

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра електромеханіки та мехатроніки



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА
на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
ГВИНТОВОГО КОМПРЕСОРА»**

Здобувача Циганкова В.В.
II курсу групи АЕМмз-20
Керівник доцент Шейда Голбад К.А.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту
Рішення кафедри від 17.06.2024р., протокол №: 12.
Завідувач кафедри Е та М _____ Петро ОСАДЧУК**

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Автоматизація та робототехніка

Кафедра: Електромеханіка та мехатроніка

Ступень вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ЕтаМ
д.т.н., доц. Осадчук П.І.

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧА

Циганкова Віталія Віталійовича

1. Тема роботи: «Дослідження та вдосконалення енергоефективності частотного електроприводу гвинтового компресора»

Керівник роботи: Шейда Голбад Камбіз Ахмадович, доктор філософії, доцент.

Затверджено наказом ОНТУ № 663-03 від 06.11.2023р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 17.06.2024р.

3. Вихідні дані роботи: Технічні характеристики повітряного гвинтового компресора

4. Перелік питань, які потрібно розробити: розгляд конструктивних особливостей, вибір двигуна, частотного перетворювача для нього, розрахунок потужності, системи управління, розробка керування електроприводу повітряного гвинтового компресора.

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: 1. Титульний слайд. 2. Актуальність теми, об'єкт проектування, мета і завдання роботи. 3. Будова та принцип дії гвинтового компресора 4. Види гвинтових компресорів. 5. Технічні характеристики гвинтового компресора. 6. Кінематична схема приводу компресора. 7. Розрахунок параметрів механічної передачі та потужності двигуна. 8. Розрахунок і вибір двигуна. 9 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення. 10. Технічні характеристики ПЧ SINAMICS G120X. 11. Зовнішній вигляд частотного перетворювача. 12. Схема підключення кола управління ПЧ SINAMICS G120X. 13. Схема моделі прямого пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. 14. Діаграми напруг струмів тощо.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз літературних джерел	Шейда Голбад К. А., доцент		
2. Вибір електроприводу	Шейда Голбад К. А., доцент		
3. Визначення параметрів апаратури управління	Шейда Голбад К. А., доцент		
4. Економічна обґрунтованість			
5. Охорона праці			

7. Дата видачі завдання: «05» 02. 2024 р.

Керівник _____ Шейда Голбад К.А.

Завдання прийняв до виконання _____ Циганков В.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів	Прим.
1	Загальна характеристика роботи. Опис гвинтового повітряного компресора. Актуальність теми. Об'єкт дослідження. Мета роботи.	05.04.2024	
2	Конструкція і технічні характеристики гвинтового повітряного компресора. Розрахунок кінематичної схеми компресора і потужності двигуна його електропривода. Вибір двигуна і ПЧ електропривода. Вибір каналів контролю і управління повітряного компресора.	30.04.2024	
3	Дослідження роботи моделі електропривода гвинтового повітряного компресора системи ПЧ-АД на ЕОМ: Розрахунок параметрів схеми заміщення АД електродвигуна для MATLAB та розробка математичної моделі електропривода повітряного компресора і дослідження її роботи.	10.05.2024	
4	Економічна частина: розрахунок економічної ефективності від модернізації електропривода повітряного компресора. Охорона праці	01.06.2024	
5	Висновки. Список літератури.	05.06.2024	
	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра.	17.06.2024	
	Перевірка роботи на добросовісність. Рецензування роботи.	14.06.2024	
	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2024	

Здобувач-дипломник _____ Циганков В.В.

Керівник _____ Шейда Голбад К.А.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Циганков В.В.

РЕФЕРАТ

Циганков В.В. Дослідження та вдосконалення енергоефективності частотного електроприводу гвинтового компресора . Кваліфікаційна робота магістра. ОНТУ, 2024. – 77 с., 32 іл., 5 табл.

В роботі описана робота поршневих і гвинтових повітряних компресорів та їх достоїнства та недоліки. Обґрунтована актуальність теми, обраний об'єкт та ціль модернізації електропривода гвинтового компресора.

Приведена технічна характеристика компресора гвинтового повітряного компресора. Розрахована потужність двигуна та обраний перетворювач частоти для електропривода гвинтового повітряного компресора системи ПЧ-АД. Розроблені математичні моделі електропривода компресора до і після його модернізації у середовищі MATLAB/Simulink та приведені результати модулювання.

Описана організація та технологія монтажу, ремонту і обслуговування електропривода гвинтового повітряного компресора та техніка безпеки і охорони праці.

Модернізація електропривода компресора дозволяє плавно і дистанційно регулювати його продуктивність та тиск повітря зміною частоти обертання його двигуна і зменшити питомі витрати електроенергії.

Економічний ефект від модернізації електропривода компресора складає 115 тис. грн./рік, строк окупності 1,3 роки. Модернізація електропривода компресора технічно і економічно доцільна та пропонується для впровадження на підприємствах України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: гвинтовий повітряний компресор, асинхронний двигун, електропривод, перетворювач частоти, модель частотного електроприводу.

ABSTRACT

Tsygankov V.V. Research and improvement of the energy efficiency of the frequency electric drive of the screw compressor. Master's qualification work. ONTU, 2024. - 77 p., 32 illustrations, 5 tables.

The work describes the operation of piston and screw air compressors and their advantages and disadvantages. Reasoned relevance of the topic, the selected object and the goal of modernization of the electric drive of the screw compressor.

The technical characteristics of the compressor of the screw air compressor are given. The calculated engine power and the selected frequency converter for the electric drive of the screw air compressor of the PH-AD system. Mathematical models of the compressor electric drive before and after its modernization were developed in the MATLAB/Simulink environment and the results of the modulation were presented.

The organization and technology of installation, repair and maintenance of the electric drive of the screw air compressor and safety and occupational health and safety techniques are described.

Modernization of the electric drive of the compressor allows you to smoothly and remotely adjust its performance and air pressure by changing the frequency of rotation of its engine and reduce the specific consumption of electricity.

The economic effect of modernizing the electric drive of the compressor is 115,000 UAH /year, the payback period is 1,3 years. Modernization of the electric drive of the compressor is technically and economically feasible and is proposed for implementation at enterprises of Ukraine.

KEY WORDS: screw air compressor, asynchronous motor, electric drive, frequency converter, frequency electric drive model.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	10
1.1 Загальні відомості	10
1.2 Класифікація компресорних машин	12
1.3 Гвинтові компресори та переваги їх установки	18
1.4 Сучасні питання економії споживання електроенергії	20
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА	26
2.1 Вибір повітряного гвинтового компресора	26
2.2 Вибір електродвигуна	28
2.3 Розрахунок номінальних даних двигуна	31
2.4 Розрахунок кінематичної схеми привода гвинтового компресора	32
2.5 Вимоги до електропривода повітряного гвинтового компресора	34
2.6 Електрична принципова схема релейно-контакторного управління гвинтового компресора	36
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ	38
3.1 Загальні положення	38
3.2 Вибір перетворювача частоти	39
3.3 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення	42
3.4 Постановка задачі моделювання роботи електропривода на ПЕОМ	44
3.5 Моделювання прямого пуску двигуна електропривода	49
3.6 Моделювання пуску двигуна електропривода компресора з ПЧ-АД	53
3.7 Ремонт електропривода гвинтових повітряних компресорів	59
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	65
4.1 Визначення капітальних витрат	65

					КРМ.ЕтаМ.1.663-03.2.3							
Зм.	АРК.	№ документа	Підпис	Дата	Дослідження та вдосконалення електроприводу гвинтового компресору			Літера	Аркуш	Аркушів		
Розробив	Циганков В.В.							у	6	77		
Керівник	ШейдаГолбад К.А.							ОНТУ Гр, АЕМмз-20				
Реценз.												
Консульт.												

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	69
5.1 Небезпека при роботі зі стисненим повітрям	69
5.2 Електробезпека	71
5.3 Пожежна безпека	72
5.3.1 Первинні засоби пожежогасіння	74
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	77

ВСТУП

В сучасному світі на частку електродвигунів припадає близько 60% витрат електроенергії в промисловості та комунальному господарстві. При цьому, більшість споживають приводні системи вентиляторів, компресорів, насосів та інших установок з циклічним режимом навантаження.

Через російську агресію, перед багатьма промисловими підприємствами і підприємствами ЖКГ гостро постало завдання зменшення енерго- і ресурсоемності своєї продукції. Швидке зростання цін на енергоносії та ресурси призвело до того, що частка витрат у сумарних витратах на виробництво стала неспівмірно великою.

Електропривод є енергосиловою основою сучасного виробництва і, у свою чергу, серед промислових електроприводів, переважають електроприводи з асинхронними короткозамкненими двигунами, що споживають до 50% енергії споживаної електроприводом. Ці електроприводи завдяки своїй простоті та відносно невисокій вартості знайшли широке застосування в різних механізмах. Загальновідомі та його недоліки - важкий пуск при прямому підключенні до мережі, невисока експлуатаційна надійність, труднощі регулювання швидкості.

Характерним прикладом використання асинхронних двигунів є насосні станції холодного та гарячого водопостачання та системи опалення. Цей тип механізмів споживає не менше 20-25% всієї електроенергії, що виробляється. У переважній більшості випадків електроприводи механізмів є нерегульованими, що не дозволяє забезпечити режим раціонального енергоспоживання та витрати при зміні технологічних потреб у широких межах. Вибрані, виходячи з максимальної продуктивності, ці механізми значну частину часу працюють із меншою продуктивністю, що визначається зміною потреби у різні періоди часу. З впровадженням у виробництво керованого управління електроприводом якісно змінюється форма та характер праці, підвищується безпека, кваліфікація та рівень знань робітників.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						8
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.		

Актуальність теми. Підвищений рівень споживання електроенергії є наслідком низького ККД насосних установок витрати енергоресурсів. Аналіз на багатьох підприємствах показує, що вирішення цього завдання має два напрями - організаційно-технічні заходи, спрямовані на виключення марного витрачання енергоресурсів, та впровадження енергоефективних технологій та енергозберігаючого обладнання, що дозволяють виконати той самий обсяг робіт за менших витрат енергії.

Об'єктом дослідження в даній роботі є гвинтовий компресор.

Предмет дослідження – електропривід гвинтового компресора.

Метою роботи є розробка керованого електроприводу гвинтового компресору із збільшенням його продуктивності шляхом регулювання частоти обертання роторів гвинтів за допомогою частотного перетворювача, що забезпечує виконання таких вимог: економія електроенергії; можливість гнучкого налаштування приводу при змінних режимах роботи.

Методи дослідження. Для модернізації обрано електропривід компресорної установки та асинхронний електродвигун відповідної потужності, розраховано його параметри та побудовано механічні та електромеханічні характеристики двигуна, складено функціональні та структурні схеми замкнутої системи частотно-регульованого електроприводу та вивчено перехідні характеристики в пакеті прикладних програм MATLAB.

Наукова та практична новизна одержаних результатів. Результати досліджень дають можливість стверджувати, що система частотного керування з використанням векторно-керованого асинхронного електродвигуна, забезпечує високу точність, надійність та економічність його роботи. Електропривод з частотно-керованим електродвигуном може бути рекомендовано для використання при проектуванні нових та реконструкції діючих компресорних установок.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Загальні відомості

Компрéсор (англ. compressor, нім. Kompressor m, Verdichter m) — машина для стискування повітря або іншого газу до надлишкового тиску не нижче 0,2 МПа, компресії і переміщення газів під тиском. В даний час важко уявити будь-яку галузь промисловості без такого обладнання, як компресори.

Перші згадки про компресори відносяться до давніх цивілізацій. Наприклад, ковалі Стародавнього Єгипту та Риму використовували примітивні міхи для роздмухування вогню. Ці пристрої були шкіряними мішками, які вручну стискалися і розширювалися, нагнітаючи повітря. Дерев'яний сильфон, винайдений Китаєм в 1500 році до нашої ери, є прототипом поршневого компресора. Згодом, потреба у більш ефективних методах компресії повітря зростає, що призвело до винаходу складніших механізмів. В 1640 році перший (механічний) вакуумний насос, виготовлений в Німеччині, став творцем усіх сучасних машин для стиснення повітря. Принцип роботи гвинтового компресора без внутрішнього стиснення, що стало народженням першого прототипу, було запропоновано німецьким інженером Генріхом Крігаром (Heinrich Krigar). У березні 1878 року він отримав патент, який зафіксував його авторство. Через півроку йому було видано патент на перероблену та покращену конструкцію гвинтового компресора.

Промислова революція XVIII і XIX століть ознаменувала значний стрибок у розвитку компресорів. У цей період були розроблені перші поршневі компресори, які використовували принцип зворотно-поступального руху поршня для стиснення повітря. Ці пристрої були механічними та приводилися в дію паровими двигунами чи водяними колесами. Прикладом таких компресорів можна назвати установки, що використовуються для подачі повітря в шахти та доменні печі. Не зважаючи на те, що патенти на конструкції гвинтових компресорів з'явилися ще у другій половині XIX століття, на той час не було можливим виготовити ротори гвинтової пари з необхідною точністю. Перша

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		10

працездатна конструкція двошнекового компресора, також відомого як нагнітач (або компресор) з'явилася у червні 1935 року. Шведський інженер Альф Лісхольм (Alf Lysholm) запатентував технологію серійного виробництва гвинтових компресорів виготовлення цих машин. У 1954 році право на виробництво та продаж гвинтових компресорів за технологією інженера Лісхольму придбала компанія Atlas Copco. Сьогодні гвинтові компресори Atlas Copco відомі у всьому світі. Потім, у 1934 р. був отриманий перший патент головного інженера заводу SRM, за іменем його винахідника Ельфа Лісхольма. З появою електрики на початку ХХ століття компресори отримали новий імпульс розвитку. Електричні мотори дозволили значно покращити контроль над процесом компресії та підвищити продуктивність. Це призвело до масового виробництва компресорів, які стали основними у промисловості та будівництві. Одним із значних нововведень середини ХХ століття став винахід гвинтових компресорів. На відміну від поршневих, гвинтові компресори використовували два ротори, що обертаються у протилежних напрямках. Це дозволило значно знизити вібрації та шум, а також покращити ефективність та надійність роботи. Гвинтові компресори швидко знайшли широке застосування у різних галузях завдяки своїй універсальності та довговічності.

Компресорні станції є джерелами отримання стиснутого повітря на різних промислових підприємствах і будівельних майданчиках. Особливо велику кількість стиснутого повітря споживають підприємства машинобудівельної, металургійної, вугільної, хімічної, нафтової і суднобудівельної промисловості.

Стиснуте повітря застосовують для здійснення механічної роботи, отримання необхідних газів для різних процесів і реакцій, де повітря використовується завдяки наявності в нім кисню, і т.д.

Володіючи основними властивостями, властивими газам, повітря має ряд особливостей, що полегшують його широке застосування: не конденсується, не має специфічних шкідливих властивостей і не вогнебезпечний. Ці особливості повітря дають можливість широко застосовувати його як енергоносіє.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						11
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

Повсюдне застосування стиснутого повітря для технологічних процесів і механізації робіт пояснюється також тим, що він володіє хорошою транспортабельністю, тобто його зручно передавати від місця отримання до місць споживання по трубах або в балонах.

Стиснуте повітря використовується в різних пневмоприймачах, пневмообладнанні, пневмоінструментах, апаратах і т.д. Особливо необхідне стиснуте повітря для роботи в небезпечних умовах, де можливе утворення вибухів і пожеж при застосуванні електричної енергії.

1.2. Класифікація компресорних машин

Узагальнений термін компресорна машина стосується, власне, компресорів, вентиляторів та вакуумних насосів. Всі вони призначені для нагнітання газів з області низького в область високого тиску і класифікуються залежно від ступеня підвищення тиску робочого тіла (π) – відношення кінцевого тиску газу на виході з машини до початкового тиску на вході до неї. Компресори працюють в оптимальному режимі при $\pi > 3,0$. При значеннях $\pi < 1,1 \dots 1,2$, компресори без охолодження можуть називати повітродувками, нагнітачами або продувними насосами. Вентилятори, на відміну від інших компресорних машин, працюють майже без підвищення тиску (в оптимальному режимі $\pi = 1 \dots 1,15$) і тому їх основною задачею є переміщення газів. Вакуум-насоси призначені для видалення газів і пари з посудин за тиску в них менше атмосферного. Ступінь підвищення тиску насосів може бути високим, але кінцевий тиск у них, як правило, дорівнює атмосферному.

Окрім такої якісної ознаки як степінь підвищення тиску, компресори можна класифікувати також за досить широкою низкою функціональних або конструктивних ознак, наприклад, за:

- галуззю виробництва, для якого вони призначені – хімічні, енергетичні, холодильні, загального призначення тощо;
- видом стиснутого середовища – повітряні, азотні, етиленові, кисневі, аміачні, фреонові, вуглекислотні і т.д.;

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		12

- числом циліндрів (для поршневих) – одно- та багатоциліндрові;
- тиском всмоктування – нормальні (тиск всмоктування рівний атмосферному) та дожимні (тиск більший атмосферного);
- видом приводу – механічні (від трансмісій, валів, локомотивних осей тощо); електричні (переважно від двигунів змінного струму); паросилові (від парової машини чи турбіни); газотурбінні; від двигуна внутрішнього згорання та газомоторні (єдина конструкція «газовий двигун–компресор»);
- числом ступенів послідовного стиснення – одно- та багатоступінчаті;
- розташуванням агрегата або умов експлуатації – стаціонарні (встановлені на нерухомому масивному фундаменті); транспортні або рухомі (переміщуються зі своєю фундаментною рамою або на спеціальному візку), автономні;
- наявністю охолодження: неохолоджувані – без штучного охолодження; охолоджувані водою або повітрям, охолоджувані впорскуванням рідини у стискуване тіло; газів і пари з посудин за тиску в них менше атмосферного.

Окрім такої якісної ознаки як степінь підвищення тиску, компресори можна класифікувати також за досить широкою низкою функціональних або конструктивних ознак, наприклад, за:

- галуззю виробництва, для якого вони призначені – хімічні, енергетичні, холодильні, загального призначення тощо;
- видом стискуваного середовища – повітряні, азотні, етиленові, кисневі, аміачні, фреонові, вуглекислотні і т.д.;
- числом циліндрів (для поршневих) – одно- та багатоциліндрові;
- тиском всмоктування – нормальні (тиск всмоктування рівний атмосферному) та дожимні (тиск більший атмосферного);
- величиною тиску – вакуум-компресори (видаляють газ із простору, де тиск нижче атмосферного і нагнітають у простір, де він рівний або вищий атмосферного); вентилятори (тиск нагнітання до 0,01 МПа); газодувні (тиск нагнітання від 0,01 до 0,15 МПа); власне компресори (тиск нагнітання від 0,15 МПа і більше);

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		

малі маса та габарити на одиницю подачі, що суттєво менші в порівнянні з поршневи́ми компресорами, які мають таку саму подачу та тиск; повна динамічна урівноваженість машини; висока економічність та надійність роботи (адіабатний індикаторний ККД гвинтового компресора зазвичай $\eta_{\text{інд}\cdot\text{ад}} = 0,82\dots 0,85$). Гвинтові компресори дозволяють отримувати відчутну економію електроенергії. Крім того, гвинтові компресори не часто вимагають ремонту (період безремонтної експлуатації на багато довше, ніж у поршневих), для їх обслуговування не потрібний спеціальний персонал, та й фундамент для установки не є необхідністю - тому такі компресори можна встановлювати в безпосередній близькості від споживача стисненого повітря, що, безумовно, дуже зручно. Під час роботи такі установки не потребують подачі води для охолодження, так як охолоджуються виключно повітрям, яке після прямого використання можна направити на обігрів приміщень. Гвинтові компресори видають набагато менше шуму, ніж поршневі, вони практично повністю автоматизовані (що полегшує процес управління системою), а повітря, яке виробляється, містить мінімальну кількість домішок масла або твердих фракцій, що полегшує процес його фільтрації.

1.4 Сучасні питання економії споживання електроенергії

Останніми роками нашої країни склалася така тенденція, що з кожним роком ціни на електроенергію суттєво зростають. Значної економії електроенергії на виробництві можна досягти за рахунок модернізації технологічного обладнання та впровадження нових, енергоефективних технологій. Це дасть практично відразу відчутний ефект. Підвищити енергоефективність можна і без значних капіталовкладень. Велика сфера застосування електродвигунів у виробництві – різні компресори. По результатам багатьох досліджень більше 10% всієї споживаної виробничими підприємствами електроенергії витрачається на електропостачання різного компресорного устаткування. зменшення – застосування перетворювачів частоти, які дозволяють значно скоротити споживання електроенергії з допомогою зменшення номінальних оборотів. З

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						19
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		

систему виробляти саме таку кількість стисненого повітря, яке необхідне для споживача, не утворюючи надлишків. Це дозволяє заощадити до 36% електроенергії, роблячи тим самим гвинтову компресорну систему максимально прийнятною. Протягом двох років таке обладнання окупить свою вартість. Цифрові системи управління, якими оснащені деякі моделі сучасних гвинтових компресорів, дозволяють підтримувати тиск в системі точно на заданому рівні, що також є додатковим джерелом економії енергоресурсів.

Основні втрати електроенергії при використанні компресорного устаткування виникають в процесі перетворення її в тепло. Зразкове процентне співвідношення втрат енергоресурсів має такий вигляд:

- розсіювання при охолодженні масла - близько 72%;
- втрати в процесі роботи двигуна - 10%;
- втрати в процесі кінцевого охолодження стисненого повітря - 10%;
- розсіювання в навколишньому середовищі - близько 3%;
- залишок в стислому повітрі - 5%.

Завдяки сучасним технологіям, які дозволяють раціонально використовувати до 80% енергії, яка виділяється при охолодженні масла - наприклад, на обігрів приміщень або підігрів води для різних технологічних цілей. Крім того, більшість виробників сучасних компресорних систем використовують серійні витратні матеріали, що полегшує експлуатацію обладнання та оптимізує витрати на обслуговування. Незважаючи на те, що гвинтові компресори мають більш високу вартість, ніж поршневі, вони окупаються в найкоротші терміни.

У технічному перетворенні господарства головна роль належить електричним засобам механізації і автоматизації виробничих процесів. Основою збільшення продуктивності машини і виробництва є сучасний електропривод, на частку якого доводиться до 63% загального споживання електроенергії в країні.

Електричні машини широко застосовуються у всіх галузях народного господарства. Несправності електродвигунів виникають в результаті зносу

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		21

деталей і старіння матеріалів, а також при порушенні правил технічної експлуатації. Експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів (АД) в більшій частині залежить від надійності обмоток та їх ізоляції. Ізоляція обмотки асинхронних двигунів є самим вразливим елементом їх конструкції.

Під час експлуатації на АД діють багато різних факторів, результатом яких є погіршення теплового стану двигуна. Відомо, що в загальному зношенні ізоляції визначальним є саме тепловий знос. Також до факторів режимного характеру відносяться:

- перевантаження з боку робочої машини;
- зниження, підвищення та несиметрія напруги мережі;
- неповно фазний режим.

З цього виходить, що аварійність АД – основної частини електропривода – дуже велика, це завдає сільськогосподарському виробництву значні збитки, а також припиняється робота цілого ряду технологічно зв'язаного обладнання. Несправності часто можна установити лише при непрямих ознаках. При цьому приходиться не тільки робити вимір, але і зіставляти виявлені факти з відомими із досвіду і робити аналіз з певними висновками. Дослідження, які спрямовані на вивчення особливостей режимів роботи АД із попередженням аварій є актуальною задачею АД. Фактичний термін їх безвідмовної роботи складає 20...50% часу, встановленого заводом - виготовлювачем. Велика аварійність АД обумовлена особливостями експлуатації їх в агропромисловому комплексі.

При експлуатації електроприводів можливі випадки, коли раніше нормально працюючий привод починає працювати ненормально, тобто електродвигун не запускається; при пуску не набирає номінальних обертів; при роботі гуде, вібриє, перегрівається; сильно іскрять щітки; чується ненормальний шум і т. ін. [4]. Обслуговуючий персонал повинен визначити несправність і при можливості усунути її чи відправити двигун у капітальний ремонт. При визначенні несправності рекомендується визначений порядок. У випадку, коли двигун при роботі перегрівається, необхідно перевірити навантаження, вимірюючи силу струму статора, і контролюючи напругу. У випадку

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		22

перевантаження двигун перегрівається, тоді необхідно зменшити навантаження до номінального. У випадку збільшення або зменшення напруги понад припустимі значення двигун також перегрівається. У цьому випадку, як правило, довести напругу до номінального значення не завжди можливо, тому що напруга регулюється на підстанціях або електростанціях. Для зменшення перегріву двигуна варто зменшити навантаження. При технічному обслуговуванні електропривода проводять їхній огляд і контроль за роботою в терміни, в які запропонований планово-попереджувальний ремонт (ППР).

Електроприводи оглядають тим частіше, чим важчі умови роботи, наприклад велика тривалість розгону електродвигуна, часті пуски, висока температура навколишнього середовища. Конструкція електродвигунів також може впливати на необхідну періодичність їхніх оглядів. Крім того, при встановленні періодичності оглядів треба враховувати і технічний стан електродвигунів, наприклад ступінь їхньої зношеності. У зв'язку з цим періодичність оглядів електроприводів і їхній зміст встановлюються в місцевих інструкціях і графіках ППР, при складанні яких враховують відзначені вище фактори. Важливий елемент інструкції – вимога про підтримку електродвигуна в чистоті – забруднений електродвигун нагрівається під час роботи значно сильніше.

При огляді під час обходів електроприводів перевіряють температуру нагрівання двигунів; стежать за тим, щоб вони містилися в чистоті і поблизу їх не знаходилося би непотрібних предметів, особливо небезпечних у пожежному відношенні; спостерігають, щоб пуск і зупинення електродвигунів проводилися виробничим персоналом за інструкцією та електродвигуни не працювали вхолосту; контролюють напругу електромережі, яка повинна знаходитися в межах 95-110% від номінальної; перевіряють у підшипниках, реостатах і пусковій апаратурі рівень масла; звертають увагу на справність огорожень, які перешкоджають випадковим дотикам до обертових частин електропривода; усувають дрібні несправності (наприклад, замінюють перегорілі запобіжники, регулюють натиск щіток) і проводять зовнішнє очищення електродвигунів.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		23

Контроль за температурою електродвигуна є істотним елементом його експлуатації, тому що найбільш частіші ушкодження електродвигуна викликаються його нагріванням понад гранично припустиму температуру. Розрізняють гранично припустиму температуру нагрівання і гранично припустиме перевищення температури нагрівання окремих частин електричної машини. Гранично припустиме перевищення температури нагрівання визначають шляхом вирахування із гранично припустимої температури нагрівання температури навколишнього середовища, що дорівнює 40°C. Отриманий результат зменшують на 10°C. Це пояснюється необхідністю мати деякий запас на саму гарячу точку обмотки, тому що при вимірюванні температури обмоток методом опору не враховується нерівномірність нагрівання, а вимірюється середнє значення температури.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		24

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Вибір повітряного гвинтового компресора

Компресор нового покоління ALMiG серії GEAR виготовляється на сучасному підприємстві повного циклу в Німеччині та відповідає суворим міжнародним стандартам якості, з редукторним приводом та з частотним регулюванням продуктивності і тиску повітря, з високими вимогами до чистоти повітря. Головні особливості моделі – сучасні можливості енергозбереження, простота монтажу та налаштування, низькі витрати на сервіс.



Рис. 2.1 – Зовнішній вигляд гвинтового повітряного компресора ALMiG серії GEAR XP 30-10

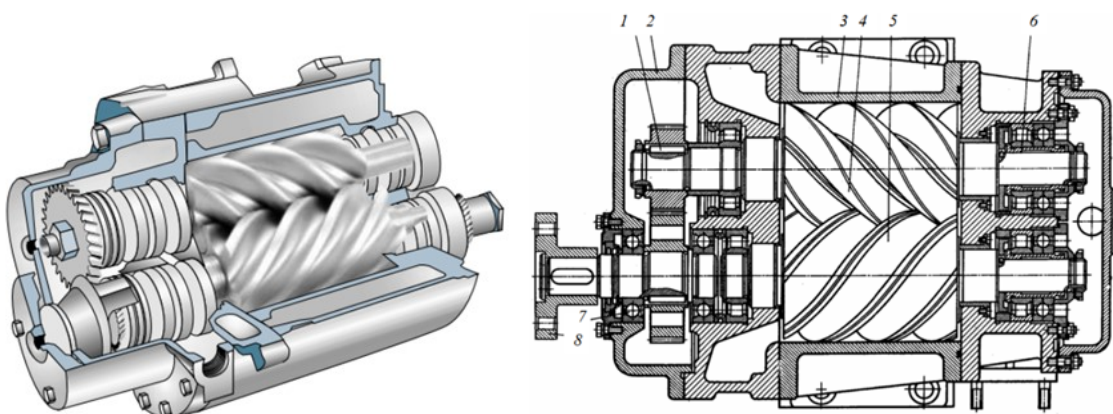


Рис. 2.2. Розріз гвинтового компресора: 1 – редуктор; 2 – кожух; 3 – корпус; 4 – провідний ротор; 5 – ведений ротор; 6, 7 – підшипники; 8 – напівмуфта

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.

КРМ.1.663-03.2.3

Арк

25

Переваги компресора ALMiG серії GEAR XP 30-10

- компактний маслonaповнений гвинтовий блок. Комплектується двома роторами нестандартного енергозберігаючого профілю, посиленими підшипниками та хімічно стійкими ущільнювачами. Відрізняється максимальним ККД (понад 98%), мінімальними втратами тиску, високою продуктивністю, низьким рівнем шуму;

- ергономічний закритий корпус із розміщенням деталей на жорсткій рамі. Швидкознімні металеві панелі спрощують доступ до силового агрегату, модуля стиснення, шлангів та інших компонентів. Монтаж агрегату не вимагає підготовки фундаменту, навантаження в транспорт та переміщення всередині промислового об'єкта здійснюється за допомогою вилкового навантажувача;

- надійна система охолодження з алюмінієвим радіатором та незалежним приводом лопатевого нагнітача. Зберігає працездатність компресорної установки за підвищених температур навколишнього середовища. Для посилення залишкової тяги та покращеного відведення тепла передбачена додаткова вентиляція на бічній частині корпусу. За індивідуальним запитом можливе встановлення водяного охолодження;

- приводна система з передачею моменту обертання за допомогою крутильне-пружної муфти. Потужність двигуна передається безпосередньо на гвинтовий блок – без втрат, які виникають при використанні зубчастого колеса або клинопасової передачі. Коефіцієнт корисної дії цього приводу становить приблизно 99,9%, що значно вище, ніж у звичайних приводів.

- інтелектуальний контролер Air Control з функцією комплексного моніторингу та візуалізації основних експлуатаційних показників. Блок керування оснащений графічним дисплеєм, автоматизує процес виробництва стисненого повітря, дозволяє об'єднувати до єдиної мережі до 5 компресорів. На дисплеї відображаються ключові робочі параметри: тиск, час експлуатації, нагадування про ТО, загальне напруження та ін. Додаткові опції: система рекуперації тепла; просунутий контролер Air Control HE з інтегрованим веб-сервером.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		26

Технічні характеристики компресора ALMiG GEAR XP-30-10

Таблиця 2.1.

Найменування параметра	Значення
Продуктивність, м ³ /хв.	4,5
Тиск повітря, МПа	1,1
Частота обертання валів гвинтової пари повітряного компресора, об/хв.	1580
ККД гвинтової пари повітряного компресора	98,0%
Об'єм ресивера, л	200
Потужність двигуна, кВт	30
Частота обертання ротора двигуна, об/хв.	1470
Тип приводу	Прямий
Габаритні розміри, мм	
Довжина	1350
Ширина	940
Висота	1680
Маса компресора, не більш, кг	857

2.2 Вибір електродвигуна

Потужність електродвигуна вибирають із каталогу за розрахунковою потужністю із умови $P_{НОМ} \geq P_{РОЗРАХ}$ і синхронній частоті обертання n_0 ($n_0 = 3000, 1500, 1000, 750$ об/хв.) із урахуванням режиму його роботи: режим *S1* – тривалий, ПВ > 60%.

При роботі машини у тривалому режимі із мало змінним навантаженням, яке відповідає режиму роботи *S1*, потужність двигуна вибирають за результатами енергетичних розрахунків [8]:

$$P_{НОМ} \geq P_{ДВ}, \quad (2.1)$$

а вибрані двигуни на нагрівання, відповідність пусковому моменту і на перевантажувальну здатність не перевіряють, так як в цьому випадку завод-виготовлювач гарантує їх тривалу роботу.

У період пуску гвинтового повітряного компресора на розгін роторів витрачається до 100% підведеної потужності спочатку і до 0% в кінці пуску.

вибираємо трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором серії АІР [7], виконання – 1Р-44 з напругою 380 В 50 Гц.

Для режиму роботи двигуна *S1* вибираємо трифазний асинхронний двигун із короткозамкненим ротором серії АІР 180М4.

Технічні характеристики двигуна АІР180М4

Таблиця 2.2

Характеристики електродвигуна АІР180М4		Значення
Група значень	Найменування характеристики	
Вихідні параметри	Потужність P , кВт	30
	Умовна частота обертання поля статора N_n , об/хв	1500
	Фактична частота обертання валу N_{ϕ} , об/хв	1470
Параметри живлення	Тип мережі, частота	Трифазна, 50Гц
	Напруга живлення $U_{\Delta/Y}$, Вольт	380/660
	Номінальна сила струму I_n при 220/380/660, Ампер	100/57,9/33,5
	Співвідношення пускового струму та номінального I_n/I_n	7,5
Паспортні данні	Принцип дії	Асинхронний/індукційний
	Коефіцієнт потужності $\cos \phi$	0,86
	ККД, %	91,4
	Число полюсів	4
	Маса міді в обмотці, кг (залежно від якості/виробника) *	14,5 - 16,53*
	Момент інерції, $kg \cdot m^2$	0,08
	Вага, кг (залежно від якості/виробника/корпусу) *	190 - 209*
Обертаючий момент	Відношення максимального моменту, що крутить, до номінального M_{max}/M_n	2,3
	крутний момент максимальний M_{max} , Нм	451,3359
	Момент, що крутить, номінальний M_n , Нм	196,233
	Відношення пускового моменту, що крутить, до номінального M_n/M_n	2,2
Експлуатаційні обмеження	Ступінь захисту від пилу та вологи	IP 55
	Клас ізоляції обмотки (нагрівостійкість)	F (150 °C)
	Режим роботи S1	Тривалий
	Рівень шуму, Дб	76
	Кліматичне виконання та категорія розміщення	У1, У2, У3, Т2

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат

КРМ.1.663-03.2.3

Арк

29

Загальне передатне число кінематичної схеми i_3 повітряного компресора:

$$i_3 = \frac{n_{\text{ДВ}}}{n_{2\text{МАХ}}}, \quad (2.1)$$

де $n_{\text{ДВ}}, n_2$ - частота обертання двигуна і валів роторів компресора, об/хв.

Тоді:

$$i_3 = \frac{n_{\text{ДВ}}}{n_{2\text{МАХ}}} = \frac{1470}{1582} = 0,93$$

де $n_{\text{ДВ}}$ - частота обертання ротора двигуна компресора, $n_{\text{ДВ}} = 1470$ об/хв.,

$n_{2\text{МАХ}}$ - максимальна частота обертання роторів компресора, $n_{2\text{МАХ}} = 1582$ об/хв.

Загальне передатне число також дорівнює:

$$i_3 = i_{\text{КП}} \cdot i_{\text{РЗ}}, \quad (2.2)$$

де $i_{\text{КП}}$ - передатне число клинопасової передачі;

$i_{\text{РЗ}}$ - передатне число зубчастого редуктора:

$$i_{\text{РЗ}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{60}{60} = 1,0,$$

z_1, z_2 - число зуб'ів коліс, $z_1 = 60, z_2 = 60$ шт.

Передатне число клинопасової передачі буде:

$$i_{\text{КП}} = \frac{i_3}{i_{\text{РЗ}}} = \frac{0,93}{1,0} = 0,93 \quad (2.3)$$

Передатне число клинопасової передачі також дорівнює:

$$i_{\text{КП}} = \frac{D_2}{D_1} = 0,483 \quad (2.4)$$

де D_1, D_2 - діаметр ведучого та відомого шківів.

Приймаємо діаметр ведучого шківів $D_1 = 350$ мм, тоді діаметр відомого шківів складає:

$$D_2 = D_1 \cdot i_{\text{КП}} = 350 \cdot 0,93 = 325 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартний діаметр шківів:

$$D_2 = 325 \text{ мм.}$$

Загальний ККД привода гвинтового повітряного компресора складає:

$$\eta_3 = \eta_{\text{КП}} \cdot \eta_{\text{РЗ}} \cdot \eta_{\text{П}}^m, \quad (2.5)$$

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						31
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Поз.		

2.5 Вимоги до електропривода повітряного гвинтового компресора

Режим роботи компресора відноситься до приладів з тривалим режимом роботи та з постійним навантаженням класу *S1*. Вони характеризуються великим пусковим моментом, який складає до 165% від номінального.

До недавнього часу основним способом регулювання тиску було дроселювання за допомогою клапанів та вентилів. Встановлено що більш економічним способом регулювання тиску є регулювання швидкості обертання приводного двигуна компресорного агрегату.

Технологічні вимоги які пред'являються до електропривода компресорів:

- забезпечити сталість тиску повітря на його виході в заданому діапазоні:

$$P_{нв} = 0,8...1,3 \text{ МПа};$$

- забезпечити регулювання продуктивності в заданому діапазоні:

$$Q = 20...60 \text{ м}^3/\text{хв.};$$

- забезпечити обмеження максимального рівня тиску на виході компресорного агрегату:

$$P_{max} = 1,8 \text{ МПа};$$

- забезпечити пожежну та вибухову безпечність компресорного агрегату.

- забезпечити роботу електропривода компресора у тривалому режимі;

- забезпечити обмеження пускових струмів двигунів;

– виконати електропривод компресора нереверсивним.

Вимоги до електропривода визначаються діапазоном регулювання швидкостей обертання і типом навантаження. Залежність між швидкістю обертання і моментом опору неоднакова для навантажень різного типу. Багато навантажень можуть розглядатися як такі, що мають постійний момент у всьому діапазоні зміни швидкості. До них відносяться конвеєри, компресори і поршневі насоси.

Деякі види навантажень мають змінну механічну характеристику, для котрої момент навантаження зростає із збільшенням швидкості обертання. Типовим прикладом пристроїв з таким навантаженням є відцентрові насоси і вентилятори, чия механічна характеристика описується рівнянням квадратичної

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		33

параболи, а значить, споживана потужність пропорційна кубу швидкості обертання. Із цього виходить, що навіть невелике зниження швидкості електропривода може дати значний вигрaш у потужності, ось чому економія електроенергії є головною перевагою використання управляючого електропривода для насосів і вентиляторів. Теоретично зниження швидкості на 10% дає 30% економії від потужності споживання.

У залежності від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими управління електродвигуном, реалізуючи ту або іншу залежність між швидкістю обертання електродвигуна і вихідною напругою. Режим з лінійною залежністю між напругою і частотою ($U/f = \text{const}$) реалізується простішими перетворювачами частоти для забезпечення постійного моменту навантаження і використовується для управління синхронними двигунами або двигунами, підключеними паралельно. Разом з тим при зменшенні частоти, починаючи із деякого значення, максимальний момент двигуна починає падати. Для підвищення моменту на низьких частотах у перетворювачах передбачається функція підвищення початкового значення вихідної напруги, котра використовується для компенсації падіння моменту для навантажень з постійним моментом або збільшення початкового моменту для навантажень з високим пусковим моментом, таким, наприклад, як промисловий міксер. Для регулювання електроприводів насосів і вентиляторів використовується квадратична залежність напруга / частота ($U/f^2 = \text{const}$). Цей режим, також як попередній, можна використовувати для управління паралельно підключеними двигунами.

Обраний ПЧ повинен бути розрахований на потужність електродвигуна, що підключається до нього, тобто не менше ніж на 30,0 кВт.

2.6 Електрична принципова схема релейно-контакторного управління гвинтового повітряного компресора

Електрична принципова схема релейно-контакторного управління повітряного компресора представлена на рис. 2.5. Включення і відключення

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						34
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

напруги. Подавання напруги живлення машини здійснюється автоматичним вимикачем QF1.

Сигналізація включення живлення машини здійснюється лампочкою HL1 «Мережа», а роботи машини HL2 «Робота».

Повторне мимовільне включення машини після короткочасного зникнення електроенергії блокується магнітним пускачем KM1 шляхом розмикання його головних KM1:1 і додаткових KM1:2 замикаючих контактів.

Для роботи машини у складі лінії використовуються додаткові замикаючі контакти KM1:3 і розмикальні KM1:4.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

3.1 Загальні положення

Основною перевагою частотного регулювання є те, що поряд зі швидкістю, здійснюється регулювання споживаної з мережі енергії, тобто, порівняно з параметричними способами регулювання швидкості, втрати тут мінімальні. При виборі перетворювача частоти слід виходити з конкретного завдання, яке має вирішувати електропривод:

- типу та потужності електродвигуна, що підключається;
- точності та діапазону регулювання швидкості;
- точності підтримки моменту обертання двигуна на валу.

При роботі зі стандартним асинхронним двигуном перетворювач слід вибирати з відповідною потужністю. Якщо потрібно великий пусковий момент або короткий час розгону/уповільнення, обираємо перетворювач на ступінь вище стандартного.

Для збільшення точності підтримки моменту та швидкості на валу двигуна у найбільш досконалих перетворювачах реалізовано векторне керування, що дозволяє працювати з повним моментом двигуна в області нульових частот, підтримувати швидкість при змінному навантаженні без датчиків зворотного зв'язку точно контролювати момент на валу двигуна.

Перетворювачі частоти (ПЧ) зазвичай мають вбудований ПД-регулятор. Перетворювач змінює швидкість обертання двигуна таким чином, щоб підтримувати на заданому рівні певний параметр системи (витрата, швидкість, рівень, тиск, температура і т.д.). Наявність вбудованого ПД-регулятора дозволяє спростити систему управління та не використовувати зовнішні регулятори.

Як правило, потужність ПЧ підбирається рівною потужністю електродвигуна. Це правило поширюється на електродвигуни з номінальною кількістю оборотів 1500 та 3000 об/хв.

Для регулювання електроприводів насосів, вентиляторів і компресорів використовується квадратична залежність напруга / частота ($U/f^2 = \text{const}$). Цей

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						37
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

режим, також як попередній, можна використовувати для управління паралельно підключеними двигунами.

Обраний ПЧ повинен бути розрахований на потужність електродвигуна, що підключається до нього, тобто не менше ніж на 30,0 кВт.

3.2 Вибір перетворювача частоти

У залежності від характеру навантаження перетворювач частоти забезпечує різні режими управління електродвигуном, реалізуючи ту або іншу залежність між швидкістю обертання електродвигуна і вихідною напругою. Режим з лінійною залежністю між напругою і частотою ($U/f = \text{const}$) реалізується простішими перетворювачами частоти для забезпечення постійного моменту навантаження і використовується для управління синхронними двигунами або двигунами, підключеними паралельно. Разом з тим при зменшенні частоти, починаючи із деякого значення, максимальний момент двигуна починає падати. Для підвищення моменту на низьких частотах у перетворювачах передбачається функція підвищення початкового значення вихідної напруги, котра використовується для компенсації падіння моменту для навантажень з постійним моментом або збільшення початкового моменту для навантажень з високим пусковим моментом.

Обираємо частотний перетворювач SINAMICS G120X 30 кВт, 380В. Перетворювач частоти SINAMICS G120X - комплектний, інноваційний частотний перетворювач для систем опалення, вентиляції та кондиціонування, водопостачання і каналізації.

Перетворювач SINAMICS G120X - це інтегроване та ефективне рішення приводу для широкого кола завдань. Система забезпечує зручне управління через оптимізовані для користувача інтерфейси: інтелектуальна панель оператора IOP-2 з кольоровим графічним дисплеєм і додатковий модуль веб-сервера SINAMICS G120 Smart Access - рішення веб-сервера на основі WLAN.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		38

SINAMICS G120X має надзвичайно міцну і надійну конструкцію. Інтегрований реактор ланки постійного струму з максимальною потужністю 250 кВт і додаткової стійкістю до шкідливих газів до екологічного класу 3С3 забезпечує надійну, стабільну і в значній мірі надійну роботу.

На етапі експлуатації підтримуються наступні функції за замовчуванням:

- режим безперервної роботи з автономним зниженням вихідної потужності і частоти імпульсів;
- ПІД-регулятор для автономного режиму управління зі зворотним зв'язком, що працює відповідно до значень аналогового входу;
- до 16 заданих значень змінної швидкості в якості фіксованих частот;
- контроль швидкості за допомогою датчика (імпульсний вхід);
- управління декількома насосами: до чотирьох насосів;
- захист від блокування, витoku, сухого ходу і кавітації;
- режим пожежогасіння для тривалої роботи в разі аварії;
- пропуск частот для пропуску критичних частот і запобігання вібрації;
- годинник реального часу для перемикання уставок або управління расцепителями.



Рис. 3.1 Загальний вигляд частотного перетворювача SINAMICS G120X

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.

KPM.1.663-03.2.3

Арк

39

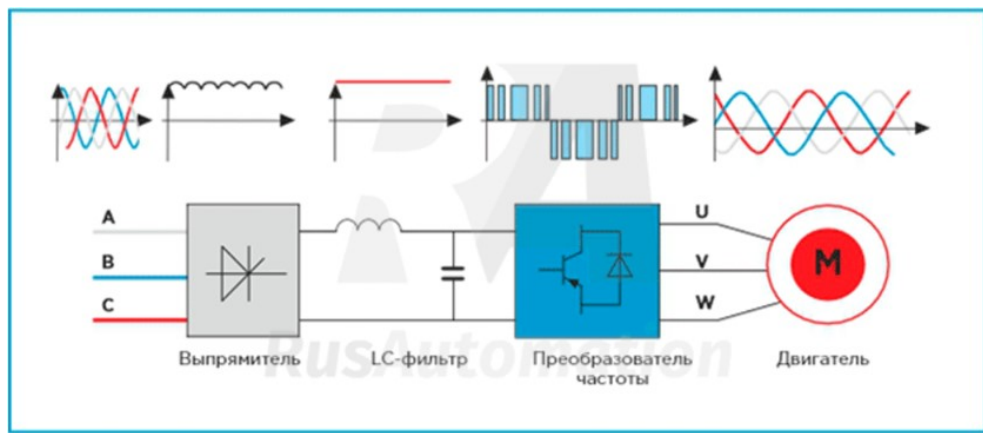


Рис. 3.2 Функціональна блок - схема перетворювача частоти (ПЧ) з проміжним контуром постійного струму.

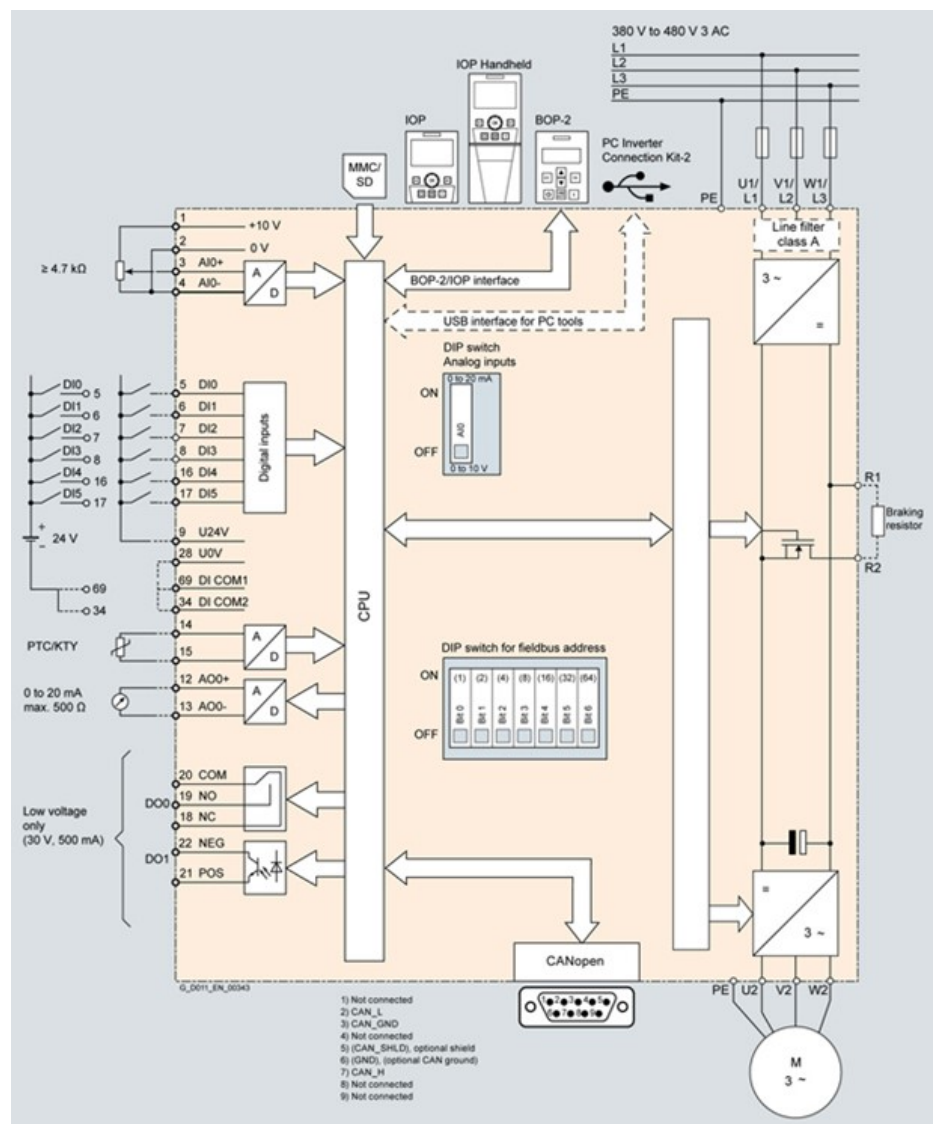


Рис 3.3 – Схема підключення кола управління перетворювача SINAMICS G120X

Змін.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат

Таблиця 3.2

Параметри схеми заміщення фази АД у номінальному режимі				
x_μ	r_1^I	x_1^I	r_2^{II}	x_2^{II}
3,9	0,034	0,068	0,018	0,12

Для переведення параметрів схеми заміщення з відносних одиниць у фізичні одиниці знайдемо базовий опір двигуна:

$$R_B = \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}} = \frac{380}{57,9} = 6,56 \text{ Ом} \quad (3.1)$$

де $U_{\text{НОМ}}$ – номінальна напруга двигуна, $U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$;

$I_{\text{НОМ}}$ – номінальний струм двигуна, $I_{\text{НОМ}} = 57,9 \text{ А}$.

Отримавши базовий опір можна розрахувати необхідні для моделювання двигуна параметри схеми заміщення в фізичних одиницях:

Активний опір статора:

$$R_1^I = R_B \cdot r_1^I = 6,56 \cdot 0,034 = 0,22 \text{ Ом.} \quad (3.2)$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1^I = R_B \cdot x_1^I = 6,56 \cdot 0,068 = 0,45 \text{ Ом.} \quad (3.3)$$

Активний опір ротора:

$$R_2^{II} = R_B \cdot r_2^{II} = 6,56 \cdot 0,018 = 0,12 \text{ Ом.} \quad (3.4)$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2^{II} = R_B \cdot x_2^{II} = 6,56 \cdot 0,12 = 0,79 \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Індуктивний опір гілки намагнічування в схемі заміщення АД з КЗ ротором:

$$X_\mu = R_B \cdot x_\mu = 6,56 \cdot 3,9 = 25,58 \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

Для того щоб знайти потрібні значення індуктивностей скористаємося тим, що індуктивний опір прямопропорційний кутовій частоті і індуктивності, звідки

На вихідному порту m формується векторний сигнал, який складається з 21 елементу: струмів, потоків і напруги ротора і статора в нерухомих системах координат, електромагнітного моменту, кутової частоти обертання валу, а також його кутового положення, що обертаються. Для зручності витягання змінних машини з вектору в бібліотеці Sim Power Systems передбачений блок Machines Measurement Demux. Модель асинхронної машини включає модель електричної частини, яка представлена моделлю простору станів четвертого порядку, і моделлю механічної частини у вигляді системи другого порядку. Всі електричні змінні і параметри машини приведені до статора. Вихідні рівняння електричної частини машини записані для двофазної (dq-вісі) системи координат.

Рівняння електричної частини машини мають вигляд:

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \cdot \psi_{qs} + \omega \psi_{ds},$$

$$u'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \psi'_{dr} - (\omega - \omega_r) \psi'_{qr},$$

$$T_e = 1,5(\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}),$$

де:

$$\psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr}, \psi_{ds} = L_s i_{qs} + L_m i'_{dr}, \psi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs},$$

$$\psi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds}, L_s = L_{ls} + L_m, L'_r = L'_{lr} + L_m.$$

Індекси в системі рівнянь машини мають наступні значення:

- d – проекція змінної на вісь d ;
- q – проекція змінної на вісь q ;
- r – індекс, який позначає параметр або змінну ротора;
- s – індекс, який позначає параметр або змінну статора;
- l – індуктивність розсіювання;
- m – індуктивність кола намагнічування.

Механічна частина машини описується двома рівняннями:

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2H} (T_e - F \omega_m - T_m),$$

$$\frac{d}{dt} \theta_m = \omega_m.$$

Змінні в рівняннях машини мають такі значення:

- R_s, L_{ls} – активний опір і індуктивність розсіювання статора;
- R'_r, L_{lr} – активний опір і індуктивність розсіювання ротора;
- L_m – індуктивність кола намагнічування;
- L_s, L'_r – повні індуктивності статора і ротора;
- U_{qs}, i_{qs} – проекції напруги і струму статора на вісь q;
- u'_{qr}, i'_{qr} – проекції напруги і струму ротора на вісь q;
- u_{ds}, i_{ds} – проекції напруги і струму статора на вісь d;
- u'_{dr}, i'_{dr} – проекції напруги і струму ротора на вісь d;
- Y_{ds}, Y_{qs} – проекції потокозчеплення статора на вісі d і q;
- ψ'_{dr}, ψ'_{qr} – проекції потокозчеплення ротора на вісі d і q;
- ω_m – кутова частота обертання ротора;
- θ_m – кутове положення ротора;
- p – число пар полюсів;
- ω_Y – електрична кутова частота обертання ротора ($\omega_m \times p$);
- θ_Y – електричне кутове положення ротора ($\theta_m \times p$);
- T_e – електромагнітний момент;
- T_m – механічний момент на валу;
- J – сумарний момент інерції машини і навантаження;
- H – сумарна інерційна постійна машини і навантаження;
- F – сумарний коефіцієнт в'язкого тертя (машини і навантаження).

Маючи всі потрібні величини, задамо їх у моделі асинхронного двигуна у середовищі Simulink пакету Matlab і проведемо моделювання.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		46

3.5 Моделювання прямого пуску двигуна електропривода

Модель прямого пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором електропривода представлена нижче.

Схема містить джерело трифазного живлення, трифазний вимикач, трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора двигуна, графобудівник механічної характеристики, осцилографи та вимірювальні прилади.

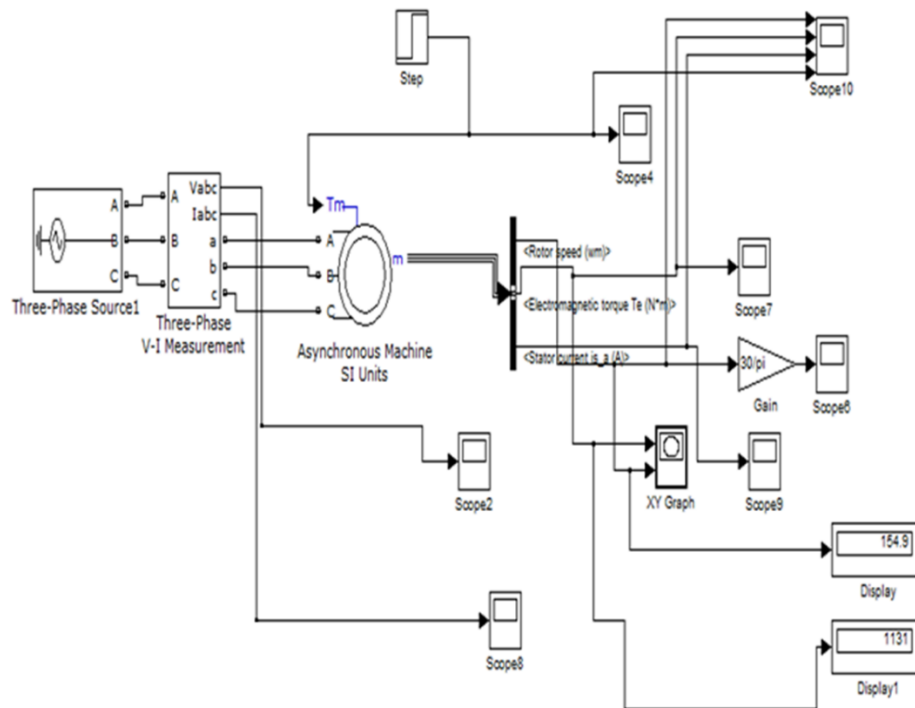


Рис. 3.8 Схема моделі прямого пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Навантаження на валу двигуна має вентиляторну характеристику. Інформація про частоту обертання поступає з виходу задавача швидкості. Нижче представлений графік залежності швидкості (по вісі ординат) та електромагнітного моменту двигуна (по вісі абсцис) при розгоні АД. Ця залежність називається механічною характеристикою двигуна АД.

Нижче представлені результати моделювання процесу прямого пуску АД з КЗ ротором в середовищі Simulink, пакету Matlab на ПЕОМ.

У результатах виведені діаграми наступних величин:

- Діаграма фазних напруг на обмотках статора АД;
- діаграма механічного навантаження ротора АД;

- Діаграма електромеханічного моменту ротора АД;
- Діаграма фазних струмів в обмотках статора АД;
- Діаграма швидкості ротора АД;
- діаграма зміни обертового моменту на валу ротора при розгоні АД.

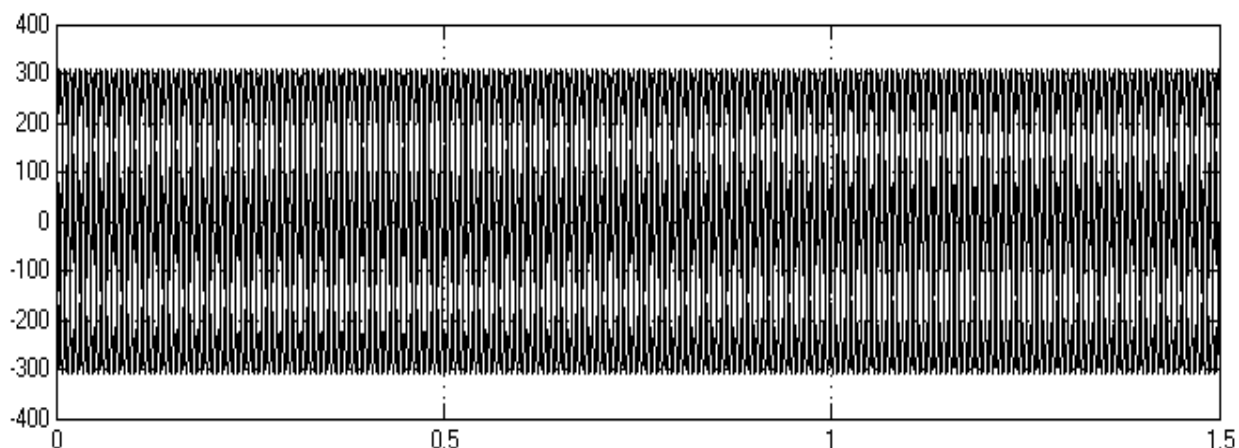


Рис. 3.9 – Діаграма фазних напруг на обмотках статора АД

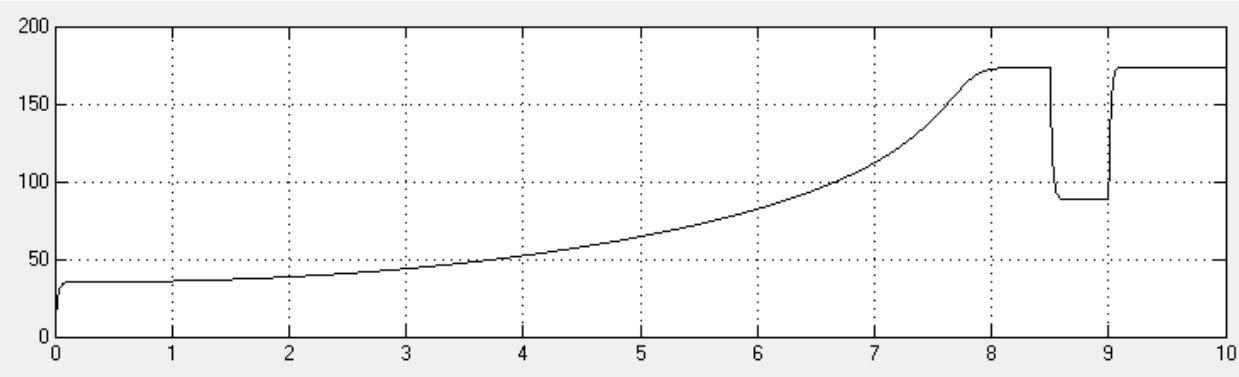


Рис. 3.10 – Діаграма механічного навантаження ротора АД

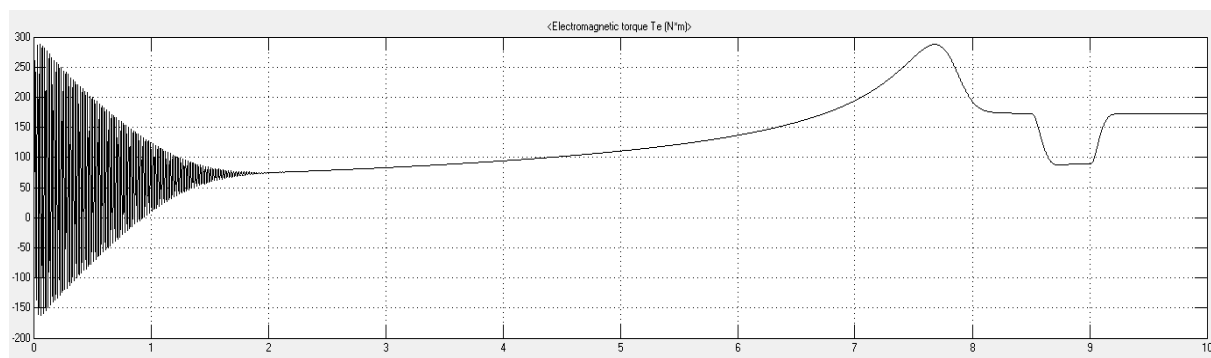


Рис. 3.11 – Діаграма електромеханічного моменту ротора АД

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.

КРМ.1.663-03.2.3

Арк

49

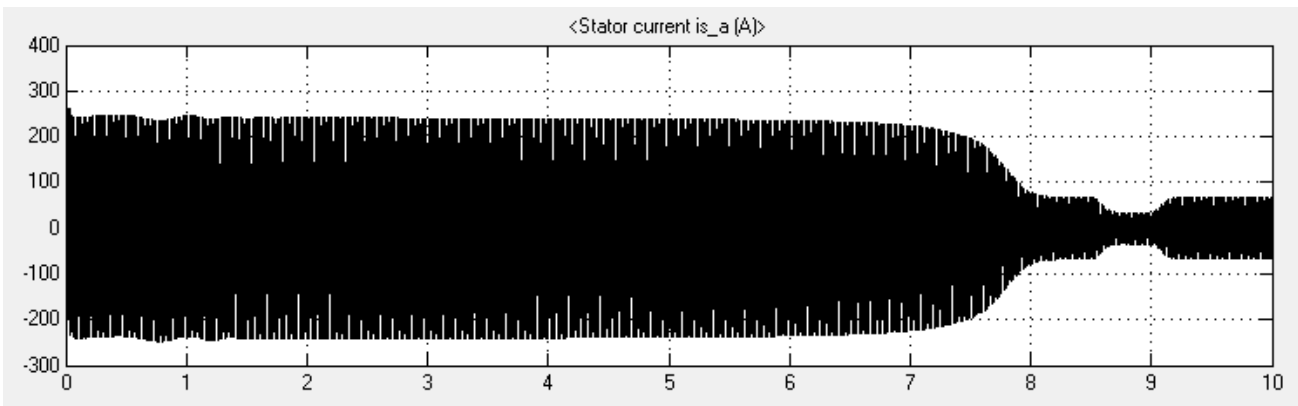


Рис. 3.12 – Діаграма фазних струмів в обмотках статора АД

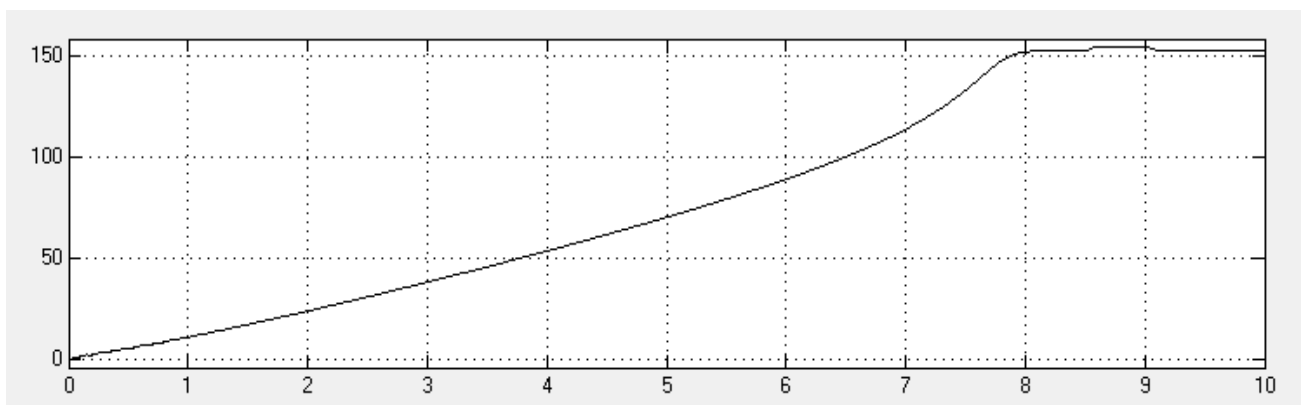


Рис. 3.13 – Діаграма швидкості ротора АД

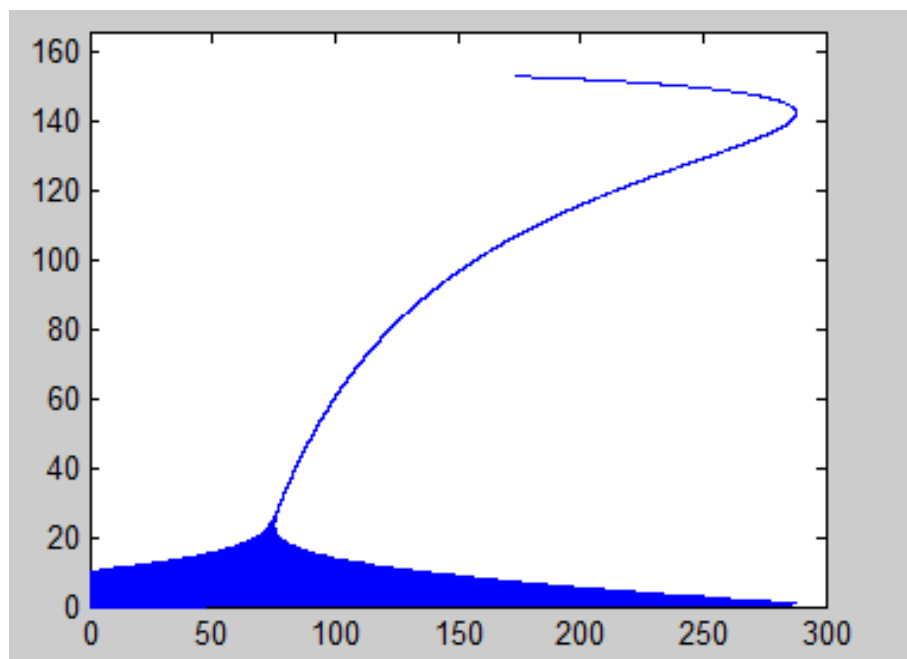


Рис. 3.14 – Діаграма зміни обертового моменту на валу ротора при розгоні АД

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.

3.6 Моделювання пуску двигуна електропривода компресора з ПЧ-АД

Модель електропривода з перетворювачем частоти ПЧ-АД представлена на рис. 3.14 В моделі використовується система управління із зворотним зв'язком за швидкістю двигуна, яка забезпечує широкий діапазон регулювання швидкості. Схема містить джерело трифазного живлення із ШІМ, трифазний вимикач, трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора двигуна, осцилографи та вимірювальні прилади.

Навантаження на валу двигуна має вентиляторну характеристику. Інформація про частоту обертання поступає з виходу здавача швидкості.

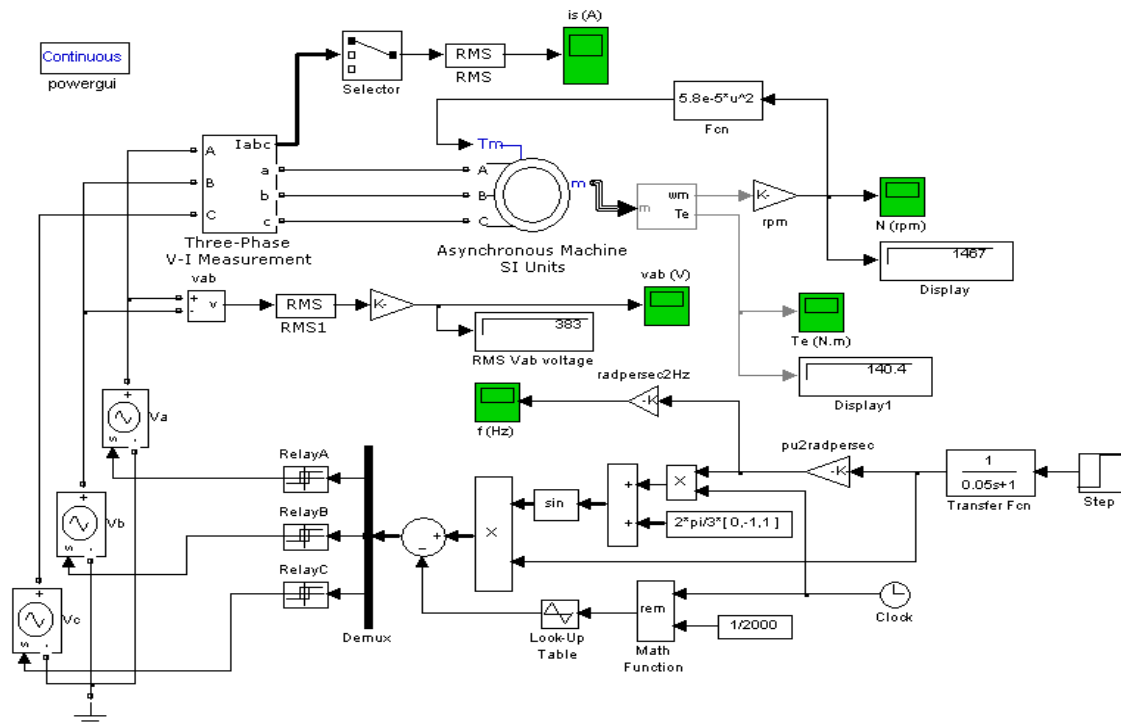


Рис. 3.15 – Схема моделі пуску асинхронного двигуна з перетворювачем частоти

У результатах виведені діаграми наступних величин:

- Діаграма фазних напруг на виході з ПЧ;
- Діаграма зміни частоти напруги на виході з ПЧ;
- Діаграма електромеханічного моменту ротора АД;
- Діаграма фазних струмів в обмотках статора АД;
- Діаграма швидкості ротора АД;
- діаграма зміни обертового моменту на валу ротора при розгоні АД.

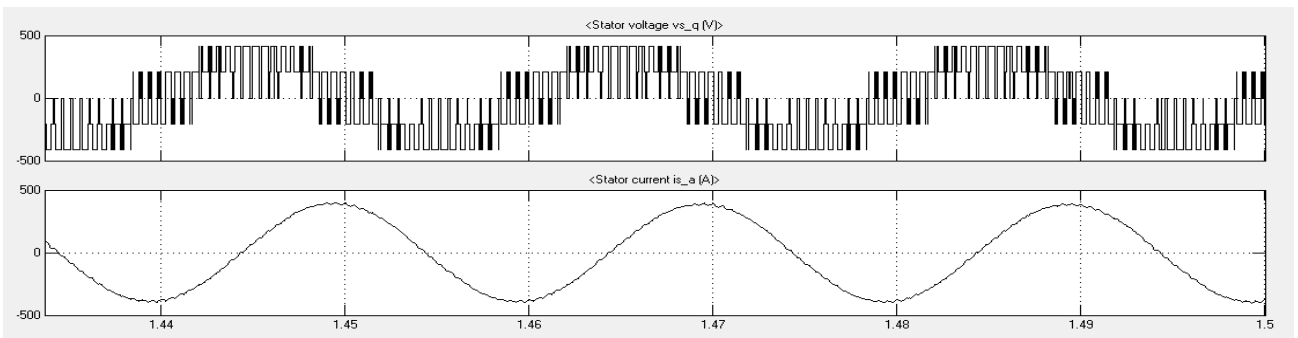


Рис. 3.16. – Діаграма форми фазної напруги і струму на виході з ПЧ.

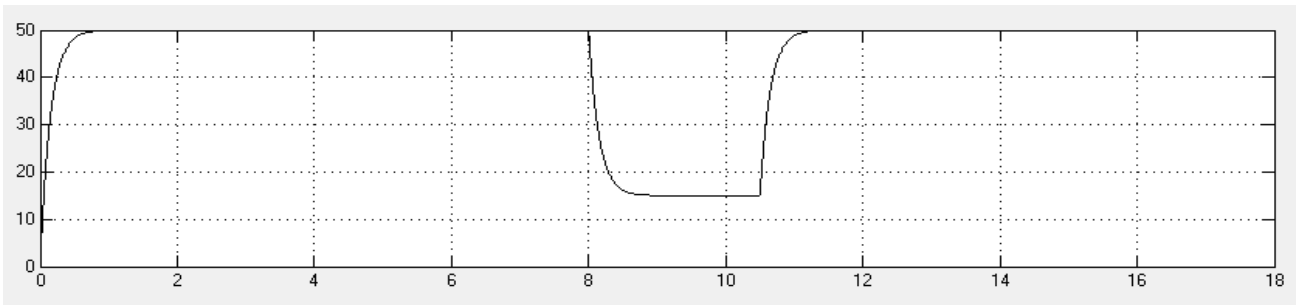


Рис. 3.15 – Діаграма зміни частоти напруги на виході з ПЧ

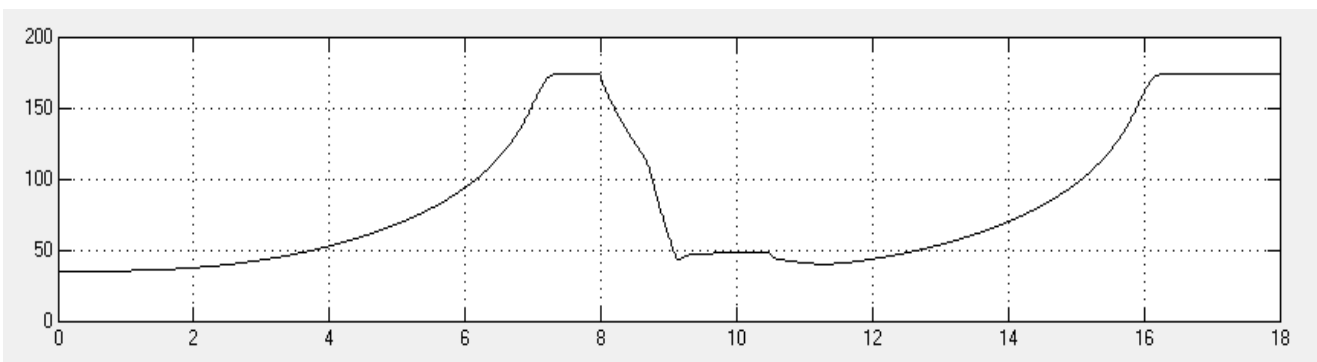


Рис. 3.17 – Діаграма зміни навантаження на роторі АД

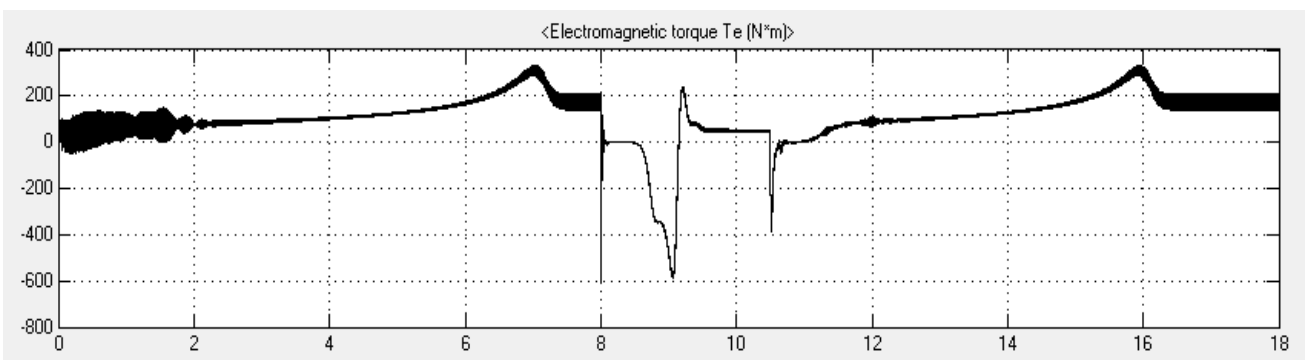


Рис. 3.18 – Діаграма електромеханічного моменту ротора АД.

Мегомметром перевіряють стан ізоляції обмоток. У разі зниження опору ізоляції нижче 0,5 МОм обмотки піддають сушці.

Температуру і режим сушіння контролюють термометрами (термопарами) або мегомметром, а регулюють періодичними відключеннями струму або розгальмовуванням і обертанням ротора на знижених оборотах, при яких машина вентилюється і охолоджується. Сушіння проводять при температурі 70-90 ° С.

У процесі монтажу електродвигунів задіяні тільки справні електродвигуни, опір ізоляції обмоток яких відповідає нормам.

Монтаж електродвигунів виробляється на чавунних або сталевих плитах, на металевих рамах або кронштейнах, а найчастіше на чавунних санчатах, що прикріплюються анкерними болтами до залізобетонного фундаменту.

При монтажі електродвигунів керуються ПУЕ[1], та інструкціями заводу-виробника.

Електродвигуни що надходять у зібраному вигляді, на місці монтажу не розбирають, якщо їх правильно транспортували і зберігали.

Підготовка таких машин до монтажу включає в себе наступні технічні операції:

- зовнішній огляд;
- очищення фундаментних плит і лап станин;
- промивка фундаментних болтів уайтспіритом і перевірку якості різьблення (прогін гайок);
- огляд виводів;
- огляд стану підшипників;
- перевірка зазорів між кришкою і вкладкою підшипника ковзання, валом і ущільненням підшипників, вимірювання зазорів між вкладкою підшипника ковзання і валом;
- перевірка повітряного зазору між активною частиною сталі ротора і статора;

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Підп.		54

- перевірка вільного обертання ротора і відсутність зачіпань вентиляторів за кришки; перевірка мегометром опір ізоляції всіх обмоток, щіткової траверси і ізольованих підшипників.

Огляд електродвигунів проводять на стенді у спеціально виділеному в цеху приміщенні.

Про виявлені дефекти електромонтажнику необхідно повідомити бригадира, майстра або керівника монтажу. Якщо зовнішніх пошкоджень не виявлено, електродвигун продувають стисненим повітрям. При цьому спочатку перевіряють подачу по трубопроводу сухого повітря, для цього струмінь повітря направляють на будь-яку поверхню. При продуванні ротор електродвигуна повертають вручну, перевіряючи вільне обертання вала в підшипниках. Зовні двигун обтирають ганчіркою, змоченою в гасі.

Промивання підшипників перед монтажем електродвигуна. Промивку підшипників ковзання під час монтажу роблять у такий спосіб. З підшипників видаляють залишки олії, відвернувши спускні пробки. Потім, загвинтивши їх, в підшипники заливають гас і обертають руками якір або ротор. Далі вигвинчують спускні пробки і дають стекти всьому гасу. Після промивання підшипників гасом їх необхідно промити маслом, яке забирає із собою залишки гасу. Тільки після цього їх заповнюють свіжим маслом 1/2 або 1/3 об'єму ванни. Мастило в підшипниках кочення при монтажі машин не міняють. Заповнення мастилом підшипника не повинно перевищувати 2/3 вільного об'єму підшипника.

Вимірювання опору ізоляції електродвигуна перед монтажем. У електродвигуна трифазного струму з короткозамкненим ротором проводять вимірювання опору ізоляції тільки обмоток статора по відношенню один до одного і до корпусу. Це можна зробити, якщо тільки виведені всі 6 кінців обмотки. Якщо виведено в коробку вводів тільки 3 кінця обмоток, то вимірювання проводять тільки по відношенню до корпусу.

Ізоляцію обмоток електродвигунів вимірюють мегометром на 1 кВ для машин напругою до 1 кВ.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	П'ят		55

Якщо результати вимірювань опору ізоляції задовольняють нормам, то ці електродвигуни можуть бути включені в роботу без сушіння ізоляції обмоток, за результатами вимірювань складається акт. Такі електродвигуни доставляють до місця монтажу, і встановлюють за місцем згідно з проектом.

Підйом електродвигуна масою до 50 кг можна виконувати вручну, при установці їх на низькі фундаменти.

З'єднання електродвигунів з механізмом виконують за допомогою муфт або через передачу (ремінну). При всіх способах з'єднання потрібна перевірка положення двигуна рівнем в горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Для цього зручніше користуватися «валовим» рівнем, так як цей рівень має в основі виїмку в вигляді «хвоста»; його зручно накладати безпосередньо на вал електродвигуна.

Електродвигуни, що встановлюються безпосередньо на бетонній підлозі або фундаменті, вивіряють, підкладаючи під лапи електродвигуна металеві прокладки для регулювання їх в горизонтальній площині.

Дерев'яні прокладки не годяться тому, що вони при заливці фундаменту набухають і збивають зроблену вивірку, а при затягуванні болтів спресовуються.

При ремінних передачах необхідно дотримуватися паралельності валів електродвигуна і обертаного ним механізму, а також збіг середніх ліній по ширині шківів. Якщо ширина шківів однакова, а відстань між центрами валів не перевищує 1,5 м, вивірку проводять, сталеву вивіреною лінійкою.

Для цього лінійку прикладають до торців шківів і підганяють електродвигун, так щоб лінійка торкалася двох шківів в 4 точках. Якщо відстань між центрами валів більше 1,5 м, а вивірена лінійка відсутня, то вивірку в цьому випадку роблять за допомогою струни і тимчасово встановлюються на шківі скоб. Центри валів підганяють для отримання однакових відстаней від скоб до струни. Вивірку також можна проводити тонким шнуром.

Вважають, що виміри виконані правильно, якщо різниця між цими сумами не перевищує 0,03-0,04 мм. В іншому випадку, вимірювання повторюють більш ретельно.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		56

Затягування гайок фундаментних болтів стандартними ключами без надставок рівномірно в два - три обходи в необхідній послідовності. Починають з фундаментних болтів, розташованих на осях симетрії опорної частини, після чого затягують найближчі до них болти, а потім, поступово віддаляючись від осі симетрії, інші.

3.7 Ремонт електропривода гвинтових повітряних компресорів

Мета ремонту - відновлення втраченої працездатності та усуненням виниклих в механізмах і вузлах відмов, які є наслідком зношування деталей, поломок і інших причин, за наявності яких не можлива нормальна експлуатація установки. Планування і підготовка ремонтів.

Планування ремонтів електродвигунів ведеться відповідно до вимог «Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж» (ПТЕ) за системою планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

Планово-попереджувальний ремонт включає в себе комплекс заходів [8]: технічне обслуговування та нагляд під час роботи; періодичне проведення поточних і капітальних ремонтів; проведення профілактичних випробувань відповідно до вимог «Норм випробування електрообладнання».

Періодичність і терміни проведення ремонтів електродвигунів ув'язуються з ремонтом агрегатів, приводяться до дії. Це сприяє зниженню трудовитрат на центрування агрегату з двигуном, підготовку робочого місця оперативним персоналом і т. ін. Періодичність ремонтів встановлюється графіком, затвердженим головним інженером підприємства.

При плануванні термінів капітальних і поточних ремонтів враховується технічний стан електродвигунів, обумовлений в процесі експлуатації (стан підшипників, нагрів активних частин і т. ін.). Щорічні графіки ремонтів складаються в електроцеху підприємства, що експлуатує електродвигун, і погоджуються з підрядною організацією, яка виконує ремонт електродвигунів.

У відповідності з графіком ремонту ведеться підготовча робота, яка включає в себе: складання графіка работ із зазначенням переліку пристосувань,

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		57

фарбувальну і сушильну камери, стапелі для розбирання електродвигунів з вертикальним валом, кантувачі для статорів, підставки для статорів, підставки для установки і повороту роторів, верстат для балансування роторів, верстат для виготовлення пазових клинів, свердлильний і заточувальний верстат, комплект знімачів (гідравлічних та гвинтових), комплект пристосувань для витягання секцій обмоток статорів електродвигунів, стелажі для розміщення вузлів і деталей при розбиранні електродвигунів та верстаки для ремонту вузлів і деталей електродвигунів.

При виконанні в майстерні відновлювального ремонту електродвигунів крім перерахованого вище обладнання до її складу повинні входити: камера для відпалу всипних обмоток, установка для вилучення всипних обмоток, намотувальні верстат, просочувальна ванна і установка для заливки підшипників ковзання.

При відсутності майстерень для централізованого ремонту електродвигунів можуть бути організовані ремонтні майданчики.

Під «ремонтним майданчиком» мається на увазі вільна площа, призначена для перевантажувальних операцій і розміщення при капітальному ремонті складальних одиниць і деталей устаткування, ремонтних пристроїв і оснащення, а також для виконання ремонтних операцій, які за умовами технології необхідно проводити поблизу ремонтного обладнання. Ремонтні майданчики повинні обладнуватися енергетичними розводками.

Під енергетичними розводками маються на увазі розводки кисню, ацетилену, стисненого повітря тиском 40...60 Па і технічної води тиском 4...5 Па, а також стаціонарна електромережа напругою 380/220 В для забезпечення електрозварювальних робіт, підключення електроінструменту через перетворювач частоти напругою 36 В (220 Гц) і переносних ламп через трансформатор 220/12 В.

Ремонтний майданчик повинен мати загальне та місцеве електроосвітлення.

Захист електродвигунів повинно бути виконано у відповідності з ПУЕ. На електродвигунах, у яких можливе систематичне перевантаження з технічних причин, встановлюється захист від перевантаження, діючий на сигнал,

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		59

автоматичне розвантаження механізму або на відключення. При відключенні електродвигуна відповідального механізму від дії захисту і відсутності резервного допускається повторне включення електродвигуна після ретельної перевірки схеми управління, захисту та самого електродвигуна.

Електродвигуни, які тривалий час перебувають у резерві, повинні бути постійно готові до негайного пуску; їх необхідно періодично оглядати та випробувати разом з механізмами за графіком, затвердженим технічним керівником Споживача. При цьому у електродвигунів зовнішнього розташування, які не мають обігріву, повинні перевірятися опір ізоляції обмотки статора і коефіцієнт абсорбції.

Електродвигуни повинні бути негайно відключені від мережі в наступних випадках:

- при нещасних випадках з людьми;
- появі диму або вогню з корпусу електродвигуна, а також з його пускорегулювальної апаратури;
- поломках приводного механізму;
- різкому збільшенні вібрації підшипників механізму;
- нагріві підшипників понад допустимої температури, встановленої в інструкції заводу-виробника;
- значному зниженні числа обертів, що супроводжується швидким нагріванням електродвигуна.

Якщо робота на електродвигуні або що приводиться ним у рух механізмі пов'язана з дотиком до струмоведучих і обертовим частинам, електродвигун повинен бути відключений з виконанням технічних заходів, що запобігають його помилкове включення. При цьому у двохшвидкісний електродвигуна повинні бути відключені і розібрані обидва ланцюга живлення обмоток статора.

Робота, не пов'язана з дотиком до струмоведучих або обертових частин електродвигуна і приводить у рух механізм, може проводитися на працюючому електродвигуні. Не допускається знімати огороження з обертових частин працюючих електродвигуна і механізму.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.		60

При роботі на електродвигуні допускається встановлення заземлення на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з секцією РУ, щитом, складанням.

Якщо роботи на електродвигуні розраховані на тривалий термін, не виконуються або перервані на кілька днів, то від'єднана Зта відключена від нього кабельна лінія має бути заземлена також з боку електродвигуна. У тих випадках, коли перетин жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, у електродвигунів напругою до 1000 В допускається заземлювати кабельну лінію мідним провідником перерізом не менше перетину жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення або з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативній документації нарівні з переносним заземленням.

Перед допуском до работ на електродвигунах, здатних до обертання за рахунок з'єднаних з ними механізмів (димососи, вентилятори, насоси та ін), штурвали запірної арматури (засувок, вентилів, шиберів тощо) повинні бути замкнені на замок.

Крім того, вжито заходів щодо гальмування роторів електродвигунів або розчеплення з'єднувальних муфт. Необхідні операції з запірною арматурою повинні бути узгоджені з начальником зміни технологічного цеху, ділянці із записом в оперативному журналі.

Зі схем ручного дистанційного і автоматичного управління електроприводами запірної арматури, направляючих апаратів повинна бути знята напруга. На штурвалах засувок, шиберів, вентилів повинні бути вивішені плакати «Не відкривати! Працюють люди», а на ключах, кнопках керування електроприводами запірної арматури – «Не вмикати! Працюють люди».

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поруч із двигуном, на якому належить виконати роботу, повинні бути вивішені плакати «Стій! Напруга» незалежно від того, перебувають вони в роботі чи зупинені.

При необхідності проведення випробування в процесі роботи порядок

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		61

включення електродвигуна (для опробування) повинен бути наступним:

- виконавець робіт видаляє бригаду з місця роботи, оформляє закінчення роботи і здає наряд оперативному персоналу.

- оперативний персонал знімає встановлені заземлення, плакати, виконує складання схеми.

- після випробування при необхідності продовження роботи на електродвигуні оперативний персонал знову підготовлює робоче місце і бригада за нарядом повторно допускається до роботи на електродвигуні.

Робота на обертовому електродвигуні без дотику з струмоведучими і обертливими частинами може проводитися за розпорядженням.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

4.1 Визначення капітальних витрат

Для обґрунтування запропонованої у дипломному проекті модернізації необхідно провести розрахунок витрат:

1. Капітальні витрати.
2. Експлуатаційні витрати: розрахунок амортизаційних відрахувань; визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт;
3. Вартість спожитої електроенергії.

Капітальні інвестиції – кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації включають наступні витрати:

- придбання обладнання;
- виконанням монтажних, демонтаж застарілого обладнання;
- налагоджувальні роботи.
- транспортні і складські витрати.

Розрахунок вартості технічного обладнання:

Асинхронний електродвигун АИР180М4 – 32400 грн.

Перетворювач частоти SINAMICS G120X – 98600 грн.

Величина проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) за формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + Z_{т} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пк} \quad (4.1)$$

$$K_{об} = 32400 + 98600 = 131000$$

де $K_{об}$ - сумарна вартість придбання обладнання, необхідного для реалізації проекту;

$Z_{тс}$ – транспортні витрати;

$Z_{дм}$ – витрати на демонтажні, монтажні роботи;

$Z_{н}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пк}$ – інші одноразові вкладення на придбання комплектуючих елементів, становлять приблизно 10% від вартості обладнання.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		63

Витрати на транспортування, монтаж і наладку розраховуються за допомогою цін, прейскурантів, тарифів підприємств-перевізників та підприємств, які займаються монтажними і пусконаладжувальними роботами. Визначаємо ці витрати на рівні 10% від вартості обладнання.

$$K_{\text{пр}} = 131000 + 13100 + 13100 = 157200 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати складаються з витрат на ремонт, обслуговування, витрати на електроенергію і розраховуються за формулою:

$$K_{\text{ек}} = Z_{\text{р}} + Z_{\text{обс}} + Z_{\text{е}} \quad (4.2)$$

де $Z_{\text{р}}$ - витрати на поточний ремонт і обслуговування, до яких входять річна вартість матеріалів, необхідних для ремонту і експлуатації;

$Z_{\text{обс}}$ - заробітна плата ремонтного і обслуговуючого персоналу, (грн./рік);

$Z_{\text{е}}$ – вартість річних витрат на електроенергію, (грн./рік).

За відсутності конкретних даних для визначення витрат на поточний ремонт і обслуговування ці складові щорічних експлуатаційних витрат можуть бути розраховані за методом укрупнених розрахунків у відсотках від капітальних витрат за варіантами, що порівнюються:

- для електричних машин (генераторів, двигунів, трансформаторів) – 2-3%;
- для електричних кабелів – 1,5-2%;
- для систем електропривода – 1-8%.

$$K_{\text{р}} = 4716 + 3144 + 7860 = 15720 \text{ грн.}$$

Річні витрати на обслуговування обладнання

$$K_{\text{обс}} = P_{\text{обс}} \cdot \Phi_{\text{ср}} \cdot \frac{t_i}{t_{\text{р}}} \quad (4.3)$$

де $P_{\text{обс}}$ - кількість обслуговуючого персоналу, (осіб);

$\Phi_{\text{ср}}$ - середньорічний фонд заробітної плати одного працівника, (грн./рік);

t_i - середній час роботи одного працівника по обслуговуванню устаткування, (годин);

$t_{\text{р}}$ - дійсний річний фонд часу одного працюючого, (годин); приймається в розмірі 1775 -1780 годин/рік.

За даними Держкомстату середня заробітна плата в Україні в 2024 році становить 18903грн. на місяць. Таким чином, визначаємо річну ставку одного працівника 226836грн/рік.

Згідно рекомендації виробника, планове обслуговування відбувається кожні 500 годин роботи компресорної установки.

$$\frac{1780}{500} \cdot 8 = 28,48 \text{ год.}$$

Приймаємо 28 годин на рік на ремонт обладнання

$$K_{\text{обс}} = 1 \cdot 226836 \cdot \frac{28}{1780} = 3568,20 \text{ грн.}$$

До модернізації плановий ремонт обладнання проводився в кожні 300-340 годин роботи обладнання.

$$\frac{1780}{340} \cdot 8 = 41,88 \text{ год.}$$

$$K_{\text{обс.с}} = 1 \cdot 226836 \cdot \frac{42}{1780} = 5352,31 \text{ грн.}$$

Річна економія становить 1784,11 грн. на рік.

Вартість втрат електроенергії для електродвигунів, генераторів:

$$Z_e = \Psi_e \cdot h \cdot k_z \cdot P_{\text{ном}} \cdot \frac{(1-\eta+\alpha)}{\eta} \quad (4.4)$$

де Ψ_e - середній тариф за 1 кВт·час, за індексом Минфіна становить 8,34грн.

h - кількість годин роботи двигуна, генератора протягом року, для цього показника рекомендовані такі значення: 6000 годин/рік – при двозмінній роботі.

k_z – середній коефіцієнт завантаження двигуна, за відсутністю даних про середньорічну потужність, значення може бути прийнято в розмірі 0,6-0,7

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна, кВт.

η - к.к.д. електродвигуна;

α - відносна величина втрат в розподільчих мережах споживача, віднесена до спожитої потужності двигуна (приймається в розмірі 4%).

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		65

$$Z_e = 8,34 \cdot 6000 \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot \frac{(1 - 0,98 + 1,2)}{0,98} = 1282024,8 \text{ грн}$$

До модернізації к.к.д. двигуна становив 87%:

$$Z_e = 8,34 \cdot 6000 \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot \frac{(1 - 0,87 + 1,2)}{0,87} = 1397617,2 \text{ грн}$$

Річна економія на електроенергію складає 115592,4грн.

Проведячи порівняльний аналіз роботи компресорної установки до модернізації і після встановлення трифазного асинхронного двигуна і частотного перетворювача, економічна ефективність становить:

- споживання електроенергії зменшилося на 115592,40 грн. на рік.
- збільшення ефективності роботи двигуна до 98%;
- збільшився термін служби механічних частин двигуна;
- суттєво знизилися витрати на капітальний ремонт.

Термін окупності капіталовкладень:

$$T_{ок} = \frac{S_i}{E} = \frac{157200}{117376,51} = 1,3 \text{ року}$$

Отримані результати наочно свідчать про доцільність модернізації.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						66
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Небезпека при роботі зі стисненим повітрям

Робота компресорного обладнання пов'язана із наявністю рухомих частин, високого тиску, можливістю створення вибухонебезпечних сумішей. Надзвичайно небезпечно підвищення температури і тиску вище допустимих значень. Якщо не дотримуватись правил безпеки при експлуатації компресорів, що працюють під тиском, можливі вибухи і аварії.

Вибухи компресорів можуть бути викликані підвищенням температури стиснутого повітря в компресорі понад встановлені межі; неякісним мастилом; неправильними монтажем, складанням і встановленням компресора; утворенням в стиснутому повітрі вибухонебезпечних сумішей; підвищенням тиску стиснутого повітря в компресорі або ресивері понад допустимий; іскрінням в середовищі вибухонебезпечних сумішей; гідравлічним ударом; виготовленням деталей компресорних установок з недоброякісних матеріалів; неправильним або неуважним обслуговуванням і утриманням установок; засмокування забрудненого повітря; накопичення нагару, відкладання окислів заліза на холодних частинах системи; несправність контрольного манометра, запобіжних клапанів та інших приладів безпеки; виникнення зарядів статичного струму на корпусі при інтенсивному витрачанні стисненого повітря.

Найбільш поширеною причиною аварій компресорів є підвищення розрахункового тиску і температури, що призводить до зміни структури металу, порушення його механічної цілісності, а відтак і до вибуху.

На кожен компресорну установку має бути інструкція з безпечного обслуговування, а до роботи з обслуговування компресорних установок, допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання і мають посвідчення на право обслуговування.

Наказом керівника підприємства призначається особа, відповідальна за правильну і безпечну експлуатацію компресорних установок. Не дозволяється розташування компресорів в приміщеннях, суміжних з вибухонебезпечними і

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		67

хімічними виробництвами, які викликають корозію обладнання і шкідливо впливають на організм людини.

Проходи в компресорній повинні бути вільними та забезпечувати можливість монтажу і обслуговування. Підлога має бути рівною, неслизькою, мастиlostійкою, а вікна і двері відчинятися назовні. Компресорна обладнується ефективною вентиляцією і достатнім освітленням. Вхід у компресорну стороннім особам заборонено.

Контроль і регулювання величини тиску стисненого повітря у компресорі здійснюється запобіжними клапанами, які встановлюються на всіх ступенях стиснення і автоматичним регулятором тиску, який при перевищенні допустимого тиску переводить компресор на холостий хід.

Запобіжні клапани автоматично знижують тиск до нормального і випускають надлишок повітря в атмосферу. Тиск повітря (при робочому від 3 до 60 атм.) регулюється так, щоб не перевищувати робочий понад 15 %. Запобіжні клапани перевіряються під тиском один раз на місяць. Один раз на 6 місяців випробовуються всі манометри контрольним манометром, який у свою чергу перевіряється один раз на рік.

Головними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, які можуть діяти на працівника являються:

- підвищена температура поверхні обладнання;
- підвищені рівні шуму, вібрації на робочому місці;
- дія рухомих і таких, що обертаються, деталей обладнання і механізмів
- можливість ураження електричним струмом
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена загазованість робочої зони.

Усім робітникам, що обслуговують компресорні установки:

- не спрямовати струмінь стисненого повітря на людей або тварин;
- необхідно використовувати пневматичні інструменти, розраховані на робочий тиск даного компресора або приєднувати їх через редукторний клапан;

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		68

- пошкодження шланга для стисненого повітря, з'єднувальних штуцерів, швидкоз'ємних конекторів або інших деталей повітряної магістралі.

5.2 Електробезпека

1 Дія електричного струму на організм людини. Електричні травми. З кожним роком зростає виробництво та споживання електроенергії, а відтак і кількість людей, які в процесі своєї життєдіяльності використовують (експлуатують) електричні пристрої та установки. Тому питання електробезпеки набувають особливої ваги. Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики. Аналіз виробничого травматизму показує, що кількість травм, спричинених дією електричного струму, є незначною і становить близько 1 %. Однак із загальної кількості смертельних нещасних випадків частка електротравм становить 20-40% і посідає одне з перших місць. Щороку в Україні від електричного струму гине приблизно 1500 осіб. Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі зі смертельними наслідками, стається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, що пов'язано з їх поширенням і відносною доступністю практично для кожного, хто працює на виробництві. Випадки електротравматизму під час експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В нечасті, що зумовлено незначним поширенням таких електроустановок і обслуговуванням їх висококваліфікованим персоналом. Основними причинами електротравматизму на виробництві є: - випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування; - використання несправних ручних електроінструментів; - застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В; - робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань; - доторкання до незаземлених корпусів електроустановок, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження чи пробоя ізоляції; - недотримання правил будови, улаштування, безпечної експлуатації електроустановок та правил експлуатації

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		70

електрозахисних засобів тощо. Електроустаткування, з яким доводиться мати справу практично всім працівникам на виробництві, становить значну потенційну небезпеку ще й тому, що органи чуття людини не здатні на відстані виявляти наявність електричної напруги. У зв'язку з цим захисна реакція організму виявляється лише після того, як людина потрапила під дію електричної напруги. Проходячи через організм людини, електричний струм справляє на нього термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію. Термічна дія струму спричинює опіки окремих ділянок тіла, нагрівання кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які проходить струм, що призводить до виникнення в них функціональних розладів. Електролітична дія струму характеризується розкладом (електролізом) крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізикохімічного складу. Механічна дія струму загрожує ушкодженнями (розриви, розшарування тощо) різноманітних тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту. Біологічна дія струму на живу тканину спричиняє небезпечне збудження клітин та тканин організму, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу. Збудження тканин організму внаслідок дії електричного струму може бути прямим, коли струм проходить безпосередньо через ці тканини, та рефлекторним (через центральну нервову систему), коли тканини не знаходяться на шляху проходження струму.

Усі види робіт з підготовки електроінструмента до роботи проводити тільки при відключеній від мережі штепсельній вилці. Підключати, відключати інструмент від мережі штепсельною вилкою тільки при вимкненій кнопці на інструменті. Запобіжні і захисні пристрої та система електропостачання повинна бути справна та відповідати характеристикам компресора. Не можна допускати потрапляння компресора під вплив атмосферних опадів; використовувати компресор у вологих або сирих приміщеннях; працювати з електроінструментом при несправній роботі кнопки увімкнення; носити електроінструмент за кабель живлення.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		71

Не накручувати кабель навколо руки або інших частин тіла. Не допускати натягування, перекручування й попадання під різні вантажі кабелю живлення, його контакту з гарячими й масляними поверхнями. Заборонено залишати без догляду компресор, підключений до електромережі.

Експлуатація електроінструмента при появі диму або запаху, характерного для горілої ізоляції, при пошкодженні штепсельної вилки або кабелю живлення заборонено.

5.3. Пожежна безпека

Однією з актуальних проблем сучасності є попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, які можуть супроводжуватися багаточисельними людськими жертвами, великими матеріальними втратами та порушеннями умов життєдіяльності. До надзвичайних ситуацій техногенного характеру відносяться пожеж та вибухи на промислових об'єктах. До об'єктів вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних відносяться також насосні станції.

Відповідно до Закону України „Про пожежну безпеку” забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ, організацій покладається на їх керівників та уповноважених керівниками осіб, якщо інше не передбачено відповідним договором.

Обов'язки власників підприємств та уповноважених ними органів, а також орендарів щодо забезпечення пожежної безпеки встановлюються статтею 5 Закону України «Про пожежну безпеку»:

- розробляти комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, впроваджувати досягнення науки і техніки, позитивний досвід;
- відповідно до нормативних актів з пожежної безпеки розробляти і затверджувати положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють у межах підприємства, здійснювати постійний контроль за їх додержанням;

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		72

- забезпечувати додержання протипожежних вимог стандартів, норм, правил, а також виконання вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду;
- організовувати навчання працівників правил пожежної безпеки та пропаганду заходів щодо їх забезпечення;
- у разі відсутності в нормативних актах вимог, необхідних для забезпечення пожежної безпеки, вживати відповідних заходів, погоджуючи їх з органами державного пожежного нагляду;
- утримувати у справному стані засоби протипожежного захисту і зв'язку, пожежну техніку та інвентар, не допускати їх використання не за призначенням;
- створювати, у разі потреби, відповідно до встановленого порядку підрозділи пожежної охорони та необхідну для їх функціонування матеріально-технічну базу;
- подавати на вимогу державної пожежної охорони відомості про стан пожежної безпеки об'єктів і продукції, що ними виробляється;
- здійснювати заходи щодо впровадження автоматичних засобів виявлення та гасіння пожеж і використання для цієї мети виробничої автоматики;
- своєчасно інформувати пожежну охорону про несправності пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання, а також про закриття доріг і проїздів на своїй території;
- проводити службове розслідування випадків пожеж.

5.3.1 Первинні засоби пожежогасіння

Будівлі, споруди, приміщення, технологічні установки повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками, ящиками з піском, бочками з водою, покривалами з теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини, повсті, пожежними відрами, совковими лопатами, пожежним інструментом (гаками, ломачами, сокирами тощо), які використовуються для локалізації і ліквідації пожеж у їх початковій стадії розвитку. Уперше збудовані, після реконструкції, розширення або переоснащення об'єкти

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						73
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Печат		

Повітряно-пінний вогнегасник використовується для гасіння твердих речовин, горіння тліючих матеріалів і горючих рідин. Але не годиться для гасіння речовин, здатних горіти без доступу кисню, і електроустаткування під напругою.

Вуглекислотні вогнегасники застосовують для гасіння речовин, матеріалів і електроустановок. Виняток становлять речовини, здатні горіти без доступу кисню. Вуглекислотні вогнегасники завдяки своїй універсальності і ефективності гасіння отримали широке поширення. Переносні вуглекислотні вогнегасники розрізняються лише своїми габаритами і складаються з балона з діоксидом вуглецю, запірною вентиля, розтруба і шланга.

Аерозольний вогнегасник призначений для гасіння загоряння легкозаймистих і горючих рідин, твердих речовин, електрообладнання під напругою. Виняток становлять лужні матеріали, і речовини здатні горіти без доступу кисню.

Порошковий вогнегасник застосовують при всіх типах загорянь, використовуючи в якості вогнегасної речовини порошки загального та спеціального призначення.



Рис. 5.2. Вогнегасник порошковий; вуглекислотний

ВИСНОВКИ

При прямому пуску асинхронного двигуна спостерігається великий пусковий момент, але при цьому дуже високий пусковий струм. Після розгону АД струм обмоток статора і обертаючий момент на валу двигуна значно знижуються.

При пуску АД із перетворювачем частоти ПЧ-АД імпульси пускового струму двигуна зменшуються в 2...3 рази.

Трифазний асинхронний двигун АІР180М потужністю 30,0 кВт із перетворювачем частоти SINAMICS G120X від німецького виробник SIEMENS з номінальною потужністю 30,0 кВт та з номінальним струмом навантаження 60 А забезпечать розгін гвинтової пари повітряного компресора і регулювання частоти обертання їх роторів у заданому діапазоні регулювання 1000...1580 об/хв з точністю стабілізації частоти обертання $\Delta n = 5,0\%$ в розімкненій схемі управління електроприводом гвинтового компресора, тобто забезпечать нормальну роботу машини електрифікованого агрегату. Правильність вибору та розрахунку системи управління перевірена за допомогою моделювання засобами середовища MATLAB/Simulink. Дослідження виконувалось в наступних режимах: пуск в холосту, накид навантаження, підвищення швидкості без зміни навантаження, зупинка. Модернізована система електроприводу відповідає сучасним вимогам, що суттєво покращує технологічний процес конвеєрної лінії. В результаті проведеного порівняння видно, що варіант електроприводу з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором і перетворювачем частоти економічно доцільніше, ніж асинхронний двигун без регулювання.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
						76
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. – Київ: Міненерговугілля, 2017. – 617 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Видання офіційне. – Київ: Міненерговугілля, 2018. – 361 с.
4. Загірняк М. В., Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Київ: Знання, 2009. — 400 с. — ISBN 978-966-346-644-6.
5. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін. – Д.: НГУ, 2003. – 328 с. – ISBN 966-8271-36-X.
6. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовий О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.
7. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
10. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/15658/1/Modelyuvannia_asunxron_syst em.pdf
11. <https://elprivod.nmu.org.ua/>
12. <https://vlp.com.ua/node/6557>
13. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів СВО «Бакалавр» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузі знань 14 – «Електрична інженерія» / Укладачі: П.І. Осадчук, В.Ф. Бабіч, А.А. Галіулін, Є.П. Штепа. – Одеса: ОНТУ, 2021. – 55 с.

					КРМ.1.663-03.2.3	Арк
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Пот.		77