

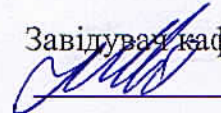
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 /А. М. Муха/

« 17 » 12 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 14 Електрична інженерія

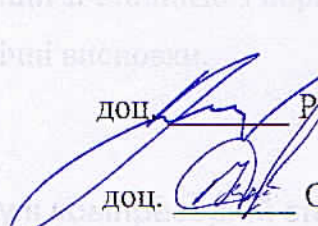
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

Тема Проектування компресорної станції та аналіз її енергоефективності

Theme Designing of the electric drive of the compressor station and the analysis of its energy efficiency

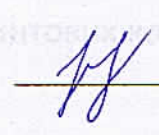
Керівник дипломної роботи

доц.  Р. В. Краснов

Нормоконтролер

доц.  О. О. Карзова

Студент групи ЕП1921

 О. А. Ніжнік

Student

Nizhnik Oleksii

Дніпро – 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Факультет Управління енергетичними процесами
кафедра Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри


(підпис)


(ПІБ)

«28» 08 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи ЕП1921 Ніжніка Олексія Андрійовича

(номер групи)

(ПІБ)

1. Тема дипломної роботи «Проектування електроприводу компресорної станції та аналіз її енергоефективності»

затверджена наказом по університету № 849 від «12» січня 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 10 грудня 2020 р

3. Вихідні дані до дипломної роботи Спроекувати електропривод гвинтової компресорної станції з використанням асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Провести порівняльний аналіз даної станції зі станцією з поршневым компресором. Зробити відповідні техніко-економічні висновки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

- 1) Аналіз існуючого технологічного процесу в компресорній станції
- 2) Порівняльна характеристика поршневих та гвинтових компресорів
- 3) Регулювання обертів асинхронного двигуна
- 4) Модернізація поршневого компресора
- 5) Дослідження перехідних процесів під час пуску двигуна поршневого компресора
- 6) Техніко-економічне обґрунтування створення та виробництва гвинтових компресорів

7) Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік креслень (з переліком обов'язкових креслень)

1. Загальний вигляд поршневого компресору.

2. Перехідні процеси при пуску АД.

3. Загальний вигляд гвинтового компресору.

4. Електричні схеми керування

6.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Саблін О.І.		

Дата видачі завдання: «28» 06 20 20 р.

Керівник дипломної роботи

Завдання прийняв до виконання


(підпис)


(підпис)

Краснов Р.В.
(ПІБ)

Ніжнік О.А.
(ПІБ)

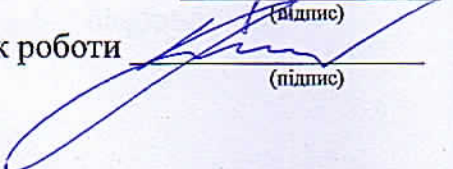
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Аналіз існуючого технологічного процесу в компресорній станції	12.10.2020	10%
2	Порівняльна характеристика поршневих та гвинтових компресорів	12.10.2020	10%
3	Регулювання обертів асинхронного двигуна	12.10.2020	15%
4	Модернізація поршневого компресора	09.11.2020	10%
5	Дослідження перехідних процесів під час пуску двигуна поршневого компресора	30.11.2020	25%
6	Техніко-економічне обґрунтування створення та виробництва гвинтових компресорів	30.11.2020	20%
7	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.2020	10%

Студент-дипломник

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Проектування електроприводу компресорної станції та аналіз її енергоефективності»: 64 сторінки основного тексту, 9 таблиць, 4 рисунків, 15 літературних джерел.

Мета роботи – проектування електроприводу компресорної станції та аналіз її енергоефективності. Об'єктом дослідження енергоефективності є Дніпровське локомотивне депо, а саме компресорна установка типу А2ХДЗК-100/320.

В розділі 1 приведений аналіз технологічного процесу, в якому особлива увага звернена на компресорну установку.

В розділі 2 проведена порівняльна характеристика поршневих та гвинтових компресорів.

В розділі 3 розглянуті методи регулювання частоти обертання асинхронного двигуна та обраний тип електродвигуна для поршневої компресорної станції А2ХДЗК 100/320.

В розділі 4 розділі розрахований перетворювач частоти.

В розділі 5 проведено дослідження перехідних процесів у електродвигуні компресора під час його пуску за допомогою графоаналітичного методу.

В розділі 6 висновком є економічно вигідне використання гвинтових компресорів.

В розділі 7 представлена охорона праці та дії працівників в надзвичайних ситуаціях і електробезпека.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПОРШНЕВИЙ КОМПРЕСОР, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ГВИНТОВИЙ КОМПРЕСОР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ, ПОТУЖНІСТЬ, ТИСК, МІКРОКОНТРОЛЕР.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ В КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ	9
1.1 Технічні характеристики поршневого компресора	10
1.2 Недоліки та переваги існуючого технологічного процесу	14
1.3 Шляхи усунення існуючих недоліків	15
1.4 Вибір гвинтової компресорної станції	17
РОЗДІЛ 2 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРШНЕВИХ ТА ГВИНТОВИХ КОМПРЕСОРІВ	19
2.1 Переваги та недоліки поршневих компресорів	19
2.2 Переваги та недоліки гвинтових компресорів	20
2.3 Перспектива використання гвинтового компресорного обладнання для тягового рухомого складу поїздів, локомотивів і міського транспорту	21
2.3.1 Сучасний стан виробництва компресорів для тягового і рухомого складу транспортних засобів	21
2.3.2 Аналіз світових тенденцій розвитку компресоробудування для тягового та рухомого складу транспортних засобів	24
2.3.3 Ряд гвинтових компресорів для заміни компресорного обладнання рухомого складу	26
РОЗДІЛ 3 РЕГУЛЮВАННЯ ОБЕРТІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	29
3.1 Регулювання координат за допомогою резисторів	29
3.2 Регулювання координат електропривода зміною напруги	30
3.3 Регулювання швидкості АД зміною числа пари полюсів	31
3.4 Регулювання швидкості АД в каскадних схемах його включення	32

					Проектування електроприводу компресорної станції та аналіз її енергоефективності			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ніжнік О. А.		15.12	Пояснювальна записка			
Перевір.		Краснов Р. В.		16.12				
Н. Контр.		Карзова О. О.		16.12				
Консультант								
Затверд.		Муха А. М.		17.12				
						Літ.	Арк.	Аркушів
							5	64
						ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна група ЕП1921		

3.5 Регулювання швидкості АД зміною частоти живлячої напруги	32
3.6 Вибір електроустаткування для силової частини приводу	34
РОЗДІЛ 4 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА	35
4.1 Розрахунок тиристорного перетворювача для керування пуском двигуна поршневої компресорної станції	35
4.2 Розрахунок перетворювача частоти для керування пуском двигуна поршневої компресорної станції	36
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ПУСКУ ДВИГУНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА	40
5.1 Загальні відомості про перехідні процеси	40
5.2 Розрахунок перехідного процесу	42
РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ГВИНТОВИХ КОМПРЕСОРІВ	45
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	49
7.1 Вимоги безпеки до експлуатації систем під тиском	49
7.2 Дії працівників в надзвичайних ситуаціях	55
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	61
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ	63
ДОДАТОК А	64

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		6

ВСТУП

Компресори та компресорні установки знаходять широке застосування в промисловості, лініях автоматизації виробництва, холодильних установках, медицині, будівництві.

Компресор – це машина, яка призначена для стиснення та подачі газів під тиском.

Основними параметрами, що характеризують роботу компресора є об'ємна подача, початковий і кінцевий тиск, частота обертання та потужність на валу компресора.

Їх використовують при ремонтних, монтажних роботах, будівництві, тобто, використовують там, де потрібно застосування пневмоінструменту. Компресори використовуються в складі бурових установок вугільної та гірничорудної промисловості, і нафтогазовій сфері. Також інтенсивно їх використовують у металургійній, харчовій промисловості, електрохімічній сфері, медицині та інших областях.

На промислових підприємствах стисле повітря використовується у таких напрямках: технологічному (для виплавки сталі і чавуну у металургії, одержання кисню у повітророзподільних установках), силовому (для приводів різних машин і механізмів у машинобудуванні, у гірничодобувній промисловості), у системах керування, на залізничному транспорті.

Широке застосування стислого повітря як енергоносія визначається його властивостями: можливість стиснення, прозорість, нешкідливість, вогнебезпечність, нездатність до конденсації при застосовуваних температурах, можливість передати його на великі відстані по трубопроводах у всіх випадках, коли волога від конденсату пари виявляється шкідливою чи небажаною. Реорганізація компресорного парку є одна з найбільш актуальних задач технічного переоснащення державних підприємств. У наш час на багатьох підприємствах залишилися потужні поршневі компресорні установки з продуктивністю від декількох десятків до сотень $\text{м}^3/\text{хв}$.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Традиційна концепція припускала використання великих поршневих компресорів, що вимагали постійного спостереження і обслуговування. Установка таких машин через шум і вібрацію в цехах неможлива. Розгалуджені пневмережі підприємств приводять до значних втрат стислого повітря. При виході пневмотрубопроводів на вулицю повітря охолоджується, втрачаючи енергоємність, у ньому конденсується волога, утворюються гідратні та льодяні пробки, в цехи повітря надходить забрудненим вологою і продуктами корозії трубопроводів, спричиняючи поломки і корозію пневмоінструмента, пневмоциліндрів.

Використання обладнання, зношеного як матеріально, так і морально, не дозволяє говорити про яку-небудь економію електроенергії. Окрім того, витрати на постійні ремонти поршневих компресорів, на утримання великої кількості обслуговуючого персоналу, на організацію зворотного водопостачання (більшість поршневих компресорів мають водяне охолодження), несе колосальні втрати із-за витоків у трубопроводах – все це призводить до значних фінансових затрат.

Відомо, що приблизно 70% електроенергії, споживаною промисловим підприємством доводиться на електродвигуни змінного струму – синхронні або асинхронні з короткозамкнутим ротором. Асинхронні машини прості, надійні і порівняно дешеві, але мають один недолік, що істотно впливає на економічність: у них постійна частота обертання, практично не залежна від навантаження, тоді як велика частина механізмів навантажень, особливо таких, як насоси, компресори, працюють в змінному режимі.

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ В КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ

У компресорному відділенні локомотивного депо знаходиться компресорна установка типу А2ХДЗК-100/320, яка призначена для постачання стислого повітря різним промисловим об'єктам.

Стисле повітря у локомотивному депо потрібне для живлення пневмоінструменту (гайковерти, пневмошліфувальна машина); піскоструйної камери (очищення деталей від ржавчини та нагару); випробувальних стендів у автоматному, апаратному та автостопчному цехах; краскопультів для обдування електрообладнання і механізмів на електрорухомому складі.

Компресорна установка обладнана асинхронним електродвигуном, номінальна потужність якого 110 кВт. Пуск компресора виконується напряму від мережі, але без навантаження (стисле повітря випускається в атмосферу), а потім за допомогою клапанів і заслінок надходить по пневмо-магістралі до резервуару.

Для правильної роботи поршневого компресора необхідна змазка маслом, а витрати цього масла за паспортом складають 2 л/год.

Охолодження поршневого компресора водяне, витрата охолоджуючої води для проміжного охолодження масла і охолодження циліндра складає від $2-3\text{ м}^3$ / год, при вхідній температурі води в 15 С.

Вода, що охолоджує, заздалегідь підводиться в маслоохолоджувач, а звідти поступає в проміжний охолоджувач компресорної установки. Корпус охолоджувача, в якому поміщений сам теплообмінний елемент, служить збірним баком для осідаючого конденсату.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

1.1 Технічні характеристики поршневого компресора

Таблиця 1 – Технічні дані компресорної установки А2ХДЗК-100/320

Об'ємна подача в натиском патрубку	м ³ /год	500
Тиск у всмоктуючому патрубку	Мпа	0
Число ступенів		2 ст.
Число циліндрів		1
Число обертів	об/хв	980
Потужність на валу	кВт	110
Номінальна напруга	В	380
Частота	Гц	50
Масляний охолоджувач, циліндр, проміжний охолоджувач	М ³ /год	2-3
Додатковий охолоджувач	М ³ /год	2-3
Витрата масла	л/год	0,75 л/24 година
Максимально допустима витрата масла	л/год	2 л/24 година

Вертикальна конструкція відрізняється від будь-яких можливих видів конструктивного виконання найменшою потребою в установочній площі.

Вигляд двопоршневої конструкції вирішує значне підвищення продуктивності без надмірного збільшення числа зворотів і одночасно дозволяє створити двоступінчате стиснення лише в одному циліндрі.

У цьому одному циліндрі рухаються назустріч, вгору і вниз, два поршні подвійної дії і однакових розмірів. Із створюваних при цьому трьох робочих просторів, верхнє і середнє діє як 1-й рівень, а нижній простір утворює 2-й рівень. Завдяки протилежному руху обох поршнів, з розбіжністю один від одного, між ними створюється великий робочий об'єм. При цьому швидкість ковзання окремих поршнів, на підставі невеликого ходу, дуже незначна, що здійснює вигідний вплив на зношення між поршневими кільцями і стінкою циліндра. Що зумовлює машину для безперервної роботи на режимі повного

навантаження. Ця обставина враховується вибором варіанту конструктивного виконання крейцкопфа.

Розташуванням охолоджувача над приводним двигуном, що прямо сполучається, забезпечується не лише економія настановної основної площі, але і одночасно скасовується необхідність наявності всяких трубопроводів для газу.

Машина розроблена для стискання повітря, як і неагресивних, безпечних для здоров'я і важкозапальних газів. З її допомогою не можна стискати агресивні середовища, наприклад, кисень, ацетилен та інші. Для цього використовувати компресори особливого вигляду конструктивного виконання.

Компресор відрізняється невеликою потребою в установочній площі, малою вагою і найбільшою надійністю експлуатації. Його конструктивне виконання відповідає умовам техніки безпеки праці.

Картер кривошипа виконаний тунельним (нероз'ємним). У ньому поміщені трьохкривошипний вал і два досить великих підшипника ковзання.

Монтажні отвори в картері кривошипа і в корпусі крейцкопфа вирішують хороший доступ до деталей приводного механізму, особливо до вузла з'єднання поршневого штока з крейцкопфом.

Двопоршнева конструкція машини забезпечує оптимальну плавність ходу машини. Завдяки зустрічному руху мас, природним способом врівноважуються дії їх зусиль, без необхідності вживання додаткових противаг.

Маховик конструктивно виконаний у вигляді напівмуфти. Підшипниками шатунних і крейцкопфних шийок є так звані комбіновані свинцево-бронзові підшипники із сталевими опорними корпусами.

На підставі вибраного невеликого питомого навантаження підшипників і сприятливої характеристики зносу комбінованих підшипників можна відмовитися від додаткового регулювання підшипників.

Стержень шатуна має здвоєний Т-подібний поперечний перетин.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Кривошипна голівка шатуна виконана роз'ємною. Поршні ущільнюються самопружинними поршневыми кільцями, виготовленими із спеціального сірого чавуну.

Змащування приводного механізму і циліндрів здійснюється окремими системами мастила. Приводний механізм змащується циркулюючим маслом під тиском, яке дотримується шестерним насосом і набудовується за допомогою регулюючого клапана. Надлишок масла за допомогою клапана регулювання тиску масла, змонтованого на герметичному апараті для мастила циліндра, що набудовується, цим же змащувальним апаратом прямує назад в кривошипний картер. Унаслідок цього забезпечується постійне наповнення апарату для мастила циліндра.

Продуктивний маслоохолоджувач зменшує схильність до старіння змащувального матеріалу і сприяє поліпшенню механічного коефіцієнта корисної дії, як і гарній характеристиці зносу. Через маслозаливний патрубок на картері кривошипа можна доливати масло навіть під час роботи машини.

При економному налаштуванні системи, загальна витрата масла компресором складає лише 30 мг/м^3 повітря, що подається (тобто, витрата масла, приведена до режиму 980 об/хв. що, дорівнює 0,75 л на 24 робочих годин машини).

Поряд з охолодженням напірного масла, як і циліндрової поверхні ковзання, клапанних камер і голівки циліндра, високопродуктивний корозійностійкий овально-трубний ребристий охолоджувач забезпечує зворотне охолодження стислого повітря 1-го рівня майже до температури на всмоктуванні. З допомогою додаткового охолоджувача забезпечується зворотне охолодження стислого повітря в другій ступені до рівня нижче температури 60°C , згідно положення АСАО 512/2 для необхідного відділення масла і конденсата.

Витрата охолоджуючої води для проміжного охолодження масла і охолодження циліндра складає від 2 до 3 $\text{м}^3/\text{час}$, при вхідній температурі води

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

в 15⁰С. Для забезпечення експлуатаційної надійності, в обов'язковому порядку необхідно звернути увагу на наявність вільного спуску води.

Компресор обладнаний пристроєм автоматичного регулювання холостого ходу. Унаслідок примусового утримування всмоктуючих клапанів відкритими відбувається зменшення подачі до нуля, причому одночасно і зменшується споживана приводним двигуном потужність приблизно до 20%.

При цьому пневмо-керуючі захвати всмоктуючих клапанів здійснюють їх відкриття. Відповідний імпульс поступає від регулюючого клапана, який можна набудувати на бажаний кінцевий тиск стискування .

Компресор приводиться в дію від електродвигуна. Сучасні короткоходні конструкції, не дивлячись на значно підвищене число обертів, часто відрізняються меншими швидкостями ковзання чим тихохідні далекоходні машини.

Гідність короткоходної конструкції з її порівняно високим числом обертів вирішує пряме з'єднання компресора і двигуна, що в нашому випадку здійснюється за допомогою пружної кулачкової муфти. Таким чином скасовуються всякі інші елементи, передавальні зусилля.

У нормальному випадку компресорна установка, включаючи двигун, поставляється в змонтованому перебуванні на загальній опорній рамі. Якщо через які-небудь інші причини, установка машини проводиться в інших умовах, то в ході монтажу увагу необхідно звернути на те, щоб приводний двигун був направлений точно співвісний з компресором, оскільки лише таким чином можна забезпечити плавність ходу загальної установки.

Слід передбачити чимале приміщення для установки агрегату. До компресора, з усіх боків, необхідно забезпечити хороший доступ для виконання робіт по відходу і ремонту. Врахувати необхідно відповідні простори для знімання деталей машини, як і потрібна відстань для використовуваних підйомників.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Забезпечити необхідно достатнє провітрювання приміщення або постійну циркуляцію повітря. В разі небезпеки морозу слід передбачити відповідне опалювання приміщення.

Для проведення монтажних робіт рекомендується встановити відповідний підйомник, величину якого необхідно вибирати залежно від загальної ваги компресорної установки, але не меншу від ваги окремої найбільшої частини. Підйомник повинен пересуватися в декількох напрямках.

1.2 Недоліки та переваги існуючого технологічного процесу

Провівши аналіз технологічного процесу можна відзначити, що компресорна установка створює великий шум, вібрацію (споруда, яка знаходиться поряд з компресорною станцією зазнає руйнування), споживає багато електроенергії.

Для стиснення повітря у компресорних машинах потрібні значні витрати електричної енергії. Забезпечивши в процесі експлуатації високу продуктивність, гарну і тривалу роботу компресора, можна значно зменшити витрату електроенергії та значно понизити вартість вироблення стиснутого повітря.

Забрудненість повітряних фільтрів, температура навколишнього повітря, система охолодження, робота клапанів, нагрівання окремих частин і інші фактори відображаються на тепловому режимі компресора, його продуктивності, справності роботи і впливають на витрату енергії.

Тому потрібно вести постійне спостереження за режимом компресора і контролювати його показники, які дозволяють судити про режим роботи і своєчасно приймати міри при їх відхиленні від заданих параметрів.

Основними показниками, які характеризують економічну роботу компресорної установки, являються:

- кількість повітря, яке подане у мережу;
- питома витрата електроенергії на вироблення стиснутого повітря;
- середній тиск стиснутого повітря у мережах повітропроводів;

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

- витрата змащуючого масла;
- витрата води, що охолоджує.

У цілях підтримки нормального режиму і досягнення найбільш економічної роботи компресорної станції у ній повинні бути встановлені наступні основні контрольно-вимірювальні прилади:

- повітромір на загальній магістралі;
- самопишучий манометр на загальному повітропроводі для реєстрації тиску стиснутого повітря;
- електричний лічильник для обліку енергії, що витрачається на вироблення стиснутого повітря;
- водомір для виміру кількості води, яка витрачається на охолодження;
- термометри і манометри.

Крім того, в кожній компресорній установці повинні бути заведені вахтові журнали (форми № 2, 3, 4) для реєстрації режиму роботи компресорів і обліку виробленого стиснутого повітря, експлуатаційні інструкції з вказівкою у них нормальних параметрів теплового режиму кожного компресора. Відсутність цього і контрольно-вимірювальних приладів знижує якість експлуатації, економічність роботи компресорів і може привести до аварій.

Облік повітря, що виробляється компресорами, ведеться як у об'ємних, так і в вагових одиницях.

Основною величиною, яка характеризує компресор, служить об'єм поданого повітря [1, 2].

1.3 Шляхи усунення існуючих недоліків

Основними шляхами усунення існуючих недоліків є:

- 1) модернізація поршневого компресора за допомогою перетворювача частоти;
- 2) заміна поршневого компресора на гвинтовий.

Перетворювачі частоти можуть вирішити наступні стандартні проблеми будь-якого підприємства або організації:

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

- економія енергоресурсів;
- подовження строку служби технологічного обладнання;
- зниження витрат на ремонтні і планово-запобіжні заходи;
- забезпечення оперативного управління та достовірного контролю за виконанням технологічних процесів.

За допомогою перетворювача частоти можна безпечно для двигуна знижувати частоту його обертання до 30-40% від номінальної, що призводить до суттєвого зниження споживання електроенергії. Регулювання швидкості обертання асинхронного електродвигуна в цьому випадку здійснюється шляхом зміни частоти і величини напруги живлення двигуна.

Застосування перетворювача частоти дозволяє уникати режимів, коли компресор створює надлишковий тиск, що веде до надмірної витрати повітря, його витоків і додаткового навантаження на всі компоненти компресора. Компресор з перетворювачем частоти, що працює в режимі підтримки необхідного тиску, здатний швидко реагувати на його зміну і підтримувати з точністю 0,2 бар, що дає додаткову економію електроенергії в порівнянні з компресорами, що працюють в режимі «навантаження – холостий хід», при якому точність підтримки тиску складає 0,5 бар.

Одна з суттєвих переваг застосування перетворювача частоти для компресорів полягає в плавному пуску електродвигуна. Пусковий струм при номінальній. Крім того, це накладає обмеження на кількість пусків в годину. При прямому пуску їх число не перевищує чотирьох за годину, а при плавному пуску з використанням перетворювача частоти це число можна збільшити до десяти. Прямий пуск є основним фактором, що приводить до передчасного старіння ізоляції, нагріву обмоток електродвигуна, та як наслідок, зменшенню його ресурсу у декілька разів. Реальний термін експлуатації електродвигуна компресора залежить не від часу напрацювання, а від загальної кількості пусків.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Поява гвинтових (ротаційних) компресорів витіснила поршневі компресори в діапазоні продуктивності від 1 до 100 м³/хв в області забезпечення виробництв стислим повітрям.

1.4 Вибір гвинтової компресорної станції

Компресор – пристрій з постійним навантаженням і тривалим режимом роботи. Як і для інших машин з аналогічними характеристиками, необхідна потужність електродвигуна для компресора визначається по потужності на валу. Для цього використовується наступна формула:

$$P = k_3 \cdot (Q \cdot A \cdot 10^{-3}) / (\eta_K \cdot \eta_{II}), \quad (1)$$

де P – необхідна потужність електродвигуна в кВт;

k_3 – коефіцієнт запасу, що варіюється, як правило, від 1,05 до 1,15 (він необхідний, щоб включити в розрахунки фактори, що не піддаються обчисленням);

Q – подача (продуктивність) компресора, виражена в м³/с;

A – робота адіабатичного і ізотермічного стиснення атмосферного повітря об'ємом 1 м³ до необхідного тиску;

η_K – індикаторний ККД компресора (у цьому значенні відбивається втрата потужності, що виникає при реальному стиску повітря як правило, воно варіюється від 0,6 до 0,8);

η_{II} – ККД передачі, що з'єднує електродвигун і компресор (як правило, його значення варіюється від 0,9 до 0,95) [3].

$$P = 1,15 \frac{0,138 \cdot 242}{0,6 \cdot 0,9} = 71 \text{ кВт}.$$

Обрано асинхронний двигун типу 4А 280S6У3.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Таблиця 2 – Паспортні дані асинхронний двигун типу 4А 280S6У3

Потуж-ність, кВт	Частота обертання, хв^{-1}	Струм статора при напрузі 380В, А	ККД, %	$\cos \phi$	$\frac{I_{\text{П}}}{I_{\text{Н}}}$	$\frac{M_{\text{П}}}{M_{\text{Н}}}$	$\frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{Н}}}$	$\frac{M_{\text{М}}}{M_{\text{Н}}}$	Маховий момент ротора, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$
75	985	139	92	0,89	5,5	1,4	1,2	2,2	117

Вітчизняним виробником ВАТ «Полтавський турбомеханічний завод», що входить до концерну «УКРОСМЕТАЛ» виробляється гвинтова компресорна установка ВВУ-5/7, яка за продуктивністю ідентична А2ХД3К-100/320, але має переваги:

- потужність 75 кВт проти 110 кВт (менше споживає електроенергії);
- охолодження повітряне від власного вентилятора, а не водяне;
- майже не витрачає масла (витрати приблизно 3г/год) проти 2 л/год у поршневого компресора;
- не потребує перетворювача частоти, бо має свій м'який пускач і управляється мікроконтролером ;
- має менші габарити, при роботі менші вібрації.

У першому розділі дипломної роботи приведений аналіз технологічного процесу, в якому особлива увага звернена на компресорну установку.

РОЗДІЛ 2

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРШНЕВИХ ТА ГВИНТОВИХ КОМПРЕСОРІВ

2.1 Переваги та недоліки поршневих компресорів

Поршневі компресори по своїм характеристикам переважають компресори інших типів у наступних випадках:

- коли потрібна невисока продуктивність, при якій вони перевершують гвинтові;
- коли існують великі перепади в споживанні стиснутого повітря (промислові поршневі компресори добре працюють в повторно-короткочасному режимі, забезпечуючи велику економію в порівнянні з гвинтовими);
- коли компресор експлуатується у несприятливих умовах;
- коли компресори використовуються для стиснення агресивних газів.

Для випадків, коли потрібна невелика продуктивність (до 200 л/хв) і високий тиск (більше 20-30 атмосфер), поршневі компресори ефективніші і набагато дешевші в експлуатації, чим компресори інших технологій стиснення.

Основні недоліки поршневих компресорів:

- часте техобслуговування, що вимагає кваліфікованого персоналу;
- високі енерговитрати;
- високий рівень шуму і вібрації.

Міжсервісний інтервал поршневого компресора не перевищує 500 робочих годин. В результаті вважається нормальною ситуація для промислових підприємств, що використовують поршневі компресори і до цього дня, коли на один працюючий поршневий компресор доводиться один резервний. Також для обслуговування компресора потрібно декілька чоловік. Тому на промислових підприємствах компресори продуктивністю 5 м³/хв і більш встановлюються на фундаментах в спеціальних приміщеннях – компресорних, з чим пов'язані додаткові витрати на будівництво, проведення розгалужених пневмомереж, в

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

яких втрачається і охолоджується стиснуте повітря, що призводить до зниження його тиску.

2.2 Переваги та недоліки гвинтових компресорів

Гвинтові компресори володіють цілим рядом переваг:

- мають низький рівень шуму і вібрації;
- малі габарити, вагу і можуть встановлюватися безпосередньо в цехах, де споживається повітря;
- не вимагають спеціального фундаменту;
- мають мінімальні витрати масла 23 мг/м^3 ;
- оснащені автоматичною системою управління і контролю працездатності, не вимагають спостереження за своєю роботою, володіють великою надійністю, здатні на тривалу безперервну роботу без обслуговування;
- повітряне охолодження гвинтових компресорів дозволяє відмовитися від громіздкої системи оборотного водопостачання (градирні), а крім того, дає можливість вторинного використання тепла;
- не потребують кваліфікованого персоналу;
- енергетична економічність, споживають менше електроенергії;
- мають значно більший (у 2-3 рази) ресурс роботи.

Недоліками гвинтових компресорів є:

- складність пристроїв і механізмів, що дозволяють регулювати ступінь стиснення компресора залежно від необхідної величини;
- потреба в ефективному віддільнику масла і маслоохолоджувачі;
- неефективна робота пристроїв проміжного всмоктування при зниженні продуктивності компресора на 15-20% від максимальної величини.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

2.3 Перспектива використання гвинтового компресорного обладнання для тягового рухомого складу поїздів, локомотивів і міського транспорту

2.3.1 Сучасний стан виробництва компресорів для тягового і рухомого складу транспортних засобів

В Україні компресори для тягового і рухомого складу транспортних засобів виготовляються в більшості на Полтавському турбомеханічному заводі. Даний завод виготовляє протягом значного часу поршневі компресори марок КТ-5, КТ-6, КТ-6ЭЛ, КТ-7. Ці компресори створені на одній конструктивній базі і відрізняються незначними особливостями. Максимальна продуктивність $5,3\text{м}^3/\text{хв}$, максимальний тиск повітря – 9кгс/см^2 . Компресори призначені для виробництва стислого повітря на магістральних локомотивах. Конструкція їх морально застаріла і потребує заміни. Крім даних компресорів Полтавський турбомеханічний завод виготовляє поршневі компресори продуктивністю від $0,3\text{м}^3/\text{хв}$ до $1,5\text{м}^3/\text{хв}$ для транспортних засобів ($0,3\text{м}^3/\text{хв}$ – для тролейбусів, більш продуктивні – для електропоїздів). Дані компресори створені як аналоги компресорів, що виробляє Першотравневий завод «Трансмаш» (Росія). Цей завод на протязі багатьох років був і є монополістом у виробництві компресорів для тягового і рухомого складу транспортних засобів на території колишнього СРСР. Він виготовляє компресори продуктивністю від $0,3\text{м}^3/\text{хв}$ до $3,5\text{м}^3/\text{хв}$. Поршневі компресори, призначені для постачання стислого повітря системам гальмування, пневматичних приладів та іншого обладнання залізничного та міського транспорту – приміських поїздів, поїздів метро, трамваїв та тролейбусів. Номенклатура та головні параметри поршневих компресорів, що випускаються на цей час промисловістю, наведені у табл. 3.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Таблиця 3 – Номенклатура та головні параметри поршневих компресорів для тягового та рухомого складу транспортних засобів

Тип	Продуктивність $\text{м}^3/\text{хв}$	Тиск стислого повітря, $\text{кгс}/\text{м}^3$	Частота обертання валу, об/хв	Габаритні розміри, довжина, ширина, висота, мм	Маса, кг	Призначення
1	2	3	4	5	6	7
Полтавський турбомеханічний завод						
КТ-6	5,3	9	850	750×1320×1050	646	Для рухомого та тягового складу залізниць
КТ6Эл	5,3	9	850	750×1320×1050	630	Для рухомого та тягового складу залізниць
ЭКВО-0,3/8-13	0,3	8	1130	1000×680×400	233	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ЭКВО-0,8/9	0,8	9	1470	1000×725×400	190	Для систем гальмування та пневматичних приладів
Э-500	1,75	9	200	1299×717×629	673	Для рухомого та тягового складу залізниць
Першотравневий завод «Трансмаш» (Росія)						
ЭК-4	0,35	8	320	966×623×440	272	Для систем гальмування та пневматичних приладів

Продовж. табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
ЭК-4А	0,42	8	385	966×645×418	272	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ЭК-7А	0,62	8	560	1056×702×505	468	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ЭК-7П	0,58	8	540	1056×702×505	468	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ПК-4	0,4	8	1100	435×565×455	80	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ПК-8	0,8	8	1020	435×565×455	96	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ПК-17	1,75	9	1450	660×745×875	175	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ПК-35	3,5	9	1450	660×850×980	380	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ВПЗ-4/9	3,5	9	1100	526×1071×1070	380	Для систем гальмування та пневматичних приладів
ВВ-1,5/9	1,75	9	1100	506×462×1070	265	Для систем гальмування та пневматичних приладів

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

2.3.2 Аналіз світових тенденцій розвитку компресоробудування для тягового та рухомого складу транспортних засобів

На даний час в Україні та країнах СНД для потреб транспорту в основному використовуються поршневі компресори виробництва Полтавського та Першотравневого (АО «Трансмаш») заводів. Параметри компресорів, які виробляються цими підприємствами наведені у табл. 3. У поршневих компресорах всі елементи працюють у важких умовах знакозмінних та ударних навантажень. Відсутність систем очищення стислого повітря від вологи та мастила може призводити до випадіння конденсату та замерзання пневмосистем транспорту.

Виробництво стислого повітря поршневими компресорами не економічно через великі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування. Вказані фактори роблять заходи по удосконаленню поршневих компресорів малоефективними. Таке становище з забезпеченням стислим повітрям відмічається на залізницях практично усіх світових країн. Для виходу з цього становища ряд країн впроваджує заходи по заміні старого обладнання на сучасні компресори, які мають перспективу з технічної, економічної та експлуатаційної точки зору. Як перспективні та альтернативні поршневим компресорам розглядаються гвинтові компресори. Гвинтові компресори потребують менших витрат на обслуговування та значно меншу потребу по кількості мастила, дозволяють отримати більш якісне стисле повітря. Переваги гвинтових компресорів спонукають експлуатацію рухомого складу залізниць до розширення використання цих компресорів, що також обумовлено забезпеченням безпеки руху, надійністю та економічною обґрунтованістю. На залізницях таких країн, як Франція, Німеччина, Швеція, Швейцарія, Бельгія, Італія, Австрія гвинтові компресори вважаються найбільш перспективними. Найбільш відомі світові виробники компресорного обладнання, такі як Knorr Bremse, AtlasCopco, GardnerDenver – сьогодні пропонують компресори з необхідними характеристиками, гарантіями надійності та тривалими строками експлуатації.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Однією з компаній – виробників надійних, довговічних та з поліпшеними техніко-економічними показниками компресорів є американська фірма Gardner Denver. Ці компресори випускаються з широким діапазоном по продуктивності, їх відрізняє збільшений на 10-15% ККД. При їх розробці особливу увагу було спрямовано герметизації конструкції, а також найбільш можливого зменшенню зазорів між парами гвинтових роторів та корпусом для збільшення ефективності стиснення повітря. По новому вирішена система відділення мастила, знижено рівень шуму компресора.

Виробнича гама компресорів Gardner Denver включає гвинтові компресори продуктивністю 0,83-10 м³/хв. При тиску 7,5-13кгс/см² і потужності 5-60кВт. Компресори призначені на цілодобову працю зі 100% навантаженням. Рівень звуку знаходиться у межах 62-78дБ.

З умов нормальної праці компресора нагляд за ним зводиться до заміни фільтруючих елементів через 6000 годин роботи та додавання мастила при необхідності, при гарантованому терміну роботи 30 тисяч годин. Зареєстровані випадки роботи окремих компресорів на протязі 150 тисяч годин без заміни головних деталей та вузлів.

Аналіз тенденцій використання компресорів для потреб тягового та рухомого складу залізниць та міського транспорту показує:

- Зарубіжні споживачі компресорного обладнання для рухомого та тягового складу залізниць і міського транспорту віддають перевагу використанню високоефективних гвинтових компресорів.
- Використання гвинтових компресорів для потреб транспорту підвищує рівень безпеки, поліпшує умови обслуговування та показники чистоти навколишнього середовища.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		25

2.3.3 Ряд гвинтових компресорів для заміни компресорного обладнання рухомого складу

Таблиця 4 – Основні технічні характеристики гвинтових компресорів

Параметри	Одиниця виміру	Компресорна установка					
		ВВ-0,4/0,9	ВВ-0,9/1,0	ВВ-3,5/0,9	ВВ-5/0,9	ВВ-7,5/0,9	ВВ-8,5/0,9
1	2	3	4	5	6	7	8
Номінальна кількість обертів	об/хв	2940	2940	1450	2940	2940	2940
Номінальна продуктивність	м ³ /хв	0,4	0,9	3,5	5,0	7,5	8,5
Тиск повітря споживачу	кгс/см ²	9	10	9	9	9	9
Температура повітря на вході	°С	-40... +40	-40... +40	-40... +40	-40... +40	-40... +40	-40... +40
Температура повітря на нагнітанні	°С	+50	+50	+50	+50	+50	+50
Витрати мастила	мг/м ³	5	5	5	5	5	5
Споживана потужність	кВт	3,7	6,9	26	37,1	53	62
Режим роботи ПВ	%	100	100	100	100	100	100
Рівень звукового тиску, не більше	дБ	75	75	80	80	80	80

Переваги гвинтового компресорного обладнання приведені нижче:

- висока надійність роботи: середній ресурс до капітального ремонту складає 40 000...100 000 годин;
- простота в експлуатації і технічному обслуговуванні;

- низький рівень шуму (не більше 75 дБА для компресорів до 1 м³/хв і не більше 80 дБА для компресорів до 8,5 м³/хв);
- практично відсутня вібрація;
- невисока температура стисненого повітря (при відсутності кінцевого охолоджувача температура повітря складає 80...100 °С, при його наявності – 40...50 °С);
- незначними втратами мастила з повітрям (не більше 5 мг);
- можливість плавного регулювання продуктивності від 100 до 10%;
- наявність економічного режиму холостого ходу.

Для порівняння приводяться зрівнювальні характеристики поршневих та гвинтових компресорів, які наведені у табл. 5.

Таблиця 5 – Зрівнювальні характеристики поршневих та гвинтових компресорів

Параметри	Одиниця виміру	Тип компресора		Тип компресора		
		Поршневий	Гвинтовий	Поршневий		Гвинтовий
		ВП-3/9	ВВ-3,5/0,9	ВВ-1,5/9	ВВ-0,7/8	ВВ-0,9/1
1	2	3	4	5	6	7
Номінальна кількість обертів	об/хв	1000	1450	1000	630	2940
Номінальна продуктивність	м ³ /хв	3	3,5	1,5	0,7	1,0
Тиск повітря споживачу	кгс/см ²	9	9	9	8	10
Температура повітря на вході	°С	±40	±40	±40	±40	±40
Температура повітря на нагнітанні	°С	170	50	170	50	50
Витрати мастила	г/год	4	1,0	2	0,2	0,3
Маса компресора (без двигуна)	кг	344	500	238	100	300
Розміри:						
довжина	мм	526	1300	506	431	1400
ширина	мм	1071	1100	462	310	730
висота	мм	1070	1100	1070	632	1000

У другому розділі проведена порівняльна характеристика поршневих та гвинтових компресорів, описані їх переваги та недоліки. Також розглянута перспектива використання гвинтового компресорного обладнання для тягового рухомого складу.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 3

РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

3.1 Регулювання координат за допомогою резисторів

Даний спосіб регулювання координат, називаний часто реостатним, здійснюється введенням додаткових активних резисторів у статорні або роторні коло АД. Він привабливий простотою своєї реалізації, але має в той же час невисокі показники якості регулювання й економічності.

Включення додаткових резисторів $R_{1Д}$ у колі статора застосовується головним чином для регулювання (обмеження) у перехідних процесах струму й моменту АД з короткозамкненим ротором. У силу цих недоліків регулювання швидкості АД за допомогою активних резисторів у колі його статора застосовується рідко. Цей спосіб звичайно використовується для обмеження струмів і моментів АД з короткозамкненим ротором у різних перехідних процесах – при пуску, реверсі й гальмуванні. Наприклад, така схема застосовується в ЕП ліфтів із двошвидкісними АД. У таких ЕП при переході з високої швидкості на знижену в коло низькошвидкісної обмотки статора вводяться додаткові резистори, які забезпечують обмеження струму й моменту здійснюється включенням $R_{1Д}$ в одну фазу (так називані несиметричні схеми), що дозволяє одержати ефект зменшення струму й моменту при меншому числі резисторів.

Розглянутий спосіб має наступні показники: невеликий діапазон регулювання швидкості через зниження твердості характеристик і росту втрат енергії в міру його збільшення; плавність регулювання швидкості, що змінюється тільки вниз від основний, визначається плавністю зміни додаткового резистора $R_{2Д}$; невеликі витрати, пов'язані зі створенням даної системи ЕП, тому що для регулювання звичайно використовуються прості й

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

дешеві ящики металевих резисторів. У той же час експлуатаційні витрати виявляються значними, оскільки великі втрати енергії в АД.

3.2 Регулювання координат електропривода зміною напруги

Зміна напруги, підведеної до статора АД, дозволяє здійснювати в статичних і динамічних режимах регулювання його координат з гарними показниками й за допомогою щодо простих схем керування (рис.1), а також забезпечувати економічні режими роботи двигуна.

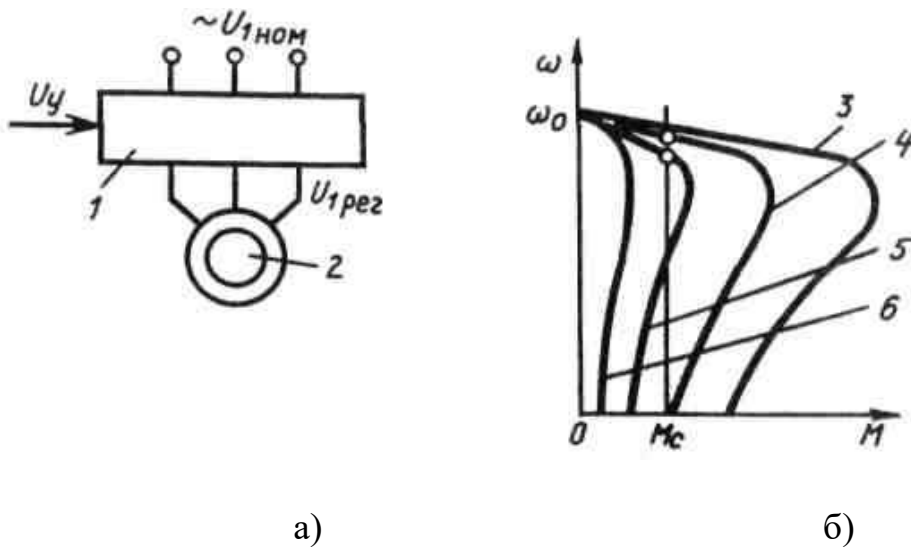


Рис. 1:

а) схема підключення АД до регулятора; б) характеристики АД

Для регулювання координат АД між мережею змінного струму зі стандартною напругою $U_{1ном}$ і статором двигуна 2 включений регулятор напруги 1, вихідна напруга якого $U_{1рег}$ змінюється за допомогою малопотужного зовнішнього сигналу керування U_y в межах від значення сіткової напруги $U_{1ном}$ і практично до нуля. При цьому частота напруги на двигуні не змінюється й дорівнює стандартної (50 Гц). Регулювання напруги на статорі не приводить до зміни швидкості холостого ходу $\omega_0 = 2\pi \cdot f_1 / p$ і не впливає на критичне ковзання S_k , але істотно змінює критичний момент M_k . Як видно з рис. 1., зменшення M_k відбувається пропорційно квадрату зниження

напруги. У результаті при $U_{1\text{рег}} = \text{var}$ штучні характеристики 3...6, побудовані відповідно при напругах (1; 0,8; 0,6 й 0,4) $U_{1\text{рег}}$, виявляються малопридатними для регулювання швидкості, тому що в міру зменшення напруги різко знижуються критичний момент АД й тим самим його перевантажувальна здатність, а діапазон регулювання швидкості дуже мала. Розімкнута схема, наведена на рис 3.1, використовується лише для впливу в перехідних процесах на момент АД, що може вимагатися, наприклад, для забезпечення заданого прискорення руху ЕП або регулювання натягу на виконавчому органі робочої машини.

Зміна напруги дозволяє також здійснювати регулювання (обмеження) у перехідних режимах струму АД.

Для регулювання напруги на статорі АД можуть використатися різні електротехнічні пристрої - автотрансформатори, магнітні підсилювачі, а також тиристорні регулятори напруги (ТРН). ТРН дозволяють реалізовувати найрізноманітніші функції по керуванню й оптимізації режимів роботи ЕП з АД; на їхній основі будуються пристрої, що дозволяють формувати потрібним образом динамічні характеристики ЕП, вони дозволяють також реалізовувати режими роботи АД з найкращими енергетичними показниками при малих його навантаженнях.

3.3 Регулювання швидкості АД зміною числа пари полюсів

Цей спосіб регулювання може бути реалізований тільки при використанні спеціальних АД, що одержали назву багатошвидкісних. Особливістю цих двигунів є статорна обмотка, що складається із двох однакових секцій (напівобмоток), використовуючи різні схеми з'єднання яких можна змінювати число пар полюсів p . Відповідно до формули $\omega_0 = 2\pi \cdot f_1 / p$ при цьому змінюється швидкість обертання магнітного поля ω_0 , а виходить, і швидкість АД. Ротор багатошвидкісних АД звичайно виконується короткозамкненим.

Недоліком є ступінчастість зміни швидкості двигуна й щодо невеликий діапазон її регулювання, звичайно 6..8.

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

3.4 Регулювання швидкості АД в каскадних схемах його включення

Регулювання швидкості АД деякими розглянутими раніше способами супроводжується виділенням у ланцюзі ротора втрат потужності, названих іноді втратами ковзання, що значно знижує економічні показники асинхронного ЕП.

У загальному випадку каскадними називають такі схеми включення АД, які, забезпечуючи регулювання його швидкості, дозволяє одночасно використати енергію втрат. По способі використання цієї енергії розрізняють схеми електромеханічних й електричного Машинно-вентильних каскадів.

Незважаючи на значні капітальні витрати при реалізації даного способу регулювання швидкості, застосування каскадних схем за рахунок використання енергії ковзання для корисної роботи виявляється економічно доцільним для потужних асинхронних ЕП з невеликим діапазоном регулювання швидкості. Це ЕП потужних вентиляторів, відцентрових насосів, компресорів.

3.5 Регулювання швидкості АД зміною частоти живлячої напруги

Даний спосіб, називаний іноді частотним, широко використовується для якісного регулювання в першу чергу швидкості АД й широко застосовується в цей час. Принцип його полягає в тому, що змінюючи частоту f_1 , що живить АД напруги, можна відповідно до вираження $\omega_0 = 2\pi \cdot f_1 / p$ змінювати його швидкість ω_0 , одержуючи різні штучні характеристики. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а одержувані при цьому характеристики мають високу твердість. Частотний спосіб до того ж відрізняється й ще однією досить важливою властивістю: регулювання швидкості АД в цьому випадку не супроводжується збільшенням його ковзання, тому втрати потужності виявляються невеликими.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат

0024 ЛМР 20.08.13

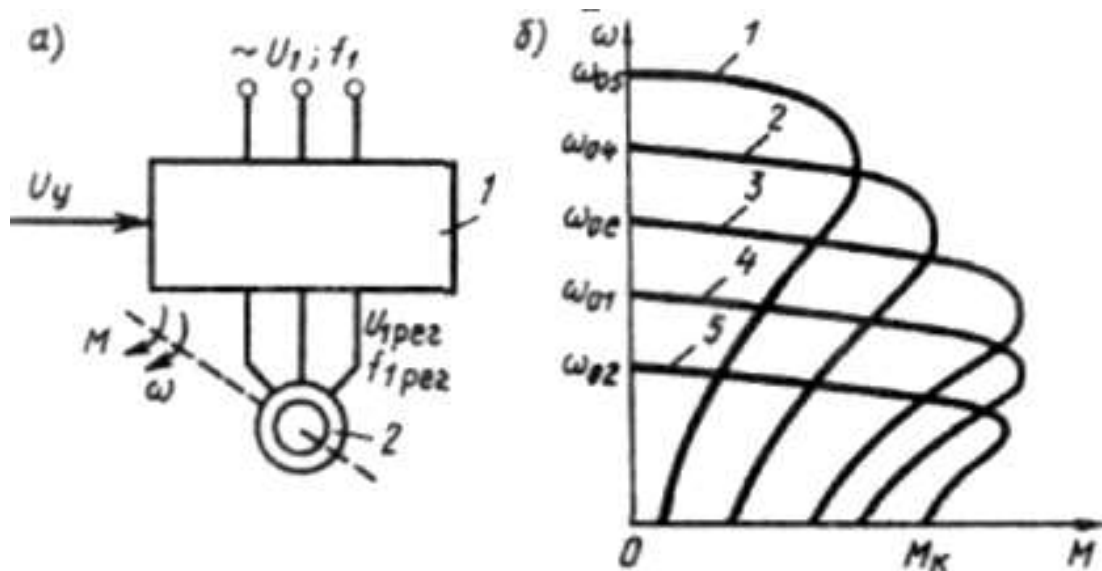


Рис. 2. Схема керування координатами АД

Для кращого використання й одержання високих енергетичних показників роботи АД (коефіцієнтів потужності, корисної дії й перевантажувальної здатності) одночасно із частотою необхідно змінювати й підведену до нього напругу. Рациональний закон зміни напруги при цьому залежить від характеру моменту навантаження M_c . Так, при постійному моменті навантаження $M_c = \text{const}$ напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно його частоті

$$U_1 / f_1 = \text{const.} \quad (2)$$

Для вентиляторного характеру моменту навантаження співвідношення (2) буде мати вигляд

$$U_1 / f_1^2 = \text{const}, \quad (3)$$

а при моменті навантаження, зворотно пропорційної швидкості,

$$U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const.} \quad (4)$$

Таким чином, при реалізації частотного способу регулювання швидкості АД використовується перетворювач частоти, що дозволяє також регулювати й напругу на його статорі.

3.6 Вибір електроустаткування для силової частини приводу

Найбільш відповідним для використання є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типа 4А315S6У3.

Таблиця 6 – Паспортні дані електродвигуна типа 4А315S6У3

Потуж-ність, кВт	Частота обертання, хв^{-1}	Струм статора при напрузі 380В, А	ККД, %	$\cos \phi$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{H}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{H}}}$	$\frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{H}}}$	$\frac{M_{\text{M}}}{M_{\text{H}}}$	Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$
110	980	155	86	0,91	7	1,4	1,2	2,2	4

У третьому розділі розглянуті методи регулювання обертів асинхронного двигуна та обраний тип електродвигуна для поршневої компресорної станції А2ХДЗК 100/320 [4-8].

РОЗДІЛ 4

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА

4.1 Регулювання продуктивності компресорів

Регулювання продуктивності компресорів доводиться здійснювати в зв'язку зі змінною витратою стиснутого повітря в мережі.

Короткочасна невідповідність витрати і продуктивності компресора компенсується повітрезбирачем, встановленим на компресорній станції при використанні поршневих компресорів, і ємністю пневматичної мережі. В інших випадках регулювання здійснюється спеціальними системами регулювання, які повинні забезпечувати плавність зміни продуктивності і економічність регулювання .

Регулювання продуктивності може здійснюватися періодично припиненням подачі повітря в мережу, ступінчастим і плавним зміною продуктивності. Періодичне припинення подачі може проводитися зупинкою компресорів. Ступеневу регулювання продуктивності компресорної станції ефективно виробляти зміною числа одночасно працюючих компресорів. Плавне регулювання може здійснюватися наступними способами:

1. Регулювання зміною частоти обертання приводу найбільш економічно з точки зору витрат енергії на стиснення.

2. Регулювання дроселюванням на лінії всмоктування, збільшення опору (частковим перекриттям) всмоктувального трубопроводу, забезпечує зниження тиску у всмоктувальній порожнині циліндра компресора з p_1 до $p_{1\text{рег}}$. Це призводить до зменшення кількості повітря, що поступає в циліндр за один хід поршня з v_1 до $v_{1\text{рег}}$. При цьому збільшуються ступінь підвищення тиску повітря і його кінцева температура. Регулювання дроселюванням всмоктування не набуло поширення.

3. Регулювання перепуском повітря з нагнітання на всмоктування забезпечує зміну продуктивності компресора і при нульовій продуктивності отримання холостого ходу. Спосіб регулювання неекономічний і може

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

призводити до підвищення температури.

4. Регулювання віджиманням всмоктуючи клапанів засноване на тому, що при стисненні частина повітря, що стискається при неповному (негерметичному) закритті всмоктуючих клапанів виштовхується назад у всмоктуючий трубопровід. Для регулювання цим способом всмоктуючі клапани забезпечуються спеціальним пристроєм, віджимними пластинами клапанів при стисненні.

5. Регулювання впливом на всмоктувальні клапани є простим і поширеним способом зниження продуктивності поршневих компресорів загального призначення.

Недоліком способу є витрати енергії при холостому ході компресора, які становлять близько 15% потужності, споживаної компресором при повному навантаженні.

6. Регулювання включенням додаткових шкідливих просторів дозволяє знизити продуктивність за рахунок зменшення кількості всмоктуваного повітря. Стиснуте при нагнітанні повітря, укладене в додатковому шкідливому просторі, під час всмоктування частково заповнює робочий простір циліндра, зменшуючи відповідно продуктивність компресора.

За економічності цей спосіб регулювання рівноцінний регулювання віджиманням пластин всмоктуючого клапана [9].

4.2 Розрахунок перетворювача частоти для керування пуском двигуна поршневої компресорної станції

Силовa частина перетворювача частоти складається з автономного інвертора струму на транзисторах VT1...VT6 та діодах VD1...VD6, вхідного випрямляча на діодах VD7...VD12. Уся силовa частина реалізована у складі одного силового модуля.

Мікропроцесор обробляє інформацію, що надійшла з пульта керування або від дискретних та аналогових входів, формує сигнали керування силовими

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

ключами та надсилає інформацію для відображення на дисплеї пульта або на логічних, релейних та аналоговому виходах ПЧ.

Датчики струму та напруги, реалізовані на елементах Хола, розташовані всередині настінної частини. За їх допомогою вимірюються: струми на вході (ДС1) та на виході (ДС2) випрямляча, фазні струми інвертора (ДН3, ДН4), напруга живлення (ДН1), напруга ланки постійного струму (ДН2) та дві лінійні вихідні напруги інвертора (ДН3, ДН4).

Коефіцієнти передачі датчиків струму 1В/А, напруги 0,0165 В/В.

Тумблери призначені для подавання логічних сигналів до дискретних входів 1...6, а потенціометр – для зміни завдання на аналоговому вході 0.

Зовнішній аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), призначений для перетворення аналогових сигналів на дискретні.

З мережі подається напруга на некерований випрямляч, з якого потім іде напруга на широтно-імпульсний регулятор (ШІР), який безпосередньо керує двигуном. ШІР – це група ключів (в нашому випадку керовані транзистори), які ввімкнені попарно назустріч один одному. В свою чергу керування ключами здійснюється пристроєм керування. Пристрій керування базується на зрівнюванні сигналів задаючого пристрою, та по сигналам похибки зворотного керування по струму та напрузі, на виході ШІР.

Функціональна схема перетворювача частоти зображена на рис. 3.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

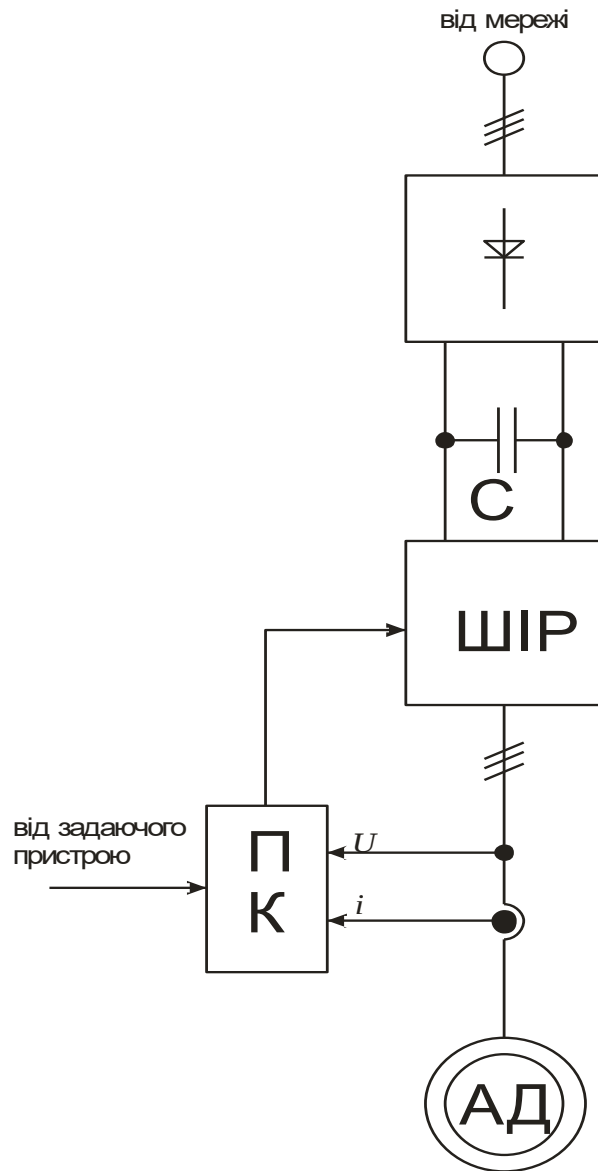


Рис. 3. Функціональна схема перетворювача частоти

Коефіцієнт перетворювача для трифазної мостової схеми:

$$K_{\Pi} = 2,34.$$

Напруга на виході перетворювача:

$$U_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot U_{ВХ}. \quad (5)$$

$$U_{\Pi} = 2,34 \cdot 220 = 515В.$$

Розрахуємо чи потрібен трансформатор:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{ДВ}}{U_{ВХ}} =, \quad (6)$$

$$K_{\Pi} = \frac{380}{515} = 0,73.$$

Так як $K_{\Pi} = 0,73$, то трансформатор потрібен.

Коефіцієнт трансформації трансформатора:

$$K_{\text{ТР}} = \frac{U_{\text{ДВ}}}{U_{\text{ВХ}}}, \quad (7)$$

$$K_{\text{ТР}} = \frac{380}{220} = 1,72.$$

Так як $K_{\text{ТР}} = 1,72$, то потрібен понижуючий трансформатор.

Струм фази статора:

$$I_{2\text{ф.статора}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{Н}}}{U_{\text{Ф}} \cdot \eta}, \quad (8)$$

$$I_{2\text{ф.статора}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{110000}{3 \cdot 220 \cdot 0,91} = 181 \text{ А}.$$

Струм плеча:

$$I_{\text{плеча}} = \frac{I_{2\text{ф.статора}}}{K_{\text{ТР}}}. \quad (9)$$

$$I_{\text{плеча}} = \frac{181}{1,35} = 134 \text{ А}.$$

Зворотна напруга випрямляча:

$$U_{\text{зв.випр}} = 1,045 \cdot U_d. \quad (10)$$

$$U_{\text{зв.випр}} = 1,045 \cdot 515 = 538 \text{ В}.$$

Зворотна напруга інвертора:

$$U_{\text{зв.інв}} = 2 \cdot U_d. \quad (11)$$

$$U_{\text{зв.інв}} = 2 \cdot 515 = 1030 \text{ В}.$$

Обираємо частотний перетворювач АВВАС550 110 кВт, який має характеристики :

- струм 195 А;
- потужність 110 кВт;
- фазність 3 фази – 380 В;
- тип керування – векторний.

					0024 ЛМР 20.08.13	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ПУСКУ ДВИГУНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА

5.1 Загальні відомості про перехідні процеси

Перехідним режимом електропривода називають режим роботи при переході від одного сталого стану до іншого, коли змінюються швидкість, момент та струм. Причинами виникнення перехідних режимів в електроприводах є або зміна навантаження, пов'язана з виробничим процесом, або дія на електропривод при управлінні ним, тобто пуск, гальмування, зміна напрямку обертання. Перехідні режими в електроприводах можуть виникнути також в результаті аварій або порушення нормальних умов електропостачання (зміни напруги або частоти мережі, несиметрія напруги). Рівняння руху електроприводу повинне враховувати всі сили і моменти, що діють в перехідних режимах [10].

Якщо неможливо аналітично рішення рівняння руху електропривода $M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$, то його рішення, наприклад, так званим методом пропорцій або методом кінцевих приращень. Сутність цього методу полягає в заміні нескінченно малих приращень швидкості $d\omega$ та часу dt малими кінцевими приращеннями $\Delta\omega$ та Δt . При цьому передбачається, що в рівнянні руху електропривода підставляються середні значення моменту двигуна та моменту опору для кожного інтервалу зміни швидкості. Ці середні значення моментів звичайно знаходяться графічним шляхом на основі механічних характеристик двигуна та виробничого механізму.

Розглянемо застосування метода пропорцій на прикладі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Метод пропорцій заснований на наступному записі рівняння руху електропривода:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}.$$

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Вважаючи, що в деякому інтервалі часу Δt різниця моментів $M - M_c$ залишається величиною постійною, отримуємо пропорцію

$$\frac{M - M_c}{J} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}.$$

Побудова ведеться наступним чином. У лівому квадранті будується характеристика $M = f(\omega)$ та $M_c = f(\omega)$. Графічно знаходяться їх різниця $M - M_c = \varphi(\omega)$ – крива динамічного моменту, зображується у тому самому квадранті. Останню криву заміняють ступінчатою з урахуванням $M - M_c = \text{const}$. Від числа ділянок залежить точність побудови і кінцеві результати. Точність тим вища, чим на більше число ділянок розбита крива $M - M_c = \varphi(\omega)$.

Отримані на окремих ділянках значення динамічних моментів відкладають вгору на вісь ординат. Для першої ділянки отримуємо відрізок ОВ, для другої ОВ1 і т.д. Відмічені на вісі ординат точки В, В1, В2 і т.д. з'єднуємо прямими з точкою А, яка знаходиться від початку координат на відстані, пропорційній величині J . Потім з початку координат проводять пряму ОС, паралельну АВ. Остання пряма характеризує шукану функцію $\omega = f(t)$ для першої ділянки моментів. Це слідує з подібності трикутників АОВ та ОДС.

Зробивши аналогічну побудову для всіх наступних ділянок $M - M_c$, будуємо криву швидкості двигуна та знаходимо шуканий час пуску привода.

При побудові слід враховувати масштаб величин, які зв'язані між собою співвідношенням:

$$m_M / m_J = m_\omega / m_t,$$

де m_M - масштаб моменту;

m_J - масштаб моменту інерції;

m_ω - масштаб швидкості двигуна;

m_t - масштаб часу.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

5.2 Розрахунок перехідного процесу

1) Знаходимо по формулах $S_{\text{НОМ}}, M_{\text{НОМ}}, \omega_{\text{НОМ}}$:

$$S_{\text{НОМ}} = 1 - \frac{n_{\text{НОМ}}}{n_c}, \quad (12)$$

$$S_{\text{НОМ}} = 1 - \frac{980}{1000} = 0,02;$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} \quad (13)$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{110000}{102,5} = 1073 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{30}, \quad (14)$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{3,14 \cdot 980}{30} = 102,5 \text{ с}^{-1};$$

2) Знаходимо $S_{\text{кр}}$ по формулі Клосса:

$$\frac{M_{\text{НОМ}}}{M_{\text{max}}} = \frac{2}{\frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{НОМ}}}}. \quad (15)$$

Так, як відомо:

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{НОМ}}} = 2,5, \quad (16)$$

отримуємо:

$$M_{\text{max}} = 2,5 \cdot M_{\text{НОМ}}. \quad (17)$$

Робимо підстановку:

$$\frac{1}{2,5} = \frac{2}{\frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{НОМ}}}}. \quad (18)$$

Робимо перетворення та отримуємо:

$$\frac{1}{5} = \frac{2}{\frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{НОМ}}}}. \quad (19)$$

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Далі:

$$\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{ном}}} = 5, \quad (20)$$

отримуємо рівняння:

$$\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{ном}}} - \frac{5}{1} = 0. \quad (21)$$

Приводимо до спільного знаменника:

$$S_{\text{ном}}^2 + S_{\text{кр}}^2 - 5 \cdot S_{\text{ном}} \cdot S_{\text{кр}} = 0. \quad (22)$$

Робимо підстановку $S_{\text{ном}}$ та отримуємо:

$$S_{\text{кр}}^2 - 10 \cdot S_{\text{кр}} + 4 = 0. \quad (23)$$

Знаходимо дискримінант та корені рівняння:

$$D = 10^2 - 4 \cdot 4 = 84; \quad (24)$$

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2 \cdot a}; \quad (25)$$

$$X_1 = \frac{10 + \sqrt{84}}{2 \cdot 1} = 9,6; \quad (26)$$

$$X_2 = \frac{10 - \sqrt{84}}{2 \cdot 1} = 0,4. \quad (27)$$

Так як відомо, що $S_{\text{кр}} \approx S_{\text{ном}}$, то вважаємо що коренем рівняння є X_1 .

Знайдемо M та ω при дійсних значеннях S :

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{max}}}{\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{ном}}}}. \quad (28)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S), \quad (29)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_c}{30} \quad (30)$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 105 \text{ c}^{-1}.$$

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Побудуємо $M = f(\omega)$ та $M_c = f(\omega)$ та графічним методом знайдемо шуканий час пуску привода.

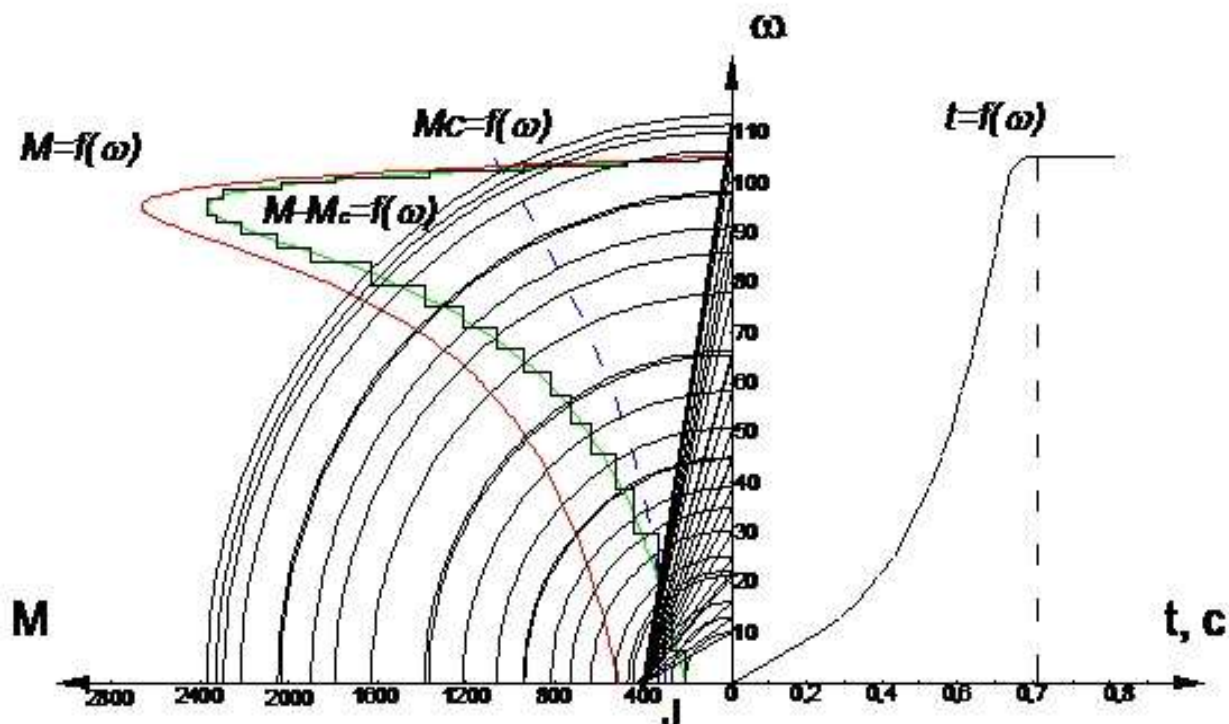


Рис. 4. Графоаналітичний метод розрахунку рівняння привода

У п'ятому розділі проведено дослідження перехідних процесів у електродвигуні компресора під час його пуску за допомогою графоаналітичного методу. Час пуску двигуна складає 0,71 с.

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ГВИНТОВИХ КОМПРЕСОРІВ

Безаварійна робота тягового рухомого складу залізниць, міського транспорту, метрополітену залежить від надійного забезпечення стислим повітрям систем гальмування та інших пневматичних приладів, які входять до складу локомотивів, електропоїздів, вагонів метро, трамваїв та тролейбусів.

Зараз стисле повітря виробляється за допомогою поршневих компресорів, які за своїми конструктивними особливостями вже не відповідають сучасним вимогам по енергозбереженню, екологічним вимогам, зручності обслуговування. Крім того вони мають невеликий міжремонтний ресурс, вимагають великих витрат по енергоносіям, мастилам, запасним частинам, мають великий рівень вібрацій та шуму. Світові виробники вже давно використовують на потребу транспорту гвинтові компресори, які мають цілий ряд переваг. Гвинтові компресори більш надійні в роботі, мають низький рівень шуму та вібрацій, в основному потребують менших енергетичних та експлуатаційних витрат на виробництво аналогічної кількості стислого повітря. Широке використання гвинтових компресорів в Україні стримується відсутністю їх виробництва. У наш час ВАТ «ВНДІкомпресормаш» у змозі забезпечити потребу транспорту у різноманітних сучасних гвинтових компресорах. З метою заміни застарілого парку поршневих компресорів на гвинтові та комплектації гвинтовими компресорами нових транспортних засобів на підприємстві ВАТ «ВНДІкомпресормаш» передбачено розробку та виробництво гвинтових компресорів для потреб транспорту. Таке обладнання вже працює у локомотивному депо Сімферополь Придніпровської залізниці, Дарницькій дистанції сигналізації та зв'язку Південно-Західної залізниці та Нижньодніпровської дистанції сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці.

					0024 ДМР 20.08.13	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Економічну ефективність створення та виробництва гвинтових компресорів замість поршневих розглянемо на прикладі заміни поршневого компресора КТ-6 на гвинтовий ВВ-5/0,9. Технічні характеристики даних компресорів приведені в табл. 7.

Таблиця 7 – Технічні характеристики компресорів

№ п/п	Найменування параметрів	Компресори	
		Поршневий КТ-6	Гвинтовий ВВ-5/0,9
1	Продуктивність, м ³ /хв	5,3	5,0
2	Кінцевий тиск, кгс/см ²	10	10
3	Температура повітря кінцева, °С	100	50
4	Рівень звукового тиску, дБ	85	80
5	Мастило, яке застосовується для змащування і охолодження	КС-19	М10Г2К
6	Ресурс роботи до поточного ремонту, годин	500	5000
7	Ресурс роботи до капітального ремонту, годин	9000	58000
8	Витрати мастила, мг/м ³	23	3
9	Періодичність заміни мастила, годин	1000	5000
10	Маса мастила однієї заправки, кг	14	24
11	Система охолодження	Повітряна	Повітряна
12	Маса, кг	610(без двигуна)	880 (з двигуном)
13	Номінальна потужність компресора, кВт	44,1	35

Коефіцієнт добової загрузки компресора – 0,25, добова тривалість роботи компресора при трьохзмінній роботі складає $24 \cdot 0,24 = 6$ годин.

Загальний час роботи компресора за 20 років служби складає $6 \cdot 365 \cdot 20 = 43800$ годин.

Загальні витрати $U_{\Sigma ПК}$ на утримання поршневого компресора складають:

$$U_{\Sigma ПК} = U_{ПР} + U_{КР} + U_{ЕК}, \quad (31)$$

де $U_{ПР}$ – витрати на поточні ремонти, грн. (табл. 8);

$U_{КР}$ – витрати на капітальні ремонти, грн. (табл. 8);

$U_{ЕК}$ – експлуатаційні витрати, грн. (табл. 9).

$$U_{\Sigma ПК} = 464814 + 105000 + 2855602 = 3425416 \text{ грн.} \quad (32)$$

Таблиця 8 – Періодичність та витрати на поточні та капітальні ремонти

№ п/п	Види ремонту	Періодичність ремонту		Вартість одного ремонту, грн.		Кількість ремонтів за 20 років		Загальна вартість, грн.	
		Порш-неві	Гвин-тові	Порш-неві	Гвин-тові	Порш-неві	Гвин-тові	Порш-неві	Гвин-тові
1	Поточний ремонт ($U_{пр}$)	4 рази на рік	1 раз на 2 роки	3 906	3 181	119	10	464814	31 180
2	Капітальний ремонт ($U_{кр}$)	1 раз на 4 роки	1 раз за 20 років	21 000	35 000	5	1	105000	35 000

Загальні витрати на утримання гвинтового компресора складають:

$$U_{\Sigma ГК} = 31180 + 35000 + 2735840 = 2802020 \text{ грн.} \quad (33)$$

Середні за рік витрати на утримання поршневого компресора складають:

$$U''_{\Sigma ПК} = 3425416 / 20 = 171270,8 \text{ грн,} \quad (34)$$

Таблиця 9 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Найменування витрат	Компресори			
		поршневі	гвинтові	поршневі	гвинтові
		За рік, грн.		За 20 років, грн.	
1	Електроенергія, (Ue)	30 905	25 930	618 100	518 600
2	Масило (Um)	1 165	200	23 302	3 040
3	Заробітна плата, (Uзп)	102 710	102 710	2 054 200	2 054 200
4	Ремонт електродвигуна, (Up)	8000	8000	16 0000	16 0000
5	Усього	142780	136840	2855602	2735840

а гвинтового компресора.

$$U''_{\Sigma ГК} = 2802020 / 20 = 140101 \text{ грн.} \quad (35)$$

Економія за рік від застосування гвинтового компресора замість поршневого компресора буде складати

$$U = U''_{\Sigma ПК} - U''_{\Sigma ГК} \quad (36)$$

$$U = 171270 - 140101 = 31170 \text{ грн.}$$

Термін окупності нового обладнання буде складати

$$U_0 = U_P / U, \quad (37)$$

де U_P – вартість гвинтового компресора.

$$U_P = 60000 \text{ грн.}$$

$$U_0 = 60000 / 31170 \approx 2 \text{ роки.} \quad (38)$$

В шостому розділі висновком є економічно вигідне використання гвинтових компресорів. За 20 років служби загальні витрати на утримання гвинтового компресора на 31170 грн. менше, ніж поршневого; термін окупності гвинтового компресора складає 2 роки.

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Вимоги безпеки до експлуатації систем під тиском

Судина – герметично закрита ємність, призначена для ведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання і перевезення газоподібних, рідких та інших речовин [11].

До судин, що працюють під тиском належать:

- судини, які працюють під тиском води з температурою вище 115°C або іншої рідини з температурою, що перевищує температуру кипіння при тиску 0,07МПа (0,7 кгс/см²);
- судини, що працюють під тиском пари або газу, вищим 0,07МПа (0,7 кгс/см²);
- балони, призначені для транспортування і зберігання зріджених, стиснених і розчинених газів під тиском, вищим 0,07МПа (0,7 кгс/см²);
- цистерни та бочки для транспортування і збереження зріджених газів, тиск пари котрих при температурі до 50°C перевищує тиск понад 0,07МПа (0,7 кгс/см²);
- цистерни і судини для транспортування і збереження зріджених, стиснутих газів, рідин і сипких тіл, у яких тиск вище 0,07МПа (0,7 кгс/см²), утворюється періодично для їх випорожнення[11].

Кожна судина, що працює під тиском, повинна мати паспорт форматом 210×297мм у твердій обolonці. У паспорті вказується реєстраційний номер. При передачі посудини іншому власнику разом з нею передається паспорт. У паспорті наводиться характеристика судини (робочий тиск, температура стінки, місткість), відомості про основні частини судини (розміри, назва основного металу), дані про штуцери, фланці. Наводиться перелік арматури, контрольно-вимірювальних приладів та приладів безпеки. В паспорті також записуються відомості про місцезнаходження посудини, вказується особа, відповідальна за справний стан і безпечну дію судини. Записуються інші дані про встановлення

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		49

судини (корозійність середовища, теплова ізоляція), відомості про заміну і ремонт основних елементів судини, що працюють під тиском та арматури. До паспорта вносяться дані щодо результатів опосвідчення. Після реєстрації судини на останній сторінці записуються реєстраційний номер та реєструючий орган[11].

Судини повинні встановлюватись на відкритих майданчиках у місцях, що виключають скупчення людей, або в окремо розташованих будинках [11].

Допускається встановлення судин:

- 1) у приміщеннях, що прилягають до виробничих будівель, за умовою відокремлення їх від будівлі капітальною стіною;
- 2) у виробничих приміщеннях у випадках, передбаченими галузевими правилами безпеки;
- 3) із заглибленням у ґрунт за умови забезпечення доступу до арматури і захисту стінок посудини від корозії під дією ґрунту та блукаючих струмів.

Не допускається встановлювати судини в житлових, громадських і побутових будинках, а також у прилеглих до них приміщеннях. Встановлення судин має виключати можливість їх перекидання.

Встановлення посудин повинне забезпечувати можливість огляду, ремонту та очищення їх як з внутрішнього, так і з зовнішнього боку. Для зручності обслуговування посудин повинні бути зроблені площадки і сходи. Для огляду і ремонту можуть застосовуватись колиски та інші пристрої, котрі не повинні порушувати міцності та стійкості посудини, а приварювання їх до посудини має бути виконане за проектом[11].

Обслуговування судин може бути доручено особам, котрі досягли 18 річного віку, пройшли медичне обстеження, навчання за відповідною програмою, атестовані і мають посвідчення на право обслуговування судин. Індивідуальна підготовка персоналу не допускається. Особам, які склали іспити, повинні бути видані посвідчення з вказівкою найменування, параметрів робочого середовища судин, до обслуговування яких ці особи допущені.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Атестація персоналу, який обслуговує судини із швидкознімними кришками, а також судини, що працюють під тиском шкідливих речовин 1, 2, 4 класів небезпеки, проводиться комісією за участю інспектора Держнаглядохоронпраці України, в інших випадках участь інспектора в роботі комісії не обов'язкова. Про день проведення іспитів місцевий орган Держгірпромнагляд України повинен бути повідомлений не пізніше як за 5 днів [11].

Небезпечними та шкідливими виробничими факторами є шум та вібрація.

Тривала дія інтенсивного шуму може призвести до ураження нервової та серцево-судинної системи, погіршення слуху, а у деяких випадках і до глухоти. Вплив шуму на організм людини індивідуальний. У деяких людей погіршення слуху настає через декілька місяців, а у інших воно не настає через декілька років роботи в шумі [12].

Шум на виробництві послабляє увагу, прискорює втому, затрудняє реакцію на небезпеку, знижує працездатність і може стати причиною нещасного випадку. Шум характеризується звуковим тиском, інтенсивністю та частотою звуку. Простір, в якому поширюються звукові хвилі називається звуковим полем[12].

Методи та засоби захисту від шуму:

- 1) боротьба з шумом в джерелі його виникнення;
- 2) зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією;
- 3) зниження шуму акустичною обробкою приміщення.

Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються звукопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню під час роботи, не ускладнювати його обслуговування. Різновидом цього методу є кабіна, в якій розташовується найбільш шумний об'єкт і в котрій працює робітник. Кабіна зсередини вкрита звукопоглинальним матеріалом, щоб зменшити рівень шуму всередині кабіни, а не лише ізолювати джерело шуму від решти виробничого приміщення[12].

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Зниження шуму ізоляцією полягає в тому, що шумовипромінювальний об'єкт або декілька найбільш шумних об'єктів розташовуються окремо, ізольовано від основного, менш шумного приміщення звукоізолюваною стіною або перегородкою. Звукоізоляція також досягається шляхом розташування найбільш шумного об'єкта в окремій кабіні. При цьому в ізольованому приміщенні і в кабіні рівень шуму не зменшиться, але шум впливатиме на менше число людей. Звукоізоляція досягається також шляхом розташування оператора в окремій кабіні, звідки він спостерігає та керує технологічним процесом. Звукоізоляційний ефект забезпечується також встановленням екранів та ковпаків. Вони захищають робоче місце і людину від безпосереднього впливу прямого звуку, однак не знижують шум в приміщенні[12].

Акустична обробка приміщення передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальним матеріалом. Внаслідок цього знижується інтенсивність відбитих звукових хвиль. Додатково до стелі можуть підвішуватись звукопоглинальні щити, конуси, куби, встановлюватись резонаторні екрани, тобто штучні поглиначі. Ефективність акустичної обробки приміщень залежить від звукопоглинальних властивостей застосовуваних матеріалів та конструкцій, особливості їх розташування, об'єму приміщення[12].

Вібрація серед всіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найбільш небезпечна [13]. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією, сприяють накопиченню пошкоджень у матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. У виробничих умовах часто зустрічаються випадки комбінованого впливу вібрації – загальної та локальної. Вібрація викликає порушення фізіологічного та функціонального станів людини. Стійкі шкідливі фізіологічні зміни називають вібраційною хворобою. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, занімінню пальців рук, виникають судоми, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння.

Загальні методи боротьби з вібрацією:

- 1) зниження вібрацій в джерелі виникнення шляхом зниження або усунення збуджувальних сил;
- 2) відлагодження від резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси або жорсткості системи, яка коливається;
- 3) вібродемпферування – зниження вібрацій за рахунок сили тертя демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в тепло;
- 4) динамічне гасіння – введення в коливну систему додаткових мас або збільшення жорсткості системи;
- 5) віброізоляція – введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, з метою послаблення передавання вібрацій, суміжному елементу конструкції або робочому місцю;
- 6) використання індивідуальних засобів захисту.

Відлагодження від режиму резонансу. Для послаблення вібрацій істотне значення має запобігання резонансним режимам роботи з метою виключення резонансу з частотою змушувальної сили. Резонансні режими при роботі технологічного обладнання усуваються двома шляхами: зміною характеристик системи або встановленням іншого режиму роботи.

Вібродемпферування. Цей метод зниження вібрації реалізується шляхом перетворення енергії механічних коливань коливної системи в теплову енергію.

Віброгасіння. Для динамічного гасіння коливань використовуються динамічні віброгасні пружинні, маятникові, гідравлічні. Вони являють собою додаткову коливну систему з масою та жорсткістю, власна частота якої налаштована на основну частоту коливань даного агрегата.

Віброізоляція полягає у зниженні передачі коливань від джерела збудження до об'єкта, що захищається, шляхом введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку. Цей зв'язок запобігає передачі енергії від коливного агрегата до основи або від коливної основи до людини або до конструкцій, що захищаються. Віброізоляція реалізується шляхом встановлення джерела вібрації на віброізолятори.

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Засоби індивідуального захисту від вібрацій застосовуються у випадку, коли технічні засоби не дозволяють знизити рівень вібрації до норми. Для захисту рук використовуються рукавиці, вкладиші, прокладки. Для захисту ніг спеціальне взуття, наколінники. Для захисту тіла нагрудники, пояси, спеціальні костюми. З метою профілактики вібраційної хвороби для працівників рекомендується спеціальний режим праці. При роботі з ручними інструментами загальний час роботи в контакті з вібрацією не повинен перевищувати 2/3 робочої зміни. При цьому тривалість безперервного впливу вібрації, включаючи мікропаузи, не повинна перевищувати 15-20 хвилин.

Всі, хто працює з джерелами вібрації, повинні проходити медичні огляди перед вступом на роботу і періодично, не рідше 1 разу на рік [13].

Компресорні установки можуть вибухати внаслідок недотримання вимог експлуатації двигунів установки та умов наповнення повітрозбирача.

Основними причинами вибухів є:

- перегрівання поршневої групи, що викликає активне розкладання вуглеводнів, суміш котрих з повітрям призводить до утворення вибухонебезпечного середовища;
- застосування легкоплавких масел, здатних розкладатись при невисоких температурах;
- перевищення тиску в повітрозбирачі внаслідок несправності запобіжника.

Стосовно систем трубопроводів причиною розгерметизації може бути замерзання конденсату, деформації внаслідок теплових розширень. Балони можуть вибухати від ударів, падіння, перегрівання, внутрішнього тиску, що підвищується, порушення роботи вентилів, наповнення іншим газом. У випадку сумісного зберігання балонів, наповнених різними газами, в приміщенні може утворюватися вибухонебезпечне середовище від суміші газів, котрі незначно просочуються через вентиля. Вибух ацетиленових балонів може бути викликаний старінням пористої маси в ацетоні, в котрій розчиняється ацетилен. Внаслідок цього газ переходить з розчиненого у вільний стан, а оскільки балон знаходиться під тиском, то він полімерізується з вибухом. Утворення

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

вибухонебезпечної суміші в кисневих балонах пов'язується з проникненням в його вентиль масла, а у водневих – викликається проникненням кисню[11].

7.2 Дії працівників в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайна ситуація – становище на певній території, що склалося в результаті аварії, небезпечного природного явища, катастрофи, стихійного чи іншого лиха, які можуть спричинити або спричинили людські жертви, шкоду здоров'ю людей, навколишньому природному середовищу, та порушення умов життєдіяльності людей. Результатом надзвичайних ситуацій є заподіяна ними шкода внаслідок впливу вражаючих та інших факторів, які супроводжують лихо, на людину, об'єкти промисловості, соціальну сферу, навколишнє природне середовище[14].

Надзвичайні ситуації розрізняються за характером джерела на техногенні, природні та інші. У цій Інструкції розглянуті ситуації техногенного та природного характеру, як найбільш можливі на території університету, а також ситуації, виникнення яких може створити загрозу життю та здоров'ю працівників.

Основні причини пожежі: несправності в електрообладнанні і мережах, порушення вимог технологічних регламентів проведення вогневих робіт, недотримання заходів пожежної безпеки (куріння, розведення відкритого вогню, застосування несправного обладнання тощо), необережне поводження з вогнем.

Основні небезпечні фактори пожежі: теплове випромінювання, висока температура, отруйний вплив продуктів горіння (окис вуглецю та ін.), зниження видимості при задимленні.

Вибух призводить до утворення та поширенню ударної хвилі з надлишковим тиском, що надає механічний вплив на навколишні предмети. Основні вражаючі фактори вибуху: повітряна ударна хвиля і осколкові поля, утворені уламками зруйнованих об'єктів, технологічного обладнання, вибухових пристроїв.

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

При загрозі вибуху слід лягти на живіт, захищаючи голову руками, подалі від вікон, зашкленних дверей, проходів, сходів.

Якщо стався вибух, вжити заходів до недопущення пожежі та паніки, надати першу допомогу потерпілим.

Кожен працівник при виявленні осередку загоряння або ознак горіння (задимлення, запах гару, підвищення температури тощо) повинен :

- негайно повідомити про це за телефоном «101» (пожежна служба) , при цьому назвати найменування об'єкта, місце пожежі, а також своє прізвище;
- вжити заходів щодо евакуації людей, гасіння пожежі та збереження матеріальних цінностей

Особи, уповноважені володіти, користуватися або розпоряджатися майном, керівники та посадові особи університету, а також особи, призначені в установленому порядку відповідальними за забезпечення пожежної безпеки, після прибуття до місця пожежі повинні:

- продублювати повідомлення про виникнення пожежі за телефоном «101», оперативно довести до відома керівництва, чергової служби університету;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх порятунок, використовуючи наявні сили і засоби;
- перевірити включення в роботу автоматичних систем протипожежного захисту (оповіщення людей про пожежу, пожежогасіння, протидимного захисту);
- припинити всі роботи в будівлі крім робіт, пов'язаних із заходами щодо ліквідації пожежі;
- видалити за межі небезпечної зони працівників, що не беруть участь у гасінні пожежі, евакуацію проводити відповідно з планами евакуації та інструкціями з евакуації людей з будівлі;
- здійснити загальне керівництво з гасіння пожежі до прибуття підрозділів пожежної охорони;
- забезпечити дотримання вимог безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони і надати допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку загоряння;
- повідомити про небезпечні, вибухові, хімічно небезпечні речовини, що зберігаються на об'єкті.

Повне або часткове раптове обвалення будівлі – це надзвичайна ситуація природного або техногенного характеру. Причиною обвалення будівлі часто може бути вибух, як наслідок терористичного акту, неправильної експлуатації агрегатів, газопроводів, необережного поводження з вогнем, зберігання в будівлях легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин.

Раптове обвалення будівлі призводить до виникнення пожежі, руйнування комунально - енергетичних мереж, утворення завалів, травмування та загибелі людей. Почувши вибух або виявивши, що будівля втрачає свою стійкість, треба негайно покинути її.

Залишаючи приміщення, спускатися сходами, а не ліфтом: він у будь-який момент може зупинитися.

Якщо відсутня можливість залишити будівлю, зайняти безпечне місце: прорізи капітальних внутрішніх стін, кути, утворені капітальними внутрішніми стінами, під каркасами балконів (вони захищають від падаючих предметів і уламків). Відкрити двері з приміщення, щоб забезпечити вихід.

Не піддаватися паніці і зберігати спокій. Триматися подалі від вікон, електроприладів.

Якщо виникла пожежа, негайно спробуйте загасити її. Телефон використовувати тільки для виклику представників правоохоронних органів, пожежної охорони, лікарів, рятувальників.

Не користуватися сірниками: існує небезпека вибуху внаслідок витоку газу.

Опинившись на вулиці, не стояти поблизу будівлі. Перейти на відкритий простір[14].

Електричний струм, який проходить через живі тканини людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, а також механічні ураження. Це призводить до різних порушень в організмі, спричиняє як місцеве

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

ураження тканини, так і загальне ураження всього організму. Найскладнішим є біологічна дія, яка властива тільки живим організмам.

При пошкодженні ізоляції та однофазному замиканню струму на металевих частинах електричних машин, апаратів може з'явитися напруга, достатня для ураження людини і виникнення пожежі. Захист від цього можна здійснити захисним заземленням (знижують напругу дотику і напругу кроку), зануленням (вимикають обладнання і знижують напругу дотику і кроку на період, поки не спрацює вимкнений апарат), захисним вимкненням (вимикають пошкоджену ділянку мережі швидкодіючим захистом).

Захисне заземлення призначене для зниження потенціалу на корпусі електрообладнання до безпечної величини. Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання із землею металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Захисному заземленню підлягають корпуси електричних машин, трансформаторів, світильників та інших електроустановок, які доступні для дотику людини, і які не мають інших видів захисту.

Зануленням називається навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Нульовий захисний провідник – це провідник, який з'єднує занулюючі частини з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або з її еквівалентом.

Занулення застосовується у чотирипровідних мережах напругою до 1000 В із заземленою нейтраллю. З метою зменшення тривалості режиму замикання на корпус прокладається нульовий провід, який з'єднується із заземленою нейтраллю джерела і повторними заземленнями. При зануленні корпуси електрообладнання з'єднуються не із заземлюючими, а з нульовим проводом. Занулення перетворює замикання на корпус на однофазове коротке замикання, у результаті чого спрацьовує максимальний струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат) і селективно вимикає пошкоджену ділянку мережі. Крім цього, ще до спрацювання захисту струм короткого замикання зумовлює

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

перерозподіл напруг у мережі, який веде до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику і обмежує час, протягом якого людина, яка доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Захисне вимкнення — це швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини струмом. Така небезпека може виникнути при замиканні фази на корпус, при зниженні опору ізоляції мережі нижче певної межі, а також у випадку доторкання людини до струмоведучої частини, яка знаходиться під напругою.

Пристрої захисного вимкнення повинні відповідати таким вимогам: висока чутливість, здатність здійснювати самоконтроль справності, достатня надійність. Захисне вимкнення застосовується тоді, коли інші захисні заходи(заземлення, занулення) не можливі, коли вони не надійні і дорогі або коли до безпеки обслуговування ставляться підвищені вимоги, а також при пересувних установках.

Небезпека електричного струму на відміну від інших небезпек посилюється тим, що струм виявляється не на відстані, а тоді, коли людина вже уражена струмом [15].

					0024 ДМР 20.08.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		59

ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження енергоефективності обрали Дніпровське локомотивне депо, а саме компресорну установку типу А2ХДЗК-100/320. Проаналізували техніко-економічні характеристики та прийшли до висновку, що такий тип компресорної станції не є ефективним.

Існує два варіанти покращення енергоефективності :

- перший – це модернізація поршневого компресора за допомогою тиристорного перетворювача для керування пуском двигуна;
- другий – це заміна поршневого компресора на гвинтовий.

Обрано вітчизняну гвинтову компресорну установку ВВУ-5/7, яка за продуктивністю ідентична А2ХДЗК - 100/320, але має переваги :

- потужність електродвигуна 75 кВт проти 110 кВт (менше споживає електроенергії);
- охолодження повітряне від власного вентилятора, а не водяне;
- майже не витрачає масла (витрати приблизно 3г/годину) проти 2л/годину у поршневого компресора;
- не потребує перетворювача частоти, бо має свій пристрій пуску і керується мікроконтролером ;
- має менші габарити;
- відсутність вібрації під час роботи;
- має значно більший (у 2-3 рази) ресурс роботи.

Економічну ефективність створення та виробництва гвинтових компресорів замість поршневих розглянули на прикладі заміни поршневого компресора КТ-6 на гвинтовий ВВ-5/0,9. Виконали розрахунки витрат, прийшли до висновку, що економія за рік застосування гвинтового компресора замість поршневого склала 31170 грн.

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чиликин М. Г. Основы автоматизированного электропривода. [Текст] / М. Г. Чиликин. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
2. Засорин С.Н. Электронная и преобразовательная техника [Текст]/ С.Н. Засорин, В.А. Мицкевич, К.Г. Кучма. – Транспорт, 1981. – 319 с.
3. Вибір електродвигателя компресора [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://tehprivod.su/poleznaya-informatsiya/vybor-elektrodvigatelya-dlya-kompressora.html>
4. Регулювання продуктивності і тиску компресорів [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://monographies.ru/en/book/section?id=12395>
5. Ключев В.И. Выбор электродвигателей для производственных механизмов [Текст]. – М.: Госэнергоиздат, 1960.
6. Б. Уильямс. Силовая электроника: приборы, применение, управление [Текст]: Б. Уильямс. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.
7. Розрахунок тягового широтно-імпульсного перетворювача [Текст]: методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка» / уклад. Білухін Д.С. – Дніпро, 2002, -56 с.
8. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп./ Бурков А.Т. – М.; Транспорт, 1999. – 464 с.
9. Силовая электроника: приборы, применение, управление [Текст]: справ. пособие / под ред. Уильямс Б. [пер. с англ.]. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.
10. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода [Текст]: учебн. для вузов/ Чиликин М. Г., Сандлер А. С. — М.: Энергоиздат, 1981. — 576 с.
11. «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». НПА ОП 0.00-1.07-94 [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://dnaop.com/html/88/doc -НПА ОП _0.00-1.07-94
12. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» ДСН 3.3.6.037-99. [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>

					0024 ЛМР 20.08.13	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

13. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»
ДСН 3.3.6.039-99. [Електрон.ресурс] – Режим доступ
:<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text>

14 «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»
ДНАОП 0.00-1.21-98.[Електрон.ресурс]Режим доступу:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>

15. .«Дії працівників в небезпечних ситуаціях».[Електрон.ресурс] – Режим
доступу :http://zsmu.edu.ua/upload/intext/cz_instr_tehnogen.docx

					0024 ЛМР 20.08.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Загальний вигляд поршневого компресору.
2. Перехідні процеси при пуску АД.
3. Загальний вигляд гвинтового компресору.
4. Електричні схеми керування .

					0024 ДМР 20.08.13	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		