби.

1.2 Загальна характеристика та конструкція стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри належать до типу механізмів безперервного транспорту. Машини безперервної дії безперервно переміщують насипні або штучні вантажі по заданій трасі. Зупинки для завантаження або розвантаження не передбачені. Ці операції виконуються за допомогою спеціально сконструйованих механізмів. Насипні вантажі розташовуються суцільним шаром на несучому елементі машини - стрічці або полотні, або окремими порціями.

Основним режимом роботи механізмів цієї групи є тривалий режим роботи механізму, а електропривід таких механізмів відноситься до класу S1. Запуск та зупинка цих механізмів відбуваються досить нечасто.

Існує значна кількість різних конструкцій конвеєрів, але найпоширенішим типом цих механізмів залишається класичний стрічковий конвеєр. Стрічкові конвеєри мають високу продуктивність і широко використовуються у самих різних галузях промисловості, в тому числі на усіх видах гірничовидобувних та гірничопереробних підприємствах.

Типова схема стрічкового конвеєра зображена на рис.1.1.

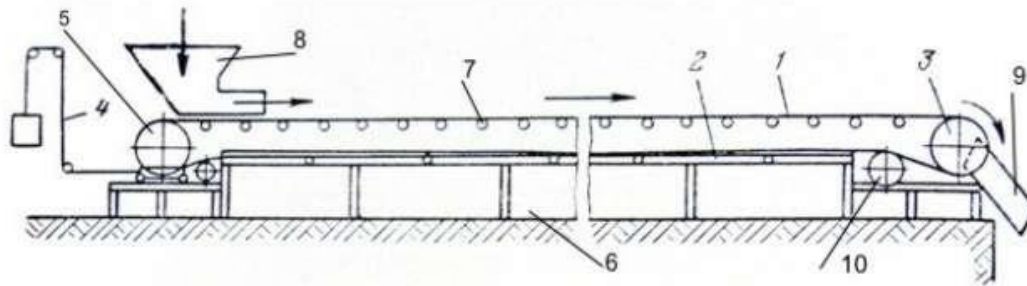


Рисунок 1.1 – Типова схема обладнання стрічкового конвеєра: 1 – стрічка конвеєра, 2 – роликівий став, 3 – приводний барабан, 4 – натяжний пристрій, 5 – натяжний барабан, 6 – конвеєрний став, 7 – ролики з роликооперами робочої гілки, 8 – завантажувальний пристрій, 9 – розвантажувальний пристрій, 10 – відхиляючий барабан

Конвеєрний став. Основна механічна конструкція стрічкових конвеєрів, яка слугує основою для кріплення усіх інших елементів називається ставом. Став конвеєра складається з коротких проміжних секцій, з'єднаних послідовно. Кожна з цих секцій містить одну роликоопору. Роликоопори слугують для полегшення пересування конвеєрної стрічки. Зовнішній вигляд става важкого конвеєра, типової для гірничовидобувних підприємств конструкції, зображено на рис. 1.1. З цього рисунка добре видно й конструкцію окремих трюхроликівих роликоопор.



Рисунок 1.1 - Загальний вигляд важкого конвеєрного става зі знятою стрічкою.

У нижній частині става розташовано зворотні роликоопори, по яких конвеєрна стрічка здійснює зворотний рух.

Конвеєрна стрічка виконує одночасно функцію вантажонесучого та тягового органа. Існує велика кількість конструкцій конвеєрної стрічки, які розрізняються за стійкістю до зтирання, шириною, вантажопідйомністю та іншими складними параметрами. Вартість саме конвеєрної стрічки є найбільш вагомою часткою в початковій вартості конвеєра та вимагає періодичної заміни по мірі зношування.

Привод конвеєра у рух здійснюється цілою системою спеціалізованих механізмів, до складу яких входить приводні, відхиляючі та хвостові барабани та силовий агрегат. Силовий агрегат містить власне електропривід та механічний редуктор. В цілому усі ці механізми утворюють приводну станцію конвеєра. В залежності від довжини конвеєра приводна станція може бути розподіленою по довжині конвеєра. Приводна станція може мати декілька приводних барабанів з власними електродвигунами та складною схемою запасовки стрічки. Рух стрічки конвеєра здійснюється за рахунок тертя - фрикційного зв'язку конвеєрної стрічки з приводним барабаном. Тому важливою задачею є забезпечення необхідного контакту між конвеєрною стрічкою та приводним барабаном, що досягається за допомогою регулювання натяжної станції. За конструкцією натяжні пристрої можуть бути вагові, гвинтові або комбіновані.

Отож, момент опору електроприводу конвеєра утворюється за рахунок сил тертя в рухомих елементах конструкції конвеєра: прямих та зворотних роликооперах, натяжних та відхиляючих барабанах тощо. Ці сили тертя суттєво залежать від ступеня завантаження конвеєрної стрічки матеріалом, який транспортується, від його щільності та кількості на стрічці. Також необхідно враховувати вплив сили тяжіння, які виникають на похилих частинах траси конвеєра.

Завантаження стрічкового конвеєра виконується як правило поблизу хвостового барабана. Головною вимогою до конструкції завантажувальних пристроїв є рівномірність розподілу транспортуемого матеріалу рівномірно як по ширині, так і по довжині стрічки без просипів та втрат. Для завантаження конвеєрів використовують спеціальні пристрої – живильники різноманітних конструкцій.

Розвантаження стрічкового конвеєра найчастіше виконується як правило поблизу головної приводної станції. Якщо необхідно виконувати проміжне розвантаження конвеєра в декілька прийомних бункерів, як це має місце на рудозбагачувальних фабриках, то використовують пересувний розвантажувальний візок.

Умови експлуатації стрічкових конвеєрів відносяться до складних. Конвеєрні установки працюють як правило в умовах високої запиленості, вологості, у широкому діапазоні температур зовнішнього середовища.

Сучасні стрічкові конвеєри, що працюють на гірничовидобувних підприємствах, можуть мати довжину до 2 км, працюють зі швидкістю руху стрічки до 6 м/с, мають продуктивність до 20 тис.т/год.

Стационарні стрічкові конвеєри загального призначення слід розробляти окремо для кожного конкретного випадку використання. Під час проектування конвеєра визначають конфігурацію його траси, початкові параметри (продуктивність, швидкість стрічки, властивості вантажу) та інші експлуатаційні умови для конкретного конвеєра.

1.2.1 Технічні вимоги до електроприводу стрічкових конвеєрів

З огляду на складні умови експлуатації стрічкових конвеєрів в умовах гірничовидобувних підприємств, до електроприводу стрічкових конвеєрів висуваються жорсткі вимоги у відношенні надійності його роботи, низької вартості та складності обслуговування. Також існує низка вимог до експлуатаційних характеристик електропривода.

Основні вимоги, що висуваються до електропривода стрічкового конвеєра, наступні.

1. Приводний двигун повинен мати закрите виконання, мати можливість працювати у широкому діапазоні зовнішніх температур, підвищеної вологості та вмісті абразивного пилу в оточуючому середовищі.

2. Електропривід повинен забезпечувати підвищений пусковий момент, для забезпечення запуску конвеєра, який аварійно зупинився під завалом;

3. З метою підвищення строку служби механічної частини конвеєрного устаткування доцільно забезпечити плавний пуск і гальмування конвеєра;

4. З метою підвищення строку служби конвеєрної стрічки необхідно забезпечити обмеження прискорення та ривка у пуско-гальмівних режимах. Ця вимога особливо актуальна для конвеєрів великої вантажо-підйомності та довжини, коли впливом поступально рухаючихся мас вантажу та реологічними властивостями конвеєрної стрічки неможливо знехтувати.

За означених умов пружні властивості конвеєрної стрічки викликають механічні коливання швидкості та пружних моментів при пуску, а додаткові динамічні зусилля, що виникають у стрічці, негативно впливають на її технічний стан та тривалість експлуатації.

4. При використанні потужних конвеєрів з кількома приводними станціями необхідно забезпечити пропорційність розподілу навантаження між окремими електродвигунами з урахуванням можливих відмінностей у параметрах зчеплення приводних барабанів з конвеєрною стрічкою.

5. За наявності коливань обсягу переміщуваного вантажу надавати можливість плавного регулювання швидкості конвеєра, що дозволить знизити споживання електроенергії і зменшення зношування конвеєрної стрічки.

1.3 Схема стрічкового конвеєра СК-2

Схема траси конвеєру СК-2 з необхідними геометричними розмірами наведена на на рис.1.2.

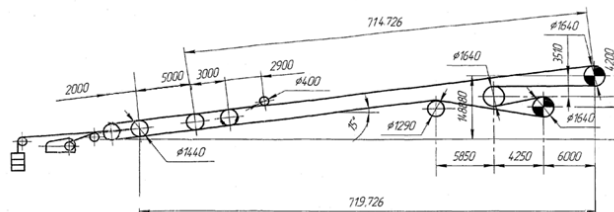


Рисунок.1.1. Геометрична схема траси стрічкового конвеєра СК-2

Нижче наведено відомості про основні технічні характеристики стрічкового конвеєра СК-2.

Тип	ЛТМ 200-6000-2
Ширина конвеєрної стрічки, мм	2000
Лінійна швидкість руху конвеєра, м / с	2,32
Продуктивність конвеєра, т / год	4930
Встановлена потужність електропривода, кВт	2000

Горизонтальна довжина конвеєра, м,	719,33
Висота підйому конвеєра, м	185,35
Кут нахилу конвеєра, град	15
Матеріал що транспортується	руда
Усереднена насипна вага, т/м ³	2,1
Максимальний розмір шматків, мм	500
Діаметр приводного барабана, мм	1640
Кількість приводних барабанів, шт	2
Кількість приводних двигунів, шт	2
Частота обертання приводного двигуна, об/хв	740
Напруга живлення приводного двигуна, В	6000
Передаточне число редуктора,	27,36
Кількість редукторів, шт	2

На рис 1.3 наведено кінематичну схему приводної станції стрічкового конвеєра СК-2.

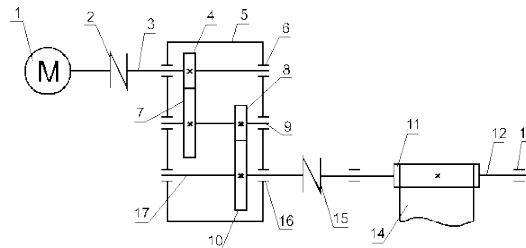


Рисунок. 1.3 - Кінематична схема приводної станції конвеєра СК-2

На схемі приводної станції рис. 1.3 використано наступні позначення:

1 – електричний двигун; 2 – муфта; 3 – швидкохідний вал; 4 – шестерня швидкохідної секції редуктора; 5 – корпус; 6 – підшипниковий вузол з глухою кришкою; 7 – зубчасте колесо швидкохідної секції редуктора; 8 – шестерня тихохідної секції редуктора; 9 – проміжна шестерня; 10 – зубчасте колесо тихохідної проміжна; 11 – приводний барабан конвеєра; 12 – вал приводного барабана; 13 – підшипникова опора приводного барабана; 14 – конвеєрна стрічка; 15 – муфта.

1.4 Розрахунок потужності конвеєра і вибір електричного двигуна

Потужність, необхідна для переміщення вантажу конвеєром, кВт:

$$P_e = \frac{Q(H + L \cdot W_0)}{367 \eta_H} = \frac{1369,4(185,35 + 719 \cdot 0,4)}{367 \cdot 0,95} = 1858 \text{ кВт} \quad (1.1)$$

$Q = 1369,4$ кг/с - продуктивність конвеєра;

$H = 185,35$ м - висота підйому;

$L = 719,33$ м - довжина транспортування;

$W_0 = 0,4$ – коефіцієнт опору рухові конвеєра;

Загальний ККД визначається за формулою :

$$\eta_{\text{обш}} = \eta_1 \cdot \eta_2^2 = 0,97 \cdot 0,98 = 0,95, \quad (1.2)$$

де $\eta_1 = 0,97$ -ККД зубчатої передачі; $\eta_2 = 0,97$ - ККД підшипників

За розрахункової потужності приводного двигуна вибираю двигун АОД-1000-8У1. Технічні характеристики обраного асинхронного двигуна наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Технічні характеристики асинхронного двигуна АОД-1000-8У1

Потужність (P_H , кВт)	1000
Напруга (U_H , В)	6000
Частота обертання (n_H , об/хв)	740
КПД (η_H , %)	95,3
cos φ, %	0.80
Перевантажувальна здібність	2,2
Кратність пускового струму	5,5

Двигуни асинхронні з короткозамкненим ротором типу АОД 560 габариту призначені для приводу механізмів із важкими умовами пуску.

Двигуни відповідають стандартам Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) і спроектовані для роботи в режимі S1 (тривалий режим) від мережі змінного струму напругою 6000 В частотою 50Гц.

Ступінь захисту двигунів серії АОД - IP54, вивідного пристрою - IP55.

Використовується охолодження двигунів в режимі самовентиляції.

На рис.1.3 зображено креслення габаритних та настановчих розмірів електричного двигуна АОД-1000-8У1

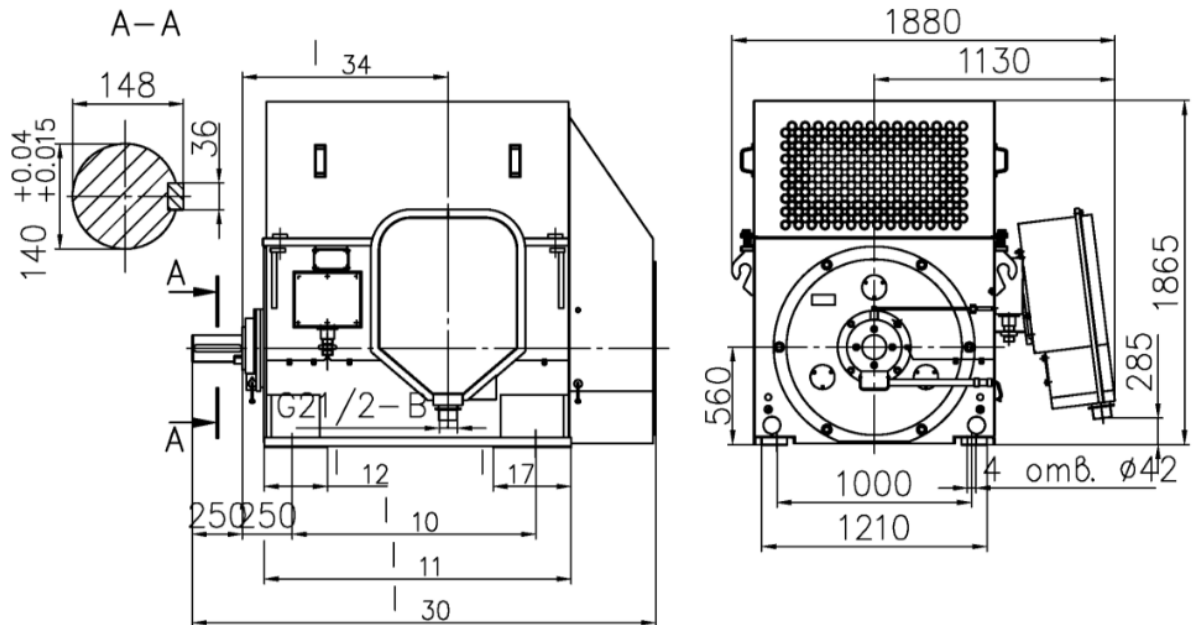


Рисунок 1.3 - Габаритні та настановчі розміри електричного двигуна АОД-1000-8У1

1.4.1 Вибір редуктора приводної станції

Потужність виконавчого механізму: $P_{BM} = 929000 \text{ Вт}$

Кутова швидкість вала виконавчого механізму:

$$\omega_{овм} = \frac{v_c}{R_б} = \frac{2,32}{0,8} = 2,8 \text{ с}^{-1}, \quad (1.3)$$

де $v_c = 2,32 \text{ м/с}$ – поступальна швидкість руху стручки конвеєра,

$R_б = 0,8 \text{ м}$ - діаметр привідного барабану.

Швидкість вала виконавчого механізму:

$$\eta_{овм} = \frac{\omega_{овм} \cdot 30}{\pi} = \frac{2,8 \cdot 30}{3,14} = 26,7 \text{ об/хв} \quad (1.4)$$

Номінальний момент ВМ:

$$M_{вм} = \frac{P_{вм}}{\omega_{овм}} = \frac{929000}{2,8} = 331800 \text{ Нм} \quad (1.5)$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{2H} = \frac{P_{2H}}{\omega_0(1-S_H)} = \frac{1000000}{78.5(1-0.018)} = 12970 \text{ Нм} \quad (1.6)$$

Статичний момент опору приймаємо рівним номінальному моменту двигуна $M_c = 12970 \text{ Нм}$.

Передаточне число редуктора:

$$K_{ред} = \frac{n(1-S_H)}{n_{овм}} = \frac{736,5}{26,7} = 27,58 \quad (1.7)$$

$$\Omega_{овм} = \omega_{овм} \cdot K_{ред} = 2,8 \cdot 27,58 = 77,2 \text{ рад/с} \quad (1.8)$$

Базуючись на виконаних розрахунках обираємо циліндричний двохступінчатий редуктор типу Ц2У-1400.

1.4.2 Вибір перетворювача частоти

За технічними характеристиками приводного двигуна обираємо перетворювач частоти серії ATV6000 виробництва Шнайдер Електрик (Schneider Electric).

Технічні характеристики перетворювачів серії ATV6000 наведено у табл. 1.2

Таблиця 1.2 Технічні характеристики перетворювачів серії ATV6000

Функція	ATV6000
Діапазон потужностей	250 - 20 000 кВт
Напруга	2,4 – 13,8 кВ
Перевантажувальна здатність	120% 60 с. кожні 10 хв 150% 3 с. кожні 10 хв
Тип двигунів	Асинхронний, Синхронний, Синхронний с ПМ
Закон керування	U/f, Vector, ATV-P performance
Вихідна частота	0,1 – 120 Гц
Автоналаштування	Так
Енкодер	HTL, Digital, Analog
Блок безперебійного живлення	Опція
Живлення вентиляторів охолодження	Зовнішнє, вбудоване як опція
Синхронізація та безударне переключення на мережу	Так
Байпас силової комірки	Так
Захист перегрів шафи	Так
Панель керування	Magelis
ПО	DTM для SoMove
Сумісність с EcoStruxure	Так
Web сервер	Так

Комунікації	Стандартні: Ethernet подвійний порт, Ethernet IP, Modbus TCP, Modbus SL. Опції: Profibus, Profinet, EtherCAT, DeviceNet
-------------	--

Зовнішній вигляд перетворювач частоти серії ATV6000 наведено на рис.1.4.



Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд перетворювач частоти серії ATV6000

Висновки до розділу 1

У першому розділі наведено загальні відомості про стрічкові конвеєри, розглянуто вимоги до електроприводу конвеєрного устаткування. За технічними характеристиками стрічкового конвеєра СК2 розраховано потужність приводного електродвигуна. За визначеною потужністю обираємо асинхронний двигун типу АОД-1000-8У1 потужністю 1000 кВт з частотою обертання 750 об/хв, який має необхідну за умовами технологічного процесу встановлену потужність.

Для забезпечення технічних вимог до електроприводу важкого стрічкового конвеєра обираємо частотне регулювання асинхронного двигуна. У якості перетворювача частоти для керування електроприводом обрано перетворювач частоти типу ATV6000 виробництва Schneider Electric.

Розділ 2. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРА СК-2

2.1 Схема заміщення приводного двигуна та її параметри

T-подібна схема заміщення асинхронного двигуна має наступний вигляд, рис.2.1:

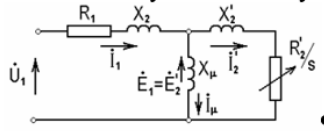


Рисунок 2.4 – T-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

де R_1, X_1 – активний та індуктивний опір фази статора АД;

R_2, X_2 – активний та індуктивний опір фази ротора АД;

X_m – індуктивний опір контуру намагнічування АД;

За паспортними даними, наведеними к розділі 1.5, знаходимо параметри схеми заміщення.

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_{\text{НОМ}} = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{\pi}{30} = 77,70 \text{ 1/с}$$

Кутова швидкість холостого ходу:

$$\omega_0 = n_0 \cdot \frac{\pi}{30} = 78,75 \text{ 1/с}$$

Номінальне ковзання:

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = 0,0133$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{НОМ}} = 1000 \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = 12870 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо номінальний струм статора за формулою:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \eta_H \cdot \cos\varphi_H} = 126.2 \text{ A}$$

де P_H – паспортна потужність двигуна;

U_{1H} – паспортна фазна напруга;

η_H – паспортний к.к.д.;

$\cos\varphi_H$ – паспортний коефіцієнт потужності;

Визначаємо струм статора при 75% навантаженні:

$$I_{1p} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \eta_{p_*} \cdot \cos\varphi_{p_*}} = 96.59 \text{ A}$$

де $p_* = P/P_H$ – коефіцієнт завантаження двигуна;

η_{p_*} – ККД при частковому завантаженні;

$\cos\varphi_{p_*}$ – коефіцієнт потужності при частковому завантаженні;

Сучасні асинхронні двигуни проектується таким чином, що найбільший ККД досягається при завантаженні на 10-15% менше номінального. Двигуни розраховуються так, тому що більшість з них в силу стандартної дискретної шкали потужностей працюють з деяким недозавантаженням. Тому ККД при номінальному навантаженні і навантаженні $p_* = 0,75$ практично рівні між собою, тобто:

$$\eta_H = \eta_{0,75}$$

Коефіцієнт потужності при тому ж навантаженні $p_* = 0,75$ сильно відрізняється від коефіцієнта потужності при номінальному навантаженні, причому ця відмінність в значній мірі залежить від потужності двигуна і для відомих серій асинхронних двигунів з достатньою для практики точністю підпорядковується залежності, приведений на рисунку 2.5.

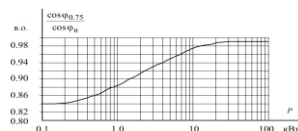


Рисунок 2.5 – Залежність часткового коефіцієнту потужності $\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_H$ від номінальної потужності асинхронного двигуна

З наведеної вище графічної залежності отримуємо, що для електродвигуна конвеєра СК2 потужністю 1000 кВт:

$$\cos\varphi_{0,75} \approx \cos\varphi_H;$$

Розраховуємо струм холостого ходу асинхронного двигуна:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p}^2 - I_{1H}^2 \cdot [p_* \cdot (1 - s_H)/(1 - p_* \cdot s_H)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_H)/(1 - p_* \cdot s_H)]^2}} = 31,21 \text{ A}$$

де I_{1H} – номінальний струм статора; I_{1p} – струм статора при 75% навантаженні; s_H – номінальне ковзання; Визначаємо критичне ковзання:

$$s_k = s_H \frac{(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_m - 1)]})}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_m - 1)} = 0,058$$

де k_m – перевантажувальна здатність двигуна; β – коефіцієнт, значення якого лежить у межах 0,6-2,5 (для асинхронних двигунів серії 4А $\beta = 1,3$); Визначаємо коефіцієнт C_I :

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_I \cdot I_{1H}} = 1,0225$$

де k_I – кратність пускового струму; Визначаємо коефіцієнт A_I :

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_m \cdot P_H} = 7,90$$

Активний опір ротора, приведений до обмотки статора АД:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_H) \cdot C_1} = 0,4166 \text{ Ом}$$

Активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,5537 \text{ Ом}$$

Визначимо параметр γ , який дозволяє знайти індуктивний опір короткого замикання R_{2k} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2)^2 - \beta^2} = 17,88$$

Тоді:

$$X_{кн} = \gamma \cdot R_2' \cdot C_1 = 7,3207 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір короткого замикання L_{2k} необхідно розділити між статорною та роторною обмотками. Для визначення індуктивних опорів розсіювання фаз статора L_1 та ротора L_2 , скористаємося апробованими для серійних асинхронних двигунів співвідношеннями.

Приведений індуктивний опір розсіювання фази ротора розраховуємо за виразом:

$$X_2 = 0,58 \cdot X_{кн} / C_1 = 4,1526 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання фази статора розраховуємо за виразом:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{кн} = 3,0747 \text{ Ом}$$

Електрорушійна сила кола намагнічування E_m у номінальному режимі, розраховуємо за наступним виразом:

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_1 \cdot I_{1H})^2} = 3186,70 \text{ В}$$

Обчислюємо значення індуктивного опору кола намагнічування за наступним виразом:

$$X_\mu = E_m / I_0 = 102,12 \text{ Ом}$$

2.2 Розрахунок природних статичних характеристик асинхронного електродвигуна конвеєра СК-2

З метою розрахунку природних статичних та енергетичних характеристик асинхронного електродвигуна конвеєра СК-2 скористаємося комплексним методом розрахунку Т-подібної схеми заміщення.

Повний опір ротора у комплексній формі

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Повний опір кола намагнічування у комплексній формі

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Повний опір роторного кола схеми заміщення у комплексній формі

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Повний опір кола статора у комплексній формі

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний опір схеми заміщення у комплексній формі

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_{20}(s)$$

Струм статора асинхронного двигуна у комплексній формі

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затискачах роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора асинхронного двигуна

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Рухий момент асинхронного двигуна

$$M_{эм}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані асинхронним двигуном з мережі живлення:

$$P_{Ад}(s) = 3 \cdot \text{Re} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right); Q_{Ад}(s) = 3 \cdot \text{Im} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$$

Коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна:

$$\eta(s) = \frac{M_{эм}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{Ад}(s)}$$

Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна:

$$\eta(s) = \frac{M_{эм}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{Ад}(s)}$$

За допомогою програми MATLAB виконаємо розрахунки статичних та енергетичних характеристик асинхронного двигуна конвеєра СК-2.

Приводимо протокол роботи програми розрахунку статичних характеристик асинхронного двигуна конвеєра СК-2.

Вихідні дані:

Маліновський А.Д. ЕЕМ-20

Паспортні дані АД

Тип АД = АОД-1000-8У1

Номинальна потужність = 1000 кВт

Номинальна лінійна напруга = 6000 В

Частота мережі живлення = 50 Гц

Синхронна частота обертання = 750 об/хв

Номинальна частота обертання = 740 об/хв

Номинальний ККД = 0.953

Номинальний коефіцієнт потужності = 0.8

Кратність пускового струму = 5.5

Перевантажувальна здатність = 2.2

Число пар полюсів = 4

Фазна напруга = 3464.1016 В

Номинальне ковзання = 1.3333 %

Розрахункові дані:

```

=====
Розрахунковий коефіцієнт b = 1.3
Коефіцієнт завантаження двигуна p = 0.75
ККД при частковому завантаженні = 0.953
Номинальний струм = 126.2133 А
Струм при частковому завантаженні = 94.66 А
Струм холостого ходу = 11.6837 А
Критичне ковзання = 0.058016
Розрахунковий коефіцієнт C1 = 1.0084
Розрахунковий коефіцієнт A1 = 8.0054
Активний опір статора = 0.56143 Ом
Приведений активний опір ротора = 0.42826 Ом
Розрахунковий коефіцієнт гамма = 17.1876
Індуктивний опір короткого замикання = 7.4227 Ом
Індуктивний опір статора = 3.1175 Ом
Приведений індуктивний опір ротора = 4.2693 Ом
Індуктивний опір гілки намагнічування = 272.4309 Ом

```

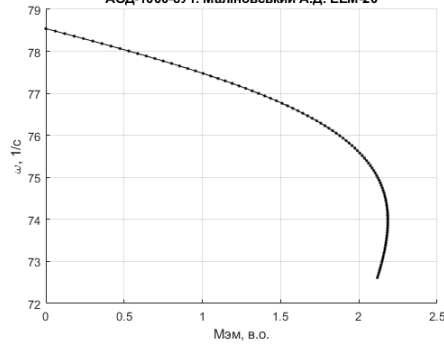
ЕРС гілки намагнічування
 Індуктивність статора
 Приведена індуктивність ротора
 Номінальні втрати в двигуні
 Умовно постійні втрати в двигуні

= 4.2693 В
 = 0.0099235 Гн
 = 0.013589 Гн
 = 49317.9433 Вт
 = 14795.383 Вт

Графічні залежності для розрахованих природних електромеханічних та енергетичних характеристик асинхронного двигуна АОД-1000-8У1 приведені нижче на рис.2.4.

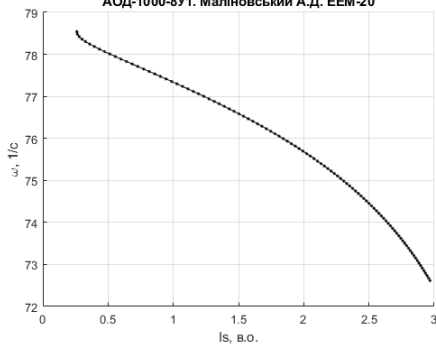
Природна механічна характеристика $\omega = f(\Gamma_L)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



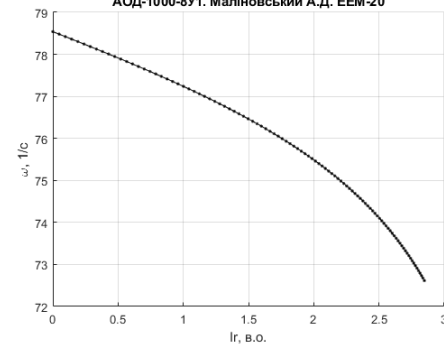
Природна швидкісна характеристика $\omega = f(I_1)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



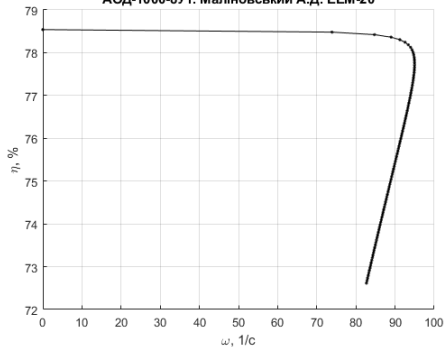
Природна швидкісна характеристика $\omega = f(I_2)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



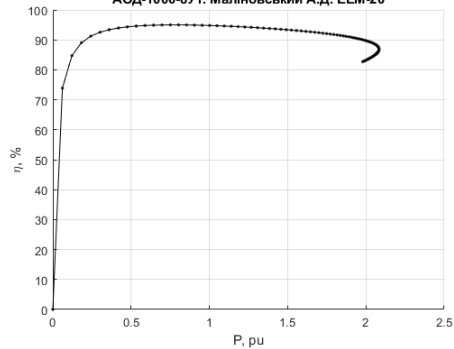
Природна енергетична характеристика $\eta = f(\omega)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



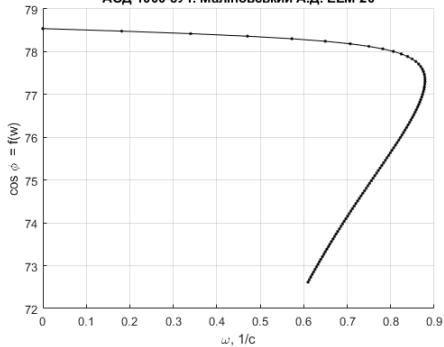
Природна енергетична характеристика $\eta = f(P)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



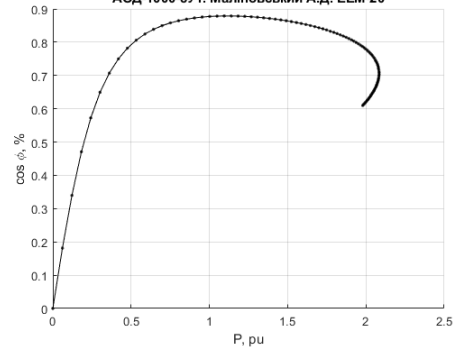
Природна енергетична характеристика $\cos \phi = f(\omega)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



Природна енергетична характеристика $\cos \phi = f(P)$.

АОД-1000-8У1. Маліновський А.Д. ЕЕМ-20



2.3 Розрахунок електромеханічних характеристик частотного електроприводу конвеєра СК2

Оскільки при частотному регулюванні частота живлячої напруги може суттєво змінюватися, то слід мати на увазі, що індуктивні опори схеми заміщення асинхронного двигуна також змінюватимуться пропорційно частоті. Якщо відомі значення індуктивних опорів схеми заміщення при частоті промислової живлячої мережі 50 Гц, то індуктивні опори схеми заміщення при відмінній від 50 Гц частоті живлячої мережі f Гц можна визначити за виразом:

$$X_f = X_{50} \cdot \frac{f}{50}$$

При розрахунках штучних електромеханічних характеристик частотно-керованого електропривода необхідно враховувати необхідність одночасного керування амплітудою та частотою живлячої напруги за енергоефективним законом Костенко. Враховуючи реактивний тип моменту навантаження, отримуємо наступний вираз для діючого значення фазної напруги при заданій частоті живлячої мережі f Гц:

$$U = 69.28 \cdot f \text{ В}$$

Для розрахунку необхідних характеристик асинхронного електродвигуна скористаємося символьним методом комплексним методом розрахунку кіл змінного струму.

Повний опір ротора у комплексній формі

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Повний опір кола намагнічування у комплексній формі

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Повний опір роторного кола схеми заміщення у комплексній формі

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Повний опір кола статора у комплексній формі

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний опір схеми заміщення у комплексній формі

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_{20}(s)$$

Струм статора асинхронного двигуна у комплексній формі

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затискачах роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора асинхронного двигуна

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Рушійний момент асинхронного двигуна

$$M_{эм}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані асинхронним двигуном з мережі живлення:

$$P_{АД}(s) = 3 \cdot \text{Re} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right); Q_{АД}(s) = 3 \cdot \text{Im} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$$

Коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна:

$$\eta(s) = \frac{M_{эм}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{АД}(s)}$$

Розрахунки по приведених вище формулах були виконані за допомогою програми MATLAB. Результати розрахунків статичних і енергетичних характеристик електродвигуна приведені нижче на рис.2.5 – 2.8.

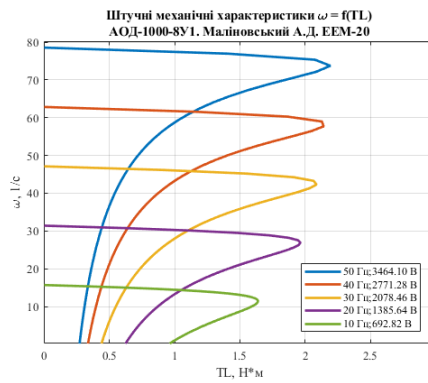


Рисунок 2.5 – Штучні механічні характеристики частотного електроприводу конвеєра СК-2 для ряду частот 10, 20, 30, 40, 50 Гц

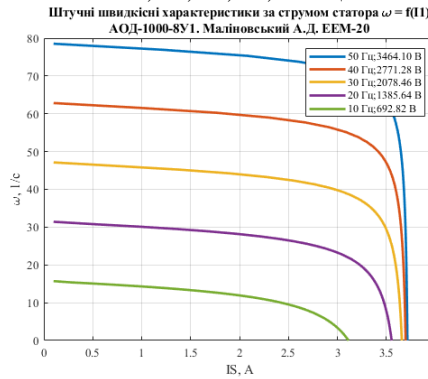


Рисунок 2.6 - Штучні швидкісні характеристики струму статора частотного електроприводу конвеєра СК-2 для ряду частот 10, 20, 30, 40, 50 Гц

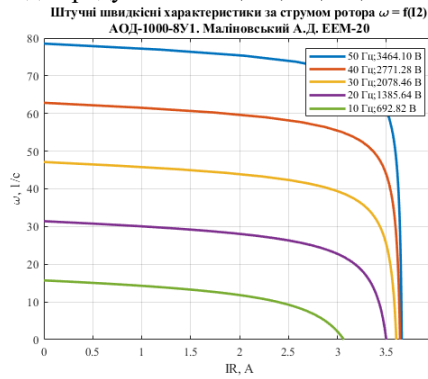


Рисунок 2.7 - Штучні швидкісні характеристики струму ротора частотного електроприводу конвеєра СК-2 для ряду частот 10, 20, 30, 40, 50 Гц

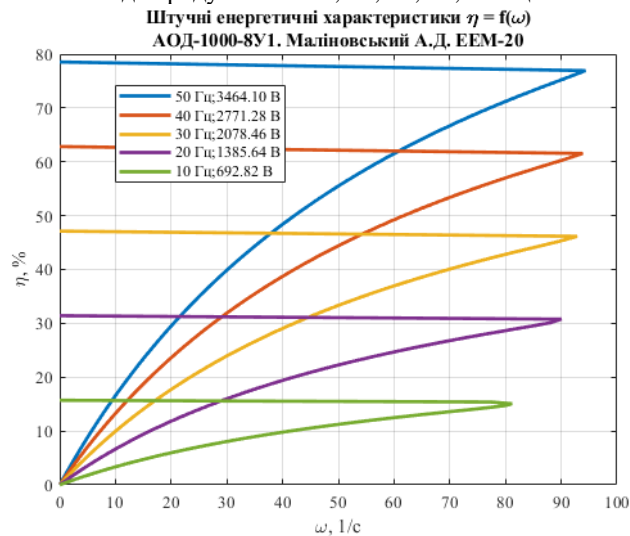


Рисунок 2.8 - Штучні залежності ККД АД при частотному регулюванні для ряду частот 10, 20, 30, 40, 50 Гц

Висновки до розділу 2

У другому розділі розраховано параметри Т-подібної схеми заміщення асинхронного приводного двигуна конвеєра СК-2. Використовуючи Т-подібну схему заміщення, розраховані природні електромеханічні та енергетичні характеристики приводного двигуна.

Для частотно-керованого електроприводу було розраховано штучні електромеханічні, швидкісні та енергетичні характеристики електроприводу для ряду частот 10, 20, 30, 40, 50 Гц з використанням енергоефективного керування за законом Костенка $U = 69.28 \cdot f$.

Запропонований регульований електропривід також може бути використаний для обмеження пускових струмів, ударних моментів та прискорень конвеєра під час його запуску та гальмуванні.

Характеристики частотного електроприводу мають меншу жорсткість у порівнянні з природними характеристиками приводного двигуна. При зниженні частоти живлячої напруги жорсткість механічних характеристик залишається достатньою, але досить помітно зменшується коефіцієнт корисної дії електроприводу. Для забезпечення постійної перевантажувальної здібності при регулюванні частоти необхідно скоригувати закон Костенко з урахуванням падінням напруги на активному опорі статора.

Розділ 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРА СК-2

3.1 Математична модель асинхронного двигуна в ортогональній системі координат « $\alpha, \beta, 0$ »

Координатна система нерухома відносно статора АД « $\alpha, \beta, 0$ », у ній кутова швидкість ортогональної системи координат дорівнює $\omega_k = 0$. Ця система координат знаходить застосування при моделюванні АД в симетричних режимах роботи. Вісь α збігається з віссю «А».

Для такого напрямку α усі перетворені змінні на цій осі збігаються з реальними фазними змінними.

Рівняння АД в ортогональній системі координат можуть бути записані відносно струмів або потокозчеплень.

Найбільш часто система диференціальних рівнянь АД в системі « $\alpha, \beta, 0$ » записується відносно потокозчеплень. Така система має вигляд

$$\begin{cases} \frac{d\psi_{\alpha s}}{dt} = U_{\alpha s} - AR_s(\psi_{\alpha s}L_r' - \psi_{\alpha r}L_{\mu}) \\ \frac{d\psi_{\beta s}}{dt} = -U_{\beta s} - AR_s(\psi_{\beta s}L_r' - \psi_{\beta r}L_{\mu}) \\ \frac{d\psi_{\alpha r}}{dt} = -AR_r'(\psi_{\alpha r}L_s - \psi_{\alpha s}L_{\mu}) + \psi_{\beta r}\omega \\ \frac{d\psi_{\beta r}}{dt} = -AR_r'(\psi_{\beta r}L_s - \psi_{\beta s}L_{\mu}) + \psi_{\alpha r}\omega \\ M = \frac{3}{2}pL_{\mu}A(\psi_{\alpha s}\psi_{\beta r} - \psi_{\beta s}\psi_{\alpha r}) \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}pM - M_c. \end{cases} \quad (3.1)$$

де $A = \frac{1}{L_s L_r - L_{\mu}^2}$, R_s , R_r - активний опір фази відповідно статора і ротора; L_s , L_r - повна індуктивність обмоток відповідно статора і ротора; L_{μ} - взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора.

Значення струмів зв'язані з потокозчепленнями такими рівняннями:

$$i_{\alpha s} = A(L_s \psi_{\alpha s} - L_{\mu} \psi_{\alpha r}); \quad (3.2)$$

$$i_{\beta s} = A(L_r \psi_{\beta s} - L_{\mu} \psi_{\beta r}); \quad (3.3)$$

$$i_{\alpha r} = A(L_s \psi_{\alpha r} - L_{\mu} \psi_{\alpha s}); \quad (3.4)$$

$$i_{\beta r} = A(L_r \psi_{\beta r} - L_{\mu} \psi_{\beta s}); \quad (3.5)$$

Миттєві значення напруг живлення в ортогональній системі координат:

$$\begin{cases} U_{\alpha} = U_A = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0); \\ U_{\beta} = U_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \end{cases} \quad (3.6)$$

3.2 Математичне моделювання асинхронного електропривода з частотним керуванням у середовищі MATLAB/Simulink

Для математичного моделювання асинхронного електропривода з частотним керуванням обираємо середовище MATLAB/Simulink, оскільки бібліотека бібліотеки SimPower містить готові рішення для нашої задачі.

Віртуальна модель асинхронного електропривода з векторним керуванням з використанням елементів бібліотеки SimPower наведена на рис. 3.1, а.

Стандартний елемент частотно-керованого асинхронного електропривода цієї бібліотеки має вбудовані засоби для розрахунку параметрів регуляторів кутової швидкості та магнітного потоку ротору для векторної системи керування.

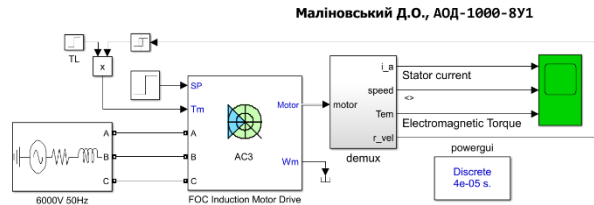
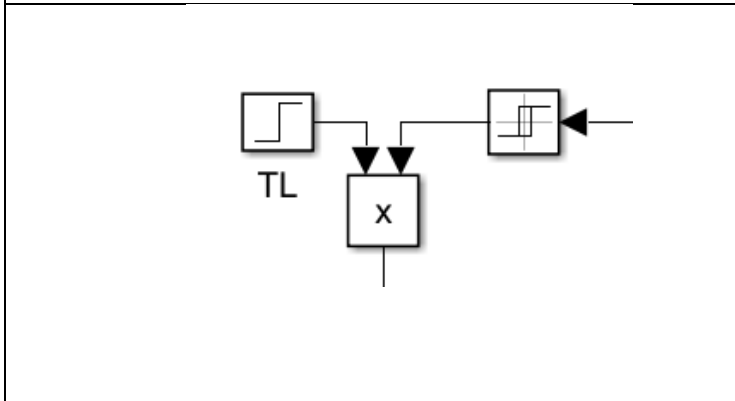


Рисунок 3.1 - Структурна схема моделі частотно-керованого електроприводу конвеєра СК-2 з векторним керуванням з використанням елементів бібліотеки Specialized Power Systems

У таблиці 3.1 наведено важливі додаткові відомості про призначення та наоаштування окремих елементів запропонованої моделі.

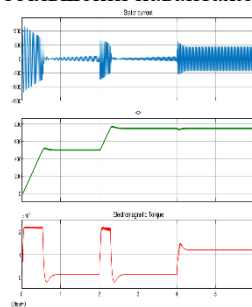
Таблиця 3.1 – Основні блоки віртуальної моделі

Зображення елемента	Опис елемента
	<p>Блок, що моделює мережу 380 В, з'єднаний в зірку, з глухозаземленим «0».</p>
	<p>Блок, що моделює роботу двигуна АР180М2У3 з розрахованими параметрами.</p>

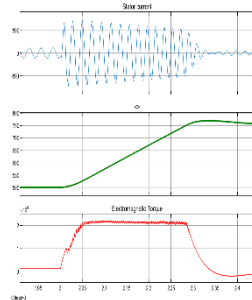


Підсистема моделювання навантаження активного типу.

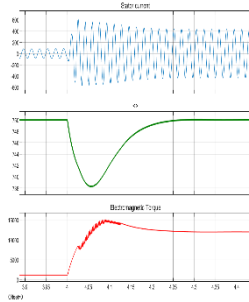
Отримані графіки електромеханічних процесів у моделі з параметрами асинхронного двигуна АОД-1000-8-У1 наведено на рис. 3.2. Показано діаграми для струму статора, а також швидкість та електромагнітний момент АД. Запуск конвеєра здійснюється з навантаженням холостого ходу, момент опору дорівнює 0,1 від номінального. Запуск здійснюється до пониженої частоти обертання, яка дорівнює 500 об/хв. При $t = 2$ с відбувається розгін електропривода конвеєра до номінальної швидкості 750 об/хв. В момент часу $t = 4$ с момент навантаження АД зростає до повного номінального $M_{ст} = 12000$ Нм. На рис.3.2.б наведено діаграми перехідних процесів електроприводу при збільшенні навантаження у збільшеному вигляді.



а) запуск, розгін та накид навантаження асинхронного електропривода з векторним керуванням



б) розгін асинхронного електропривода з векторним керуванням до номінальної частоти обертання



в) накид навантаження асинхронного електропривода з векторним керуванням.

Рисунок 3.2 – Часові діаграми запуску асинхронного електропривода з векторним керуванням

Як видно з рис.3.2.в, значення струмів та кутової швидкості при номінальному навантаженні збігаються з номінальними даними асинхронного двигуна. Рисунок 3.2 а, б показують, що синтезована система векторного керування електроприводом конвеєра СК-2 має незначне перерегулювання, забезпечує розгін конвеєра з обмеженням прискорення та в цілому має задовільні динамічні показники регулювання.

Рисунок 3.2 в показує, що синтезована система векторного керування електроприводом конвеєра СК-2 астатична по відношенню до навантаження, тобто усталена похибка по швидкості при зміні навантаження дорівнює нулю.

Висновки до розділу 3

Третій розділ містить загальні теоретичні відомості про математичне моделювання асинхронного двигуна у ортогональній системі координат « α , β , 0», нерухомій по відношенню до статора. Використавши програмний застосунок Matlab/Simulink створено математичну модель асинхронного електропривода з векторним керуванням, виконано дослідження типових електромеханічних процесів запуску, регулювання швидкості та накиду навантаження. Показано, що синтезована система векторного керування електроприводом конвеєра СК-2 має незначне перерегулювання, забезпечує розгін конвеєра з обмеженням прискорення та в цілому має задовільні динамічні показники регулювання, а також астатична по відношенню до навантаження, тобто усталена похибка по швидкості при зміні навантаження дорівнює нулю.

Розділ 4 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ ДФ-3

4.1 Розрахунок електропостачання дробильної фабрики ДФ-3

4.1.1 Загальні відомості про електропостачання фабрики

Електропостачання дробильної фабрики ДФ-3 передбачається від окремої підстанції. З урахуванням технічних характеристик встановленого на фабриці обладнання приймаємо наступні рівні напруги трьохфазного змінного струму:

- живлення електродвигунів здійснюється від мережі 0.4-6 кВ;
- живлення силових та тягових трансформаторів здійснюється від мережі 6 кВ;
- живлення освітлення здійснюється від мережі 0.4 кВ;

Для забезпечення безперервності живлення електроенергією споживачів першої категорії схемою електропостачання передбачено використання двох окремих ліній електропостачання. Кожна лінія розрахована на 100% потужності споживачів першої категорії та додатково на 75% потужності споживачів другої категорії.

Електропостачання дробильної фабрики ДФ-3 реалізовано за допомогою кабельних ліній 6 кВ. З метою підвищення надійності електропостачання використано два силових трансформаторів.

4.1.2 Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії та вибір силових трансформаторів

На даному підприємстві встановлено різноманітне обладнання по які ступеню безперебійності живлення електроенергією відносяться до першої та другої категорії.

Розрахунок потужності споживаної електроприймачами енергії здійснюємо по встановленій її величині і коефіцієнту попиту для кожного з них (табл.4.1).

Таблиця 4.1 Перелік споживачів електроенергії дробарної фабрики ДФ-3

Назва груп споживачів	Потужність одиниці, кВт	Кількість, шт	Сумарна потужність, кВт	K_c	$\operatorname{tg} \varphi$	$\cos \varphi$
1	2	3	4	5	6	7
Споживачі 6 кВ						
ТСЗП-1250/10	1250	8	10000	0,75	0,75	0,8
ТСЗП 800 10/УЗ	800	1	800	0,75	0,75	0,8
ТЗС 1000/10	1000	2	2000	0,75	0,75	0,8
Двигун СК-2	1000	3	3000	0,55	0,88	0,75
Двигун СК-3	315	2	630	0,55	0,88	0,75
Двигун СК-1	1000	2	2000	0,55	0,88	0,75
Двигун СК-4	315	2	630	0,55	0,88	0,75
Двигун СК-5	315	2	630	0,55	0,88	0,75
ГВУ	500	1	500	0,75	0,75	0,8
Всього	-	-	-	-	-	-
Споживачі 0,4кВ						
Живильник №1, №2	75	2	150	0,8	0,75	0,8
Освітлення	50	1	50	0,8	0,35	0,94
Кран-балка №1	40	1	40	0,4	1,98	0,45
ШФМ	90	2	180	0,55	0,88	0,75
Шламовий насос №1, №2, №3	30	3	90	0,8	0,75	0,8
Зварювальний трансформатор	100	2	200	0,35	2,68	0,35
Живильник №1, №2, №3, №4	30	4	120	0,8	0,75	0,8
Вентилятор	45	1	675	0,8	0,75	0,8
Кран мостовий	37	2	74	0,5	1,98	0,45
Двигун СК-6	132	2	264	0,55	0,88	0,75
Монорейкова дорога	75	2	150	0,55	0,88	0,75

Для однолінійних груп споживачів електроенергії розрахункове навантаження за активною, реактивною та повною потужністю розраховуємо за виразами:

$$P_{\text{роз}} = \sum P_n \cdot K_c \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{роз}} = P_{\text{роз}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.2)$$

$$S_{\text{роз}} = \sqrt{P_{\text{роз}}^2 + Q_{\text{роз}}^2} \quad (4.3)$$

У цих виразах K_c - коефіцієнт попиту енергії окремих споживачів; $\operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт навантаження окремих споживачів.

Загальна активна потужність споживачів мережі 6 кВ:

1) Механізми безперервного транспорту

($K_{u1} = 0,6$ $K_{C1} = 0,55$, $\cos \varphi_1 = 0,75$, $\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,88$):

$$P_1 = 1000 \cdot (3000 + 2000 + 630 + 630 + 640 + 264 + 150 + 300 + 150 + 800 + 2000 + 10000) = 20560000 \text{ Вт} \quad (4.4)$$

2) Насоси, вентилятори ($K_{u2} = 0,65$ $K_{C2} = 0,8$, $\cos \varphi_2 = 0,8$, $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,75$):

$$P_2 = 1000 \cdot 500 = 500000 \text{ Вт}; \quad (4.5)$$

3) Механізми циклічного транспорту ($K_{u3} = 0,3$ $K_{C3} = 0,5$ $\cos \varphi_3 = 0,45$ $\operatorname{tg} \varphi_3 = 1,98$):

$$P_3 = 1000 \cdot (40 + 90 + 72 + 45) = 247000 \text{ Вт} \quad (4.6)$$

$$P_{\Sigma} = P_1 \cdot K_{c1} + P_2 \cdot K_{c2} + P_3 \cdot K_{c3} = 11830000 \text{ Вт} \quad (4.7)$$

Загальна реактивна потужність споживачів мережі 6 кВ:

$$Q_{\Sigma} = P_1 \cdot tg_{\varphi 1} + P_2 \cdot tg_{\varphi 2} + P_3 \cdot tg_{\varphi 3} = 18960000 \text{ BAp} \quad (4.8)$$

Повна потужність споживачів 6 кВ:

$$S_{(6)} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{11830000^2 + 18960000^2} = 22350000 \text{ BA} \quad (4.9)$$

Загальна активна потужність споживачів мережі 0.4 кВ:

1) Механізми безперервного транспорту ($\kappa_{u1} = 0,6$, $\kappa_{c1} = 0,55$, $\cos \varphi_1 = 0,75$, $tg_{\varphi 1} = 0,88$):

$$P_1 = 1000 \cdot (150 + 120 + 180 + 264 + 150) = 864000 \text{ Bm} \quad (4.10)$$

2) Вентилятори, насоси ($\kappa_{u2} = 0,65$, $\kappa_{c2} = 0,8$, $\cos \varphi_2 = 0,8$, $tg_{\varphi 2} = 0,75$):

$$P_2 = 1000 \cdot (40 + 74) = 114000 \text{ Bm} \quad (4.11)$$

3) Механізми циклічного транспорту ($\kappa_{u3} = 0,3$, $\kappa_{c3} = 0,5$, $\cos \varphi_3 = 0,45$, $tg_{\varphi 3} = 1,98$):

$$P_3 = 1000 \cdot (90 + 45) = 135000 \text{ Bm} \quad (4.12)$$

$$P_{\Sigma} = P_1 \cdot \kappa_{c1} + P_2 \cdot \kappa_{c2} + P_3 \cdot \kappa_{c3} = 821400 \text{ Bm} \quad (4.13)$$

Загальна реактивна потужність споживачів мережі 0.4 кВ

$$q_{\Sigma} = P_1 \cdot tg_{\varphi 1} + P_2 \cdot tg_{\varphi 2} + P_3 \cdot tg_{\varphi 3} = 1016000 \text{ BAp} \quad (4.14)$$

Повна потужність споживачів 0.4 кВ:

$$s_{(0,4)} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + q_{\Sigma}^2} = \sqrt{821400^2 + 1016000^2} = 1306000 \text{ BA} \quad (4.15)$$

Отже сумарна потужність усіх споживачів дорівнює:

$$S = S_{(6)} + s_{(0,4)} = 22350000 + 1306000 = 23660000 \text{ BA} \quad (4.16)$$

Результати розрахунку зведемо у (табл. 4.2).

Таблиця 4.2- Розрахункові потужності споживачів електроенергії

Назва груп споживачів	Розрахункова потужність		
	$P_{роз}$, кВт	$Q_{роз}$, кВАр	$S_{роз}$, кВА
1	2	3	4
Споживачі 6 кВ			
ТСЗН-1250/10	10000	7500	12500
ТСЗН 800 10/УЗ	800	600	1000
ТЭС 1000/10	2000	1500	2500
Двигун СК-2	3000	2640	3996
Двигун СК-3	630	554,4	839,2
Двигун СК-1	2000	1760	2664
Двигун СК-4	630	554,4	839,2
Двигун СК-5	630	554,4	839,2
ГВУ	500	440	640,3
Всього приймачів 6 кВ			20500
Споживачі 0,4 кВ			
Живильник №1, №2	150	112,5	187,5
Освітлення	50	17,5	52,9
Кран-балка №1	40	79,2	88,8
ШФМ	180	158,4	239,7
Шламові насоси №1, №2, №3	90	67,5	112,5
Зварювальний трансформатор	200	536	572,2
Живильник №1, №2, №3, №4	120	90	150
Вентилятор	45	33,75	56,25
Кран мостовий	74	128,7	148,5
Двигун СК-6	264	232,5	351,6
Монорейкова дорога	150	132	200
Всього споживачів 0,4 кВ			2160
Інші споживачі			1000
Всього			23660

Оскільки до складу електроспоживачів цеху ДФ-3 входять споживачі, віднесені до першої та другої категорії за надійністю електропостачання, то на підстанції необхідно передбачити необхідне резервування та встановити два силових трансформатори однакової потужності.

Встановлену потужність трансформаторів вибирають з умови завантаження на 60-70% у нормальному режимі роботи. При виникненні аварійного режиму один силовий трансформатор має забезпечити безперебійну роботу усіх споживачів.

За отриманими в результаті виконаних розрахунків значеннями потужності споживачів електроенергії обираємо силові трансформатори, перевіряючи наступну умову:

$$S_{нтр(б)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}}, \quad (4.17)$$

де $K_{1-2} = 0,8$ - коефіцієнт, який враховує наявність споживачів першої та другої категорій;

$K_{зм} = 0,85$ - коефіцієнт зсуву максимуму навантаження;

$K_{пер} = 1,1 \div 1,3$ - коефіцієнт перевантаження;

$\eta_c = 0,9$ - коефіцієнт корисної дії мережі.

$$S_{нтр(б)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 23660000}{0,9 \cdot 1,1} = 13750000 \text{ ВА} \quad (4.18)$$

$$S_{нтр(0.4)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 2160000}{0,9 \cdot 1,1} = 1255000 \text{ ВА} \quad (4.19)$$

На основі розрахунку обираю силові трансформатори, паспортні данні яких наведено у (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Паспортні данні силових трансформаторів

Тип трансформатора	P_n , кВА	Кількість, од	Номинальна напруга, кВ		Втрати трансформатору, кВт		u_k , %	I_{xx} , %
			$U_{1н}$	$U_{2н}$	ΔP_{xx}	$\Delta P_{кз}$		
ТД 10000/35У1	10000	2	35	6	50	130	8,3	3,5
ТСЗП 1600/6У1	1600	2	6	0,4	2,35	12,2	6,5	1,5

4.2 Визначення струмів короткого замикання

4.2.1 Складання та розрахунки схеми заміщення

Принципова схема з вихідними даними та відповідна схема заміщення мережі електропостачання зображено на рис.4.1.

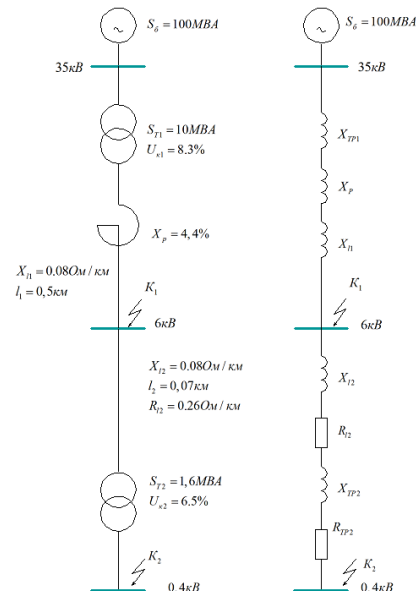


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема струмів короткого замикання та схема заміщення

4.2.2 Визначення струмів короткого замикання в розрахунковій точці K1

Для визначення струму короткого замикання у розрахунковій точці K1 задаємо $S_{\delta} = 100 \text{ MVA}$,
 $U_{\delta} = 6,3 \text{ кВ}$.

Розраховуємо реактивний опір у відносних одиницях для силового трансформатора ТД 10000/35У1.

$$X_{\text{ТП1}} = \frac{u_x \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{\text{нс}}} = \frac{8,3 \cdot 100000000}{100 \cdot 10000000} = 0,83 \quad (4.20)$$

Розраховуємо реактивний опір у відносних одиницях для реактора:

$$X_{\text{Р}} = \frac{x_{\text{Р}} \cdot S_{\delta}}{U_{\text{Н}}^2} = \frac{2,2 \cdot 100000000}{6300^2} = 5,54 \text{ Ом} \quad (4.21)$$

Відносний індуктивний опір кабельної лінії 6,3 кВ:

$$X_{\text{Л1}} = \frac{X_{\text{Л1}} \cdot l_1 \cdot S_{\delta}}{U_{\text{Н}}^2} = \frac{0,08 \cdot 0,5 \cdot 100000000}{6300^2} = 0,1 \quad (4.22)$$

де $X_{\text{Л1}} = 0,08 \text{ Ом/км}$ - питомий індуктивний опір кабельної лінії 6 кВ;

$l_1 = 0,5 \text{ км}$ - довжина кабельної лінії 6 кВ.

Визначаємо повний опір схеми заміщення у точці на стороні 6 кВ:

$$X_{\Sigma 1} = X_{\text{Р}} + X_{\text{ТП1}} + X_{\text{Л1}} = 5,54 + 0,83 + 0,1 = 6,47 \text{ Ом} \quad (4.23)$$

Базисний струм дорівнює:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{100000000}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 9175 \text{ А}$$

Остаточно, струм короткого замикання в точці K1 буде дорівнювати:

$$I_{\text{кз1}} = \frac{I_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{9175}{6,47} = 1418 \text{ А} \quad (4.24)$$

Оскільки до шин 6кВ підключено двигуни значної потужності, то ударний струм короткого замикання буде складатися з двох складових: ударного струму від системи електропостачання та ударного струму від електродвигунів:

$$i_{y1} = i_{\text{уд.сис}} + i_{\text{уд.двиг}} \quad (4.25)$$

Ударний струм від системи електропостачання:

$$I_{\text{уд.сис}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{\text{кз1}} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 1418 = 3598 \text{ А} \quad (4.26)$$

Ударний струм від електродвигунів:

$$i_{\text{уд.двиг}} = 6,5 \cdot \sum \frac{n \cdot P_{\text{ном}}}{1,73 \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} =$$

$$= 6,5 \cdot \left(\frac{7 \cdot 1000 + 6 \cdot 315 + 264 + 150 + 180 + 120}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,75} + \frac{500 + 3 \cdot 30 + 45}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,8} + \frac{40 + 37}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 0,45} \right) =$$

$$= 1945 \text{ А} \quad (4.27)$$

Остаточно отримаємо:

$$i_{y1} = 3598 + 1945 = 5543 \text{ А} \quad (4.28)$$

Потужність короткого замикання на стороні 6 кВ:

$$S_{\text{кз}} = \frac{S_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{6,47} = 15,5 \text{ MVA} \quad (4.29)$$

4.2.3 Визначення струмів короткого замикання в розрахунковій точці K2

Для визначення струму короткого замикання у розрахунковій точці K2 задаємо $S_{\delta} = 100 \text{ MVA}$,
 $U_{\delta} = 0,4 \text{ кВ}$.

Розраховуємо активний опір у відносних одиницях для силового трансформатора ТД 10000/35У1.

$$R_{TP1} = \frac{\Delta P_{\Delta l} \cdot S_{\delta}}{S_{HTP1}} = \frac{130 \cdot 100000000}{10000000^2} = 0,00013 \quad (4.30)$$

Розраховуємо активний опір у відносних одиницях для силового трансформатора ТСЗП 1600/6У1.

$$R_{TP2} = \frac{\Delta P_{\Delta l} \cdot S_{\delta}}{S_{HTP2}} = \frac{12,2 \cdot 100000000}{1600000^2} = 0,000476 \quad (4.31)$$

Розраховуємо індуктивний опір силового трансформатора ТСЗП 1600/6У1 у відносних одиницях.

$$X_{TP1} = \frac{u_k \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{6,5 \cdot 100000000}{100 \cdot 1600000} = 4,06 \quad (4.32)$$

Відносний індуктивний опір кабельної лінії 6,3 кВ:

$$X_{L1} = \frac{X_{l1} \cdot l_1 \cdot S_{\delta}}{U_n^2} = \frac{0,08 \cdot 0,07 \cdot 100000000}{6300^2} = 0,014 \quad (4.33)$$

де $X_{l1} = 0,08 \text{ Ом/км}$ - питомий індуктивний опір кабельної лінії 6 кВ;
 $l_1 = 0,5 \text{ км}$ - довжина кабельної лінії.

Відносний активний опір кабельної лінії 0,4кВ:

$$R_{L2} = \frac{R_{l2} \cdot l_1 \cdot S_{\delta}}{U_n^2} = \frac{0,26 \cdot 0,07 \cdot 100000000}{6300^2} = 0,045 \quad (4.34)$$

Реактивний опір у точці K_2 на стороні 6 кВ:

$$X_{\Sigma 2} = X_P + X_{TP1} + X_{L1} + X_{TP2} + X_{L2} = 5,54 + 0,83 + 0,1 + 4,06 + 0,014 = 10,54 \quad (4.35)$$

Активний опір у точці K_2 на стороні 0,4 кВ:

$$R_{\Sigma 2} = R_{L2} + R_{TP2} + R_{TP1} = 0,00013 + 0,000476 + 0,045 = 0,45 \quad (4.36)$$

Сумарний опір у точці K_2 на стороні 0,4 кВ:

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{R_{\Sigma 2}^2 + X_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{0,45^2 + 10,54^2} = 10,55 \quad (4.37)$$

Базисний струм дорівнює:

$$I_6 = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{100000000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144337,4 \quad (4.38)$$

Остаточно, струм короткого замикання в точці K2 буде дорівнювати:

$$I_{кз2} = \frac{I_6}{Z_{\Sigma 2}} = \frac{144337}{10,55} = 13681 \text{ А} \quad (4.39)$$

Визначимо амплітуду ударного струму короткого замикання на стороні 0,4 кВ:

$$I_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{кз2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 13681 = 34476,4 \quad (4.40)$$

Потужність короткого замикання на стороні 0,4 кВ:

$$S_{кз} = \frac{S_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{10,55} = 9,47 \text{ МВА} \quad (4.41)$$

4.3 Вибір провідникової та комутаційної апаратури

4.3.1 Вибір провідникової та комутаційної апаратури в мережі більше 1000 В

Розрахунковий струм навантаження силового трансформатора ТД 10000/35У1 на стороні напруги більше 1000 В

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 917,4 \quad (4.42)$$

Спираючись на значення розрахункового струму навантаження обираємо кабель типу АВВГ 3х350 перерізом 3х240 мм² з тривало припустимим струмом 1530 А.

Перевіряємо обраний кабель на термічну стійкість за умовою:

$$S_{ui} = \frac{I_{kзи} \cdot \sqrt{t_{np}}}{c} = \frac{1418 \cdot 1,6}{85} = 27 \text{ мм}^2 \quad (4.43)$$

$$S_{\min} < S_{расч}, 257 \text{ мм}^2 \leq 1200 \text{ мм}^2 \quad (4.44)$$

Спираючись на значення розрахункового струму навантаження $I_{p1} = 917 \text{ А}$ обираємо алюмінієві шини типу ШМАД за номінальним струмом 1320 А. Геометричні розміри поперечного перетину шини $h = 80 \text{ мм}$, $b = 10 \text{ мм}$. Відстань між ізоляторами $L = 160 \text{ мм}$. Відстань між шинами $a = 144 \text{ мм}$.

За розрахунковим значенням струму навантаження обираємо масляний вимикач типу ВМЕ-6.

Розрахунковий струм навантаження на стороні 6 кВ з урахуванням впливу шинопроводу:

$$I_{p2} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,7 \text{ А} \quad (4.45)$$

Спираючись на розрахункове значенням струму навантаження, обираємо кабель типу АВВГ 3х10 перерізом 3х10 мм² з тривало припустимим струмом 170 А.

Обираємо силові запобіжники для внутрішньої установки на напругу вище 1000 В типу ПК 6 з наступними технічними характеристиками:

$$I_{\max} = 20 \text{ кА}, \quad I_{зр.с} = 35 \text{ кА}, \quad S_{\max 3\phi аз} = 20 \text{ МВА}$$

Згідно вимог ПУЕ, опір заземлюючого контуру в установках зі струмами замикання на землю $I_3 > 500 \text{ А}$ має не перевищувати $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$.

За цими вихідними даними обираємо заземлювач типу ЗОН-110М-1-400 з наступними технічними характеристиками:

- номінальна напруга $U_n = 35 \text{ кВ}$;
- номінальний струм $I_n = 300 \text{ А}$;
- амплітуда граничного струму $I_{np.cm} = 16 \text{ кА}$;
- номінальний струм термічної стійкості $I_{m.cm} = 6,3 \text{ кА}$.

Вибираємо роз'єднувач РВР-III-6/2000 УЗ:

- номінальна напруга $U_n = 6 \text{ кВ}$;
- максимальна робоча напруга $U_{p,max} = 7,5 \text{ кВ}$;
- граничний наскрізний струм – 85 кА;
- струм термічної стійкості – 31,5 кА.

4.3.2 Вибір провідникової та комутаційної апаратури в мережі менше 1000 В

Розрахунковий струм навантаження силового трансформатора ТСЗП 1600/6УЗ на стороні напруги менше 1000 В:

$$I_{p3} = \frac{S_3}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2309 \text{ А} \quad (4.46)$$

Обираємо кабель за величиною розрахункового струму навантаження. Приймаємо 3-х жильний алюмінієвий кабель типу З-АСБ-1 з перерізом жил 3х400 мм² з припустимим струмом 3660 А.

Виконуємо перевірку обраного кабелю на термостійкість струму короткого замикання при його установленому значенні:

$$S_{\min} = \frac{I_{кзк} \cdot \sqrt{t_{кзп}}}{c_k} = \frac{34476 \cdot 1,6}{85} = 257 \text{ мм}^2 \quad (4.47)$$

$$S_{\min} < S_{расч}, 257 \text{ мм}^2 \leq 1200 \text{ мм}^2 \quad (4.48)$$

Умови перевірки обраного кабелю за термічною стійкістю виконуються.

Спираючись на значення розрахункового струму навантаження $I_{p4} = 2.3 \text{ кА}$ обираємо алюмінієві шини типу ШМА 68 за номінальним струмом 4000 А. Геометричні розміри поперечного перетину обраної шини $h = 120 \text{ мм}, b = 10 \text{ мм}$. Відстань між ізоляторами $L=250 \text{ мм}$. Відстань між шинами $a=150 \text{ мм}$. Розрахунковий струм навантаження на стороні 0,4 кВ з урахуванням впливу шинопроводу:

$$I_{p5} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 190,4 \quad (4.49)$$

Спираючись на розрахункове значення струму навантаження, обираємо кабель типу АСБ-1 перерізом $3 \times 10 \text{ мм}^2$ з тривало припустимим струмом 300 А.

Висновки до розділу 4

В четвертому розділі на основі проведених розрахунків схеми електропостачання дробарної фабрики ДФ-3 ПАТ «ПівнГЗК» виконано розрахунок сумарної електричної потужності, яку споживають споживачі 6кВ та 0.4кВ. Виходячи з сумарної потужності споживачів було обрано кількість та потужність силових трансформаторів на цеховій підстанції. Для живлення споживачів 6кВ обрано силовий трансформатор типу ТД 10000/35У1 (2 од.). Для живлення споживачів 0.4кВ обрано силовий трансформатор типу ТСЗП 1600/6У1 (2 од.).

Спираючись на принципову схему цехового електропостачання, розроблено схему заміщення ділянки системи електропостачання та виконано розрахунок струмів короткого замикання на ділянках живлячої мережі до 1000 В та більше 1000 В. На основі отриманих значень струмів короткого замикання було обрано кабельну продукцію, обрано апаратуру керування та захисту, обрано струмоведучі шини. Виконано їх перевірку на термічну стійкість.