

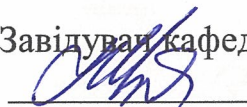
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**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**

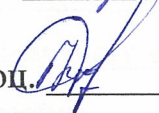
Тема **Підвищення ефективності електроприводів на підприємствах по ремонту рухомого складу**

Theme **Improving the efficiency of electric drives at rolling stock repair companies**

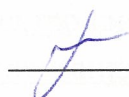
Керівник дипломної роботи

доц.  О. Л. Маренич

Нормоконтролер

доц.  О. О. Карзова

Студент групи ЕП1921

 А. В. Гацуляк

Student


Hatsuliak Artur


Дніпро – 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
Факультет Управління енергетичними процесами  
кафедра Електротехніка та електромеханіка  
Спеціальність Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

завідувач кафедри

  
(підпис)

  
(ПІБ)

«10» 07 2020 р.

### ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОКР магістр  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи 264М Гацуляк Артур Вячеславович  
(номер групи) (ПІБ)

1. Тема дипломної роботи Підвищення ефективності електроприводів на підприємствах по ремонті рухомого складу

затверджена наказом по університету № 849ст від «12» 11 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до дипломної роботи В якості базового прийняти умови роботи електропривода нестандартного обладнання для ремонту рухомого складу залізниць

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки \_\_\_\_\_  
Вступ \_\_\_\_\_

1. Аналіз технічних характеристик електроприводів нестандартного обладнання.

2. Важливість економії електроенергії для господарства України.

3. Способи економії електроенергії при експлуатації електроприводів нестандартного обладнання при ремонті рухомого складу. Обґрунтування обраного способу підвищення ефективності електроприводів.

4. Розроблення методики для дослідження зменшення електровитрат при запропонованому способі.

5. Дослідження ефективності заміни недовантажених двигунів різних серій.

6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

7. Висновки та рекомендації

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



1. Тема, мета роботи
2. Зображення машини ММ506
3. Запропонована методика по визначенню зменшення втрат електроенергії в електроприводах
4. Таблиці зменшення втрат для двигунів серій АИР, АИС та АМУ
5. Висновки та рекомендації

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Сабліч О.І.	20.10.2020	19.11.2020

Дата видачі завдання: «12» 11 2019 р.

Керівник дипломної роботи

Маш Марченко О.А.  
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

Г Гацулик А.В.  
(підпис) (ПІБ)

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1.	Вступ.	Лютий 2020р.	
2.	Аналіз технічних характеристик електроприводів нестандартного обладнання.	Лютий 2020р.	
3.	Способи економії електроенергії при експлуатації електроприводів нестандартного обладнання при ремонті рухомого складу. Обґрунтування обраного способу підвищення ефективності електроприводів.	Квітень 2020р.	
4.	Розроблення методики для дослідження зменшення електровитрат при запропонованому способі.	Травень 2020р.	
5.	Дослідження ефективності заміни недовантажених двигунів різних серій.	Вересень 2020р.	
6.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	Жовтень 2020р.	
7.	Висновки та рекомендації	Жовтень 2020р.	
8.	Оформлення магістерської дипломної роботи. Підготовка до захисту.	Листопад 2020р.	

Студент-дипломник

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Підвищення ефективності електроприводів на підприємствах по ремонту рухомого складу» містить: 62 сторінки основного тексту, 20 таблиць, 15 рисунків, 20 літературних джерел, два додатки .

Мета роботи – оцінити кількісну зміну втрат активної потужності при заміні недовантажених асинхронних двигунів нерегульованих електроприводів на підприємствах по ремонту рухомого складу залізниць при використанні двигунів різних серій.

В розділі 1 приведені рисунки та аналізи технічних характеристик електроприводів нестандартного обладнання.

У розділі 2 детально описано важливість економії електроенергії для господарства України.

У розділі 3 розглянуті основні способи економії електроенергії при експлуатації нестандартного обладнання при ремонті рухомого складу.

У розділі 4 запропонована методика розрахунку зменшення активних втрат у двигунах електроприводів шляхом заміни суттєво недовантажених двигунів двигунами меншої потужності.

У розділі 5 показані дослідження електропривода мийної машини тягових двигунів типу ММ6 і проведена кількісна оцінка економії електроенергії шляхом заміни недовантажених двигунів серії АИР, АИС, АМУ.

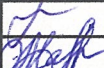
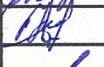


**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, РУХОМИЙ СКЛАД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, НЕСТАНДАРТНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНІВ, МИЙНА МАШИНА, МЕТОДИКА, НЕДОВАНТАЖНІ ДВИГУНИ.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 Аналіз технічних характеристик електроприводів нестандартного обладнання	8
1.1 Приклади обладнання з потужністю до 1 кВт	8
1.2 Приклади обладнання з потужністю від 1 до 3 кВт	11
1.3 Приклади обладнання з потужністю від 10 до 40 кВт	14
1.4 Приклади обладнання з потужністю від 40 кВт	16
РОЗДІЛ 2 Важливість економії електроенергії для господарства України	20
2.1 Підвищення коефіцієнта потужності електроприводів різних пристроїв	21
2.2 Підвищення коефіцієнта корисної дії електроприводів різних пристроїв.	22
РОЗДІЛ 3 Способи економії електроенергії при експлуатації електроприводів нестандартного обладнання при ремонті рухомого складу залізниць. Обґрунтування обраного способу підвищення ефективності електроприводів	24
РОЗДІЛ 4 Розроблення методики для дослідження зменшення електровитрат при запропонованому способі	29
РОЗДІЛ 5 Дослідження ефективності заміни недовантажених двигунів різних серій. Дослідження зменшення втрат активної потужності при двигунах серії АИР, АИС, АМУ	32
РОЗДІЛ 6 Охорона праці та норми безпеки при обслуговуванні і ремонті електроприводів	48
6.1 Вимоги безпеки при обслуговуванні і ремонті електродвигунів	48
6.2 Вимоги до працівників	54

					Підвищення ефективності електроприводів на підприємствах по ремонту рухомого складу		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гацуляк А.В.		17.12	Пояснювальна записка		
Перевір.		Маренич О. Л.		17.12			
Н. Контр.		Карзова О. О.		17.12			
Консультант							
Затверд.		Муха А. М.		17.12			
					Літ.	Арк.	Аркушів
						5	81
					ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна Група ЕП1921		

ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	60
ДОДАТОК А	63

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

В даний час в електроприводах на підприємствах України використовують як правило «звичайні» асинхронні двигуни (серії АМУ, АИР, АИС ) загальна встановлена потужність асинхронних двигунів (АД) в Україні приблизно 40..50 млн. кВт.

Значна кількість нерегульованих АД використовуються на підприємствах по ремонту різної техніки, зокрема на підприємствах по ремонту залізничного рухомого складу (локомотивні та вагонні депо, заводи по ремонту рухомого складу та ін.) технологічні процеси на цих підприємствах дозволяють застосувати нерегульований електропривод, який найбільш простий, економічний, дешевий. Покращення енергетичних показників цих АД (зменшення втрат потужності, підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) та потужності ( $\cos\phi$ )) досить актуально в даний час, коли економія енергетичних ресурсів перетворилась в задачу первинної значності.

Питання енергозбереження гостро стоїть в усіх країнах. Але особливо ця тема актуальна для України, де затрати електроенергії на одиницю продукції істотно вище, ніж у розвинених європейських країнах.

Мета даної роботи оцінити кількісну зміну втрат активної потужності при заміні недовантажених асинхронних двигунів нерегульованих електроприводів на підприємствах по ремонту рухомого складу залізниць при використанні двигунів різних серій.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1

### Аналіз технічних характеристик електроприводів нестандартного обладнання

Для досягнення поставленої мети проведемо аналіз технічних характеристик електроприводів нестандартного обладнання, яке застосовується на підприємствах по ремонту рухомого складу [1].

Аналіз проведемо з метою визначення в якому інтервалі потужності застосовуються асинхронні двигуни в електроприводах цього обладнання.

#### 1.1 Приклади обладнання з потужністю до 1 кВт:



Рис. 1. Насосна гідростанція

Насосна гідростанція з електроприводом моделі ЕГЕ-3,0/30І-4Т призначена для подачі робочої рідини з необхідним тиском до виконавчих механізмів різного призначення. Управління насосною станцією здійснюється дистанційно з виносного пульта.

Таблиця 1 – Технічна характеристика насосної гідростанції

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	0,55





Рис. 2. Стенд СПП-Е-8

Автоматизований стенд підбору спіральної пружини СПП-Е-8 призначений для оперативної діагностики спіральних пружин ресорного підвішування.

Стенд вимірює в автоматичному режимі наступні параметри:

- висоту у вільному стан;
- стрілу прогину;
- залишкову деформацію.

Час випробувань однієї пружини спільно з установкою становить 2 хвилини. Результати випробувань зберігаються у флеш-пам'яті.

Таблиця 2 – Технічна характеристика стенду СПП-Е-8

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	0,55



Рис. 3. Кантувач автозчепів КРС-АС

Кантувач призначений для повороту автозчеплення в дві площини при виконанні операцій складання, розбирання, наплавлення корпусу автозчеплення.

Таблиця 3 – Технічна характеристика кантувача автозчепів КРС-АС

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	0,8



Рис. 4. Стенд СРВКР-011

Стенд для розбирання верхнього корпусу редуктора з блок-шестерні СРВКР-011 призначений для розбирання верхнього корпусу редуктора моторвагонного рухомого складу і електровозів ЕП1.

Управління здійснюється за допомогою пульта.

Таблиця 4 – Технічна характеристика стенду СРВКР-011

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	0,37

## 1.2 Приклади обладнання з потужністю від 1 до 3 кВт:



Рис. 5. Прес для розбирання-збирання підшипникових щитів РСП-15

Прес моделі РСП-15 призначений для випресовування і запресовування підшипників з підшипникових щитів тягового електродвигуна.

Оснащений комплектом транспортних касет для накопичення і перевезення підшипників кочення.

Таблиця 5 – Технічна характеристика пресу моделі РСП-15

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	2

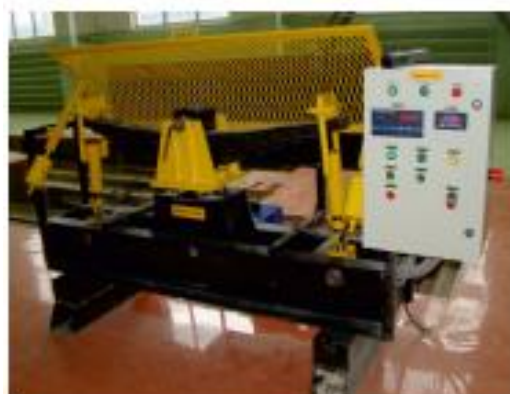


Рис. 5. Автоматизований стенд контролю листових ресор СКР-Е-13

Стенд призначений для випробувань листових ресор на прогин. Випробування проводяться в автоматичному режимі. Величина прогину і

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



сила тиску вимірюються цифровими датчиками і відображаються на екранах спеціалізованих приладів.

В якості приводу використовується насосна електрична маслостанція.

Таблиця 6 – Технічна характеристика стенду СКР-Е-13

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	2,55

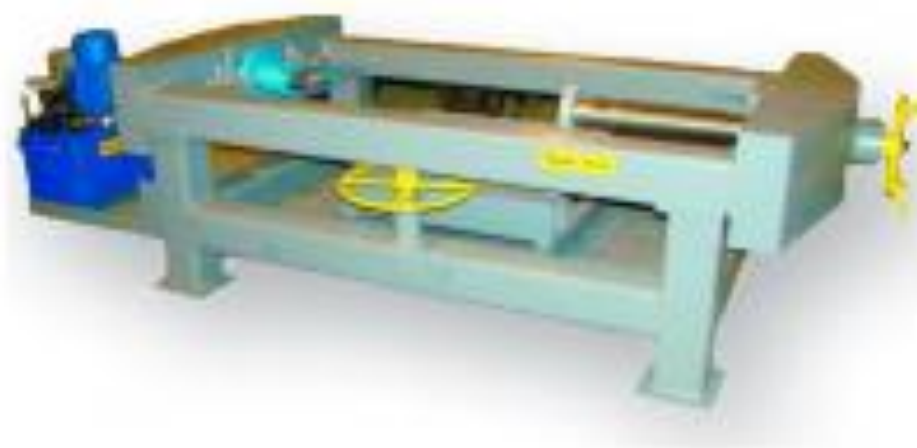


Рис. 7. Прес ПГВМ-50/200

Прес призначений для розпресування-запресування роторів мотор-вентиляторів, напівмуфт мотор-компресорів і підшипників допоміжних машин електровозів змінного струму.

Таблиця 7 – Технічна характеристика пресу ПГВМ-50/200

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	1,5



Рис. 8. Стенд СРС ПА-100

Стенд моделі СРС ПА-100 призначений для випробування і подальшого складання і розбирання поглинаючих апаратів типу:

- Р2П;
- Р5П;
- ЦНДІ-Н6.

Стенд має два режими випробувань:

- ручний;
- автоматичний.

В ручному режимі сила стиснення і межі переміщення задаються вручну. В автоматичному режимі випробування проходять відповідно до програми. По завершенню випробувань характеристики поглинаючого апарату зберігаються у флеш-пам'яті, з якої при необхідності їх можна роздрукувати.

Таблиця 8 – Технічна характеристика стенду СРС ПА-100

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	1,5

### 1.3 Приклади обладнання з потужністю від 10 до 40 кВт:



Рис. 9. Автоматизоване стенд СІМН-37

Автоматизований стенд випробування масляних насосів – це універсальне обладнання дозволяє забезпечити гнучкий підхід до вирішення завдань обкатки і випробування масляних насосів дизелів Д49, 10Д100, Д50 після ремонту.

Особливості та гідності стенду:

- простота в установці і зміні випробовуваних насосів, завдяки використанню спеціальних змінних перехідних плит. Кожен насос встановлюється на одне і теж посадочне місце;
- унікальна система поворотних патрубків дозволяє швидко і надійно
- для автоматичного регулювання тиску всмоктуючої і нагнітальної магістралі, оснащені електричними, дистанційно керованими засувками.

Можливості стенду:

- обкатка насосів відбувається на холостому ходу і під тиском;
- здійснюється перевірка продуктивності насосів;
- управління режимами випробувань здійснюється промисловим комп'ютером, всі дані запам'ятовуються.

Таблиця 9 – Технічна характеристика стенду СІМН-37

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота оберту двигуна привода насосу, об/хв	10-1500
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	37





Рис. 10. Автоматизований стенд СІВН-18

Стенд призначений для випробування водяних насосів різних типів дизелів на герметичність і продуктивність після їх ремонту.

Стенд оснащений частотно-регульованим електроприводом, сертифікованими датчиками і приладами витрати, тиску, розрідження, температури. Управління здійснюється в ручному та автоматичному режимах від вбудованого промислового комп'ютера.

Таблиця 10 – Технічна характеристика стенду СІВН-18

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	18,5



Рис. 11. Установка УПЗГ-2

Установка плазмового гарту гребнів колісних пар локомотивів, призначена для отримання в поверхневому шарі бандажу колісної пари зміцненого зносостійкого шару.

Таблиця 11 – Технічна характеристика установки УПЗГ-2

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Номінальна споживна потужність, кВт	35

#### 1.4 Приклади обладнання з потужністю від 40 кВт:



Рис. 12. Камера для фарбування ПК-РТ-12

Камера для фарбування моделі ПК-РТ-12 призначена для фарбування рам візків і інших великогабаритних вузлів тепловозів, електровозів і електропоїздів в локомотивних депо. Камера оснащена лебідкою, яка забезпечує плавне і безпечне переміщення транспортного візка, а також зручну і безпечну роботу обслуговуючого персоналу.

Таблиця 12 – Технічна характеристика камери для фарбування ПК-РТ-12

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	85



Рис. 13. Мийна машина рам візків АММ-РТ-12

Мийна машина моделі АММ-РТ-12 призначена для обмивки рам візків та інших велико габаритних вузлів (букс, ресор, гальмівних тяг та інших комплектуючих) тепловозів, електровозів і електропоїздів в локомотивних депо. Машина мийна забезпечує плавне і безпечне переміщення транспортного візка і автоматичну зміну напрямку її руху всередині мийної камери, а також зручну і безпечну роботу обслуговуючого персоналу.

Процеси управління машиною мийної відбуваються в автоматичному режимі.

Таблиця 13 – Технічна характеристика мийної машини АММ-РТ-12

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	93



Рис. 14. Мийна машина дизелів АММ-Д-12



Мийна машина призначена для обмивки дизелів тепловозів в локомотивних депо. Мийна машина забезпечує плавне і безпечне переміщення транспортного візка, автоматичну зміну напрямку її руху всередині мийної камери, а також зручну і безпечну роботу обслуговуючого персоналу.

Процес миття дизеля в мийній машині відбувається в автоматичному режимі.

Таблиця 14 – Технічна характеристика мийної машини АММ-Д-12

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	93

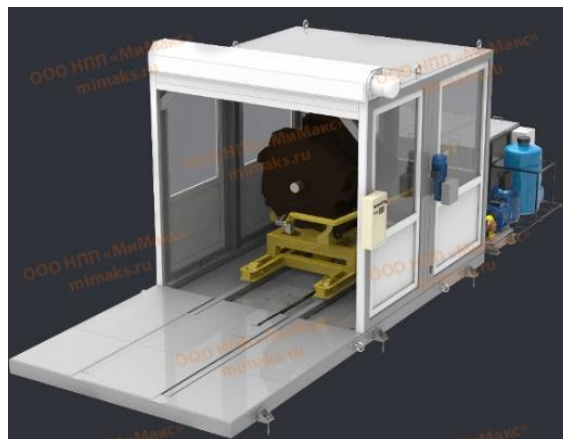


Рис. 15. Мийна машина MM506

Мийна машина призначена для проведення обмивки і обдування повітрям тягового двигуна перед розбиранням.

Обмивка здійснюється чистою водою високого тиску (230 бар), з нагріванням води до 60 °С в автоматичному режимі. Обмивка тягового електродвигуна (ТЕД) виробляється в герметичній миючій камері, забезпечена підйомною шторкою і піддоном для збору води. Операція обмивки здійснюється високопродуктивною обертаючою форсункою.

Переміщення миючою форсункою здійснюється автоматично без присутності людини в мийній камері. Мийна машина забезпечена

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

високопродуктивним насосом високого тиску і замкнутою системою водооберту.

Тяговий електродвигун подається в мийку на візку який входить до складу пристрою завантаження в мийну камеру. Застосування насоса високого тиску в поєднанні з грязьовими фрезами, що переміщуються в процесі мийки по заданій траєкторії, дозволяє значно поліпшити якість обмивки ТЕД.

Таблиця 15 – Технічна характеристика мийної машини ММ506

№	Найменування характеристики	Значення
1	Напруга живлення, В	380
2	Частота, Гц	50
3	Потужність приводного електродвигуна, кВт	16

## РОЗДІЛ 2

### Важливість економії електроенергії для господарства України

Всім відомо, що економити електроенергію потрібно для того, щоб зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище. Теплоелектростанції використовують вугілля, газ або нафту, тобто невідновлювані запаси корисних копалин, і викидають вуглекислий газ в атмосферу. У випадку з атомною електростанцією проблема полягає в тих радіоактивних відходах, які ще не навчилися переробляти так, щоб зробити їх абсолютно безпечними для навколишнього середовища.

Навіть гідроелектростанції, які отримують електрику за рахунок енергії падаючої води, шкодять екології: їх будівництво призводить до затоплення цінних сільськогосподарських земель, руйнування існуючих екосистем, зміни клімату. Таким чином, будь-яка електростанція завдає шкоди навколишньому середовищу, але якщо кожен з нас буде економити електроенергію, впроваджуючи енергозберігаючі технології або вчасно вимикаючи світло, значно знизиться необхідна потужність електричних станцій.

Економія електроенергії для нас стала актуальною темою в останні роки в зв'язку зі світовим зростанням споживання електроенергії. Вчені підраховали, що сучасні електростанції одного разу не зможуть задовольнити попит на електроенергію, адже щорічне споживання зростає в середньому на 15-20% [2].

Для вироблення електроенергії доводиться використовувати енергоресурси природи, а вони, як нам відомо, не нескінченні.

Крім екологічного чинника є і економічний, для покращення якого потрібно підвищити енергетичні показники обладнання. Енергетичні показники в даній роботі – це коефіцієнти потужності та корисної дії асинхронних двигунів електроприводів.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



2.1 Підвищення коефіцієнта потужності електроприводів різних пристроїв.

Нехай на електростанції встановлено генератор однофазного змінного струму потужністю 240 кВА, напругою 1,2 кВ, то максимальний струм, що віддається у мережу

$$I = \frac{S}{U} = \frac{240000}{1200} = 200 \text{ А.}$$

Якщо підключене навантаження має лише активний характер, то  $\cos\varphi = 1$ . Звідси активна потужність генератора

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 200 \cdot 1200 \cdot 1 = 240 \text{ кВт.}$$

Якщо підключити навантаження, яке має  $\cos\varphi = 0,8$  (активний та індуктивний опір) то активна потужність генератора буде

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 200 \cdot 1200 \cdot 0,8 = 192 \text{ кВт.}$$

Отже генератор по активній потужності буде не завантажений, але струм в 200 А все ще буде проходити через обмотку, нагріваючи її.

Якщо приключити навантаження, яке має  $\cos\varphi = 0,5$  активна потужність буде

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 200 \cdot 1200 \cdot 0,5 = 120 \text{ кВт.}$$

Таким чином, чим менше  $\cos\varphi$  у споживача, тим менше активна потужність, що віддає генератор та менше його ККД. Це змушує враховувати реактивну потужність на підприємстві, де є реактивне навантаження. Активна та реактивна енергія при постійній активній і реактивній потужності розраховуються по формулам:

$$A_a = P \cdot t \text{ кВт} \cdot \text{год};$$
$$A_p = Q \cdot t \text{ квар} \cdot \text{год}.$$

Через низький  $\cos\varphi$  необхідне:

1. Підвищення потужності електростанцій та трансформаторів, з формули

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}, \text{ маємо } S = \frac{P}{\cos\varphi}.$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так наприклад, якщо потужність двигунів цеху 80 кВт а  $\cos\varphi=0.8$  то потужність трансформатора живлення для двигунів буде

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{80}{0,8} = 100 \text{ кВА.}$$

При зниженні  $\cos\varphi$  до 0,6 за тієї ж потужності, необхідна потужність трансформатора буде  $S = \frac{80}{0,6} = 133 \text{ кВА}$ . Якщо у першому випадку кращим буде трансформатор у 100 кВА, то у другому випадку необхідно взяти трансформатор потужністю 180 кВА.

2. Зниження ККД генераторів та трансформаторів. У машин що працюють з недовантаженням, ККД знижується, що призводить до додаткових втрат енергії первинних двигунів.

3. Враховувати збільшення втрат потужності та напруги у провідниках та збільшення площі перерізу в них. З формули потужності однофазного змінного струму  $P = I \cdot U \cdot \cos\varphi$  видно, що  $I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$ . Так наприклад, при потужності  $P = 1 \text{ кВт}$ ,  $\cos\varphi = 0,9$ , та напрузі  $U = 200 \text{ В}$  струм дорівнює  $I = 5,55 \text{ А}$  то при  $\cos\varphi = 0,6$  маємо  $I = \frac{1000}{200 \cdot 0,6} = 8,35 \text{ А}$ .

Отже, при однакових значеннях потужності та напруги зменшення  $\cos\varphi$  супроводжується збільшенням струму в провіднику, та збільшенням втрат на нагрівання ( $I^2 r$ ) та зменшення напруги. Щоб цього уникнути площу перерізу необхідно збільшити [3].

2.2 Підвищення коефіцієнта корисної дії електроприводів різних пристроїв.

Понад 46% вироблюваної електроенергії споживається промисловими підприємствами, половина цієї енергії за допомогою електродвигунів перетворюється в механічну [4].

У процесі перетворення, частина енергії втрачається у вигляді тепла. Величина цієї енергії визначається енергетичними показниками двигуна.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заміна недовантажених двигунів електропривода на менш потужні дозволяє істотно зменшити споживання енергії та зменшити вміст вуглекислого газу у навколишньому середовищі.

Одним із основних енергетичних показників електродвигуна є його коефіцієнт корисної дії (ККД).

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1},$$

де  $P_2$  – корисна потужність на валу електродвигуна,

$P_1$  – активна потужність споживана електродвигуном з мережі,

$\Delta P$  – сумарні втрати у електродвигуні.

Очевидно, що чим вище ККД, тим менше енергії споживає електродвигун з мережі для створення тієї ж потужності  $P_2$ . Тому важливе значення має дослідження способів підвищення ККД в електроприводах зокрема нестандартного обладнання для ремонту рухомого складу.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3

#### Способи економії електроенергії при експлуатації електроприводів нестандартного обладнання при ремонті рухомого складу залізниць.

##### Обґрунтування обраного способу підвищення ефективності електроприводів

При експлуатації електроприводів нестандартного обладнання при ремонті рухомого складу можливі наступні загально відомі способи економії електроенергії [4].

**Перший спосіб** економії електроенергії застосовується для найпростішого некерованого масового електропривода і полягає в удосконаленні процедури вибору двигуна для конкретної технологічної установки з метою дотримання номінального теплового режиму двигуна при експлуатації.

Двигун заниженої потужності швидко виходить з ладу, а двигун завищеної потужності перетворює енергію неефективно, тобто з високими питомими втратами в самому двигуні (низький ККД) і в мережі живлення (низький  $\cos\phi$ ), що в нашому випадку приводить до нераціонального використання електроенергії.

**Другий спосіб** підвищення економічності масового нерегульованого електропривода – перехід на енергозберігаючі двигуни і двигуни поліпшеної конструкції, спеціально призначені для роботи з регульованим електроприводом.

В енергозберігаючих двигунах за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) підвищені номінальні значення коефіцієнта корисної дії (ККД) і  $\cos\phi$ . Доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат, оскільки невелике (до 5%) підвищення номінальних ККД і  $\cos\phi$  досягається за рахунок збільшення маси заліза на 30-35%, міді на 20-25%, алюмінію на 10-15% і в цілому двигуна на 25-30% відносно звичайних двигунів.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Спостерігається зростання випуску електропривода із синхронними двигунами зі збудженням від постійних магнітів (так званий безконтактний вентильний двигун (ВД) постійного струму). Ці двигуни мають найкращі масо габаритні показники.

Перспективним є також синхронно-реактивний двигун, що за прогнозами матиме масо габаритні показники, які лежать у проміжку між відповідними рекордними значеннями синхронного й асинхронного двигунів, а по енергетичній ефективності, можливо, перевершує їх, причому при нижчій вартості.

**Третій спосіб** полягає в усуненні проміжних передач.

Суть проблеми полягає в тім, що електрична енергія доступна на фіксованій частоті (50 Гц), а механічна енергія потрібна в широкому спектрі частот (швидкостей). Методи, розроблені багато років тому для вирішення цієї проблеми, використовують дорогі системи, двигун чи механічні регулятори. До складу узагальненої схеми електропривода входять крім електродвигуна та системи керування ним, також перетворювач чи механічний регулятор (коробки швидкостей, муфта, редуктор) і робочий орган, що є частиною робочої машини.

При виборі перспективних варіантів систем електроприводів варто враховувати можливість використання багато швидкісного електропривода, який дає можливість спростити механічний регулятор за рахунок виключення окремих ланок механічного регулятора.

**Четвертий спосіб** полягає в економії електроенергії робочими установками і механізмами за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

Технологічний процес містить у собі такі основні заходи:

- узгодження режимів роботи установки при зміні навантаження;
- підвищення ККД установки;
- регулювання продуктивності установки;

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконання оптимальної циклограми й упорядкування графіка навантажень;
- забезпечення нормованого завантаження (для підйомних машин, конвеєрів і т.д.);
- контроль стану технологічної установки;
- застосування нових видів електропривода;
- організаційні заходи.

**П'ятий спосіб** полягає у виборі раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода. Сюди входять:

- вибір раціонального способу і діапазону регулювання швидкості електропривода в залежності від технологічних умов роботи машин і механізмів;
- вибір раціонального способу регулювання швидкості в залежності від характеру зміни навантаження;
- підвищення завантаження робочих машин;
- виключення режиму неробочого ходу;
- зниження напруги на затискачах двигуна;
- мінімізація струму і втрат енергії асинхронного двигуна (АД) при зміні навантаження;
- оптимізація динамічних режимів;
- використання синхронної машини як компенсатора реактивної потужності;
- використання акумуляторів енергії.

Необхідність вивчення технологічного режиму робочої машини є основою для можливого комплексу заходів, що забезпечують ефективність енергозбереження. При цьому мова може йти як про регулювання швидкості технологічного агрегату, так і про його керованість. Під терміном «керованість» розуміється можливість зміни параметрів технологічного режиму за рахунок інших методів впливу, у тому числі і найпростіших— періодичних пусків і зупинок.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступний напрямок енергозбереження належить до основних споживачів електричної енергії – електроприводів з нерегульованими АД і полягає в створенні спеціальних схемних рішень, що забезпечують мінімізацію шкідливого впливу на енергетичні показники при відхиленні навантаження від номінального. Спеціальні регулятори електричної енергії (регулятори напруги), що включаються між джерелом живлення і статором двигуна, крім енергозбереження виконують також інші функції (керують режимами пуску і гальмування, регулюють швидкість і момент, здійснюють захист, діагностику і т.ін.), тобто підвищують технічний рівень привода, збільшують його надійність.

При роботі АД має місце недовикористання встановленої потужності, необґрунтоване завищення їх потужності, а також недовантаження. При цьому знижуються ККД і коефіцієнт потужності АД. Регулювання напруги на статорі АД при постійній частоті забезпечує найекономічній режим його роботи при зміні навантаження. При цьому мінімізується споживаний асинхронним двигуном струм і тим самим втрачається електроенергія в ньому.

Регулювання напруги АД у функції струму знижує втрати електроенергії до 5%, що при широкому застосуванні асинхронного електропривода дозволяє одержати великий економічний ефект.

**Шостий спосіб** полягає у виборі раціонального типу електропривода для конкретної технологічної установки і переході від нерегульованого електропривода до регульованого. Він припускає виконання таких операцій:

- аналіз технологічного процесу, умов експлуатації і, у результаті, розробка технічних вимог до електропривода;
- вибір перспективних варіантів систем електроприводів, їх техніко-економічне порівняння і вибір раціонального типу електропривода;
- розрахунок системи електропривода, у тому числі встановленої потужності і розробка системи керування;
- розробка конструкторської документації.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Удосконалювання технологічних процесів і автоматизація виробництва пов'язані з застосуванням регульованого електропривода. Застосування регульованого електропривода сприяє вирішенню задач по забезпеченню оптимальних режимів роботи механізмів, зниженню собівартості і підвищенню якості продукції, що випускається, зростанню продуктивності праці, підвищенню ефективності використання енергії, надійності і терміну служби устаткування.

В нашому випадку стоїть завдання обрати раціональний спосіб економії електроенергії з урахуванням того, що досліджуваний електропривод некерований, а технологія ремонту рухомого складу допускає значне тривале недовантаження електродвигунів в порівнянні с потрібною потужністю, передбаченою заводом виготівником технологічного обладнання.

Враховуючи вказані особливості, а також той фактор, що ми досліджуємо електропривод установок, які встановленні на конкретному ремонтному підприємстві, приймаємо перший спосіб економії електроенергії [4].

В якості асинхронних двигунів досліджуваних приводів обираємо двигуни серій АИР, АИС, АМУ, які широко застосовуються в теперішній час.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4

### Розроблення методики для дослідження зменшення електровитрат при запропонованому способі

В якості базового обладнання для розрахунків під час досліджень приймаємо миючу машину високого тиску для тягових двигунів локомотивів типу ММ506 [5].

Основні технічні характеристики машини ММ506:

Виставлена потужність 16 кВт.;

Вантажопідйомність пристрою завантаження 6 тс.;

Цикл обдувки та миття 40 хв.

Таблиця 16 – коефіцієнти завантаження  $k_{zi}$  машини ММ506

№	Тип двигуна локомотива	ТП2К1	ЭД-108	ЭД-150	НГВ-1000	ЭД-135т	ІДТ 001
1	Вага , тс	5	3,55	2,7	2,3	1,7	1,45
2	$k_{zi}$	0,83	0,59	0,45	0,38	0,28	0,24

Вага двигунів локомотивів наведена в [6].

$$k_{zi} = \frac{P_{\text{дві}}}{6}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{дві}}$  – вага двигуна певного типу, тс;

6 тс – вантажопідйомність пристрою завантаження машини ММ506 у відповідності з її технічними характеристиками.

Потрібно дослідити підвищення ефективності роботи електропривода ММ506 за рахунок зменшення втрат активної потужності у двигуні привода і в мережі електропостачання цього привода шляхом заміни базового двигуна двигуном меншої потужності при  $(0,4...0,5) \leq k_{zi} < (0,7...0,75)$ .

Пропонується наступна методика, розроблена у відповідності з [7].

1. Обрати тип двигуна електропривода по критерію:

обираємо двигун з потужністю найближчою до 16 кВт у бік збільшення.



Позначимо потужність обраного двигуна через  $P_{H1}$ .

2. Визначати втрати активної потужності  $\Delta P_{x1}$  в режимі холостого ходу двигуна електропривода.

$$\Delta P_{x1} = \sqrt{3} \cdot I_{xx1} \cdot U_M \cdot \cos \varphi_{xx1} \cdot 10^{-3} \text{ кВт}; \quad (2)$$

$$I_{xx1} = 0,3 I_{H1}. \quad (3)$$

де 0,3 – коефіцієнт відповідно до [7].

Приймаємо  $\cos \varphi_{xx1} = 0,15$ .

3. Доцільність зниження встановленої потужності електродвигуна обґрунтувати розрахунками. Якщо [7]:

$$(0,4 \dots 0,5) \leq k_{zi} < (0,7 \dots 0,75). \quad (4)$$

При  $k_{zi} \geq (0,7 \dots 0,75)$  заміна встановленого двигуна на менш потужний не рекомендується.

При  $k_{zi} < (0,4 \dots 0,5)$  потужність встановленого двигуна доцільно знизити без розрахунків.

У нашому випадку відповідно до формули (4) розрахунки необхідно виконати для  $k_{zi} = 0,59; 0,45; 0,38$  (згідно табл. 16). Далі замість 0,38 приймаємо 0,4.

4. Визначити потужність  $P_{ri}$  двигуна, яка реально потрібна при заданому  $k_{zi}$ .

$$P_{ri} = P_{H1} k_{zi}. \quad (5)$$

5. Позначимо всі параметри двигуна з потужністю  $P_{H1}$  індексом <<1>>, а параметри двигуна, що відповідає потужності  $P_{ri}$  з індексом <<2>>.

6. Сумарні втрати  $\Delta P_{\Sigma 1}$  активної потужності для першого двигуна [8] :

$$\Delta P_{\Sigma 1} = \left( Q_{xx1} \cdot (1 - k_{zi}^2) + k_{zi}^2 Q_{H1} \right) \cdot k_e + \Delta P_{xx1} + k_{zi}^2 \cdot \Delta P_{361}. \quad (6)$$

де  $Q_{xx1}$  – реактивна потужність, яку споживає двигун із мережі при ХХ ( $\sin \varphi_{xx1} \approx 1$  при  $\cos \varphi_{xx1} = 0,15$ ).

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{xx1} \approx \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{xx1} 10^{-3} \text{ квар.} \quad (7)$$

$Q_{H1}$  – реактивна потужність, яку споживає двигун із мережі при номінальному навантаженні.

$$Q_{H1} = (P_{H1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{H1} / \eta_{H1}) \text{ квар;} \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{H1} = \operatorname{tg}(\arccos \cos \varphi_{H1}). \quad (9)$$

де  $\cos \varphi_{H1}$  – номінальний коефіцієнт потужності двигуна;

$k_e$  – коефіцієнт підвищення втрат або економічний еквівалент, що визначає втрати активної потужності на передавання одного квар реактивної потужності в даній системі електропостачання;

$k_e = 0,125$  кВт/квар для низьковольтних споживачів [8].

$\Delta P_{361}$  – збільшення втрат активної потужності в електродвигуні за навантаження 100% [8].

$$\Delta P_{361} = P_{H1} \cdot \frac{1 - \eta_{H1}}{\eta_{H1}} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_1}. \quad (10)$$

де  $\gamma_1$  – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна

$$\gamma_1 = \frac{\Delta P_{xx1}^*}{100 \cdot (1 - \eta_{H1}) - \Delta P_{xx1}^*}; \quad (11)$$

$$\Delta P_{xx1}^* = \frac{\Delta P_{xx1}}{P_{H1}} \cdot 100\%. \quad (12)$$

7. Сумарні втрати  $\Delta P_{\Sigma 2}$  розраховуємо аналогічно.

8. Зменшення активних втрат  $\Delta P$ , при заміні недовантаженого двигуна на менш потужний виражаємо як різницю між  $\Delta P_{\Sigma}$  до заміни, та  $\Delta P_{\Sigma}$  після заміни двигуна.

Наприклад, для першого  $\Delta P_1 = \Delta P_{\Sigma 1} - \Delta P_{\Sigma 2}$ .

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5

### Дослідження ефективності заміни недовантажених двигунів різних серій

Дослідження зменшення втрат активної потужності при двигунах серії АИР.

В якості базового варіанту для електропривода ММ506 приймаємо трифазний асинхронний двигун найближчий за потужністю в бік збільшення від 16 кВт типу АИР 160М2 з наступними технічними характеристиками [11]

$$P_{H1} = 18,5 \text{ кВт}; n_{H1} = 2900 \text{ об/хв}; \eta_{H1} = 0,905; I_{H1} = 34,5 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,0; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{H1} = 0,9;$$

$$I_{xx1} = 0,3 \cdot 34,5 = 10,35 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 10,35 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,02 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10,35 \cdot 10^{-3} = 6,8 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,9 = 25^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 25^\circ = 0,4663 [10];$$

$$\Delta P_{xx1}^* = \frac{1,02}{18,5} \cdot 100\% = 5,51 \%;$$

$$Q_{H1} = (18,5 \cdot 0,4663 / 0,905) = 9,53 \text{ квар};$$

$$\gamma_1 = \frac{5,51}{100 \cdot (1 - 0,905) - 5,51} = 1,38;$$

$$\Delta P_{361} = 18,5 \cdot \frac{1 - 0,905}{0,905} \cdot \frac{1}{1 + 1,38} = 0,816 \text{ кВт}.$$

Приймаємо спочатку  $k_{3i} = 0,59$ .

$$\Delta P_{\Sigma 1} = \left( 6,8 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 9,53 \right) \cdot 0,125 + 1,02 + 0,59^2 \cdot 0,816 = 2,264 \text{ кВт}.$$

Реальна потужність  $P_{r1}$  двигуна, яка потрібна при  $k_{31} = 0,59$ .

$P_{r1} = 0,59 \cdot 16 = 9,44 \text{ кВт}$  (16 кВт – потужність двигуна згідно технічних характеристик ММ506).

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найближчий  $P_{r1} = 9,44$  кВт більший по потужності є двигун типу АИР 132М2 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 132М2:

$$P_{H2} = 11 \text{ кВт}; n_{H2} = 2910 \text{ об/хв}; \eta_{H2} = 0,88; I_{H2} = 21 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,5; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{H2} = 0,9;$$

$$I_{xx2} = 0,4 \cdot 21 = 8,4 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx2} = \sqrt{3} \cdot 8,4 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,83 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx2} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 8,4 \cdot 10^{-3} = 5,53 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,9 = 25^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 25^\circ = 0,4663 [10];$$

$$Q_{H2} = (11 \cdot 0,4663 / 0,88) = 5,83 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx2}^* = \frac{0,83}{11} \cdot 100\% = 7,54 \%;$$

$$\gamma_2 = \frac{7,54}{100 \cdot (1 - 0,88) - 7,54} = 1,69;$$

$$\Delta P_{362} = 11 \cdot \frac{1 - 0,88}{0,88} \cdot \frac{1}{1 + 1,69} = 0,557 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 2} = \left( 5,53 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 5,83 \right) \cdot 0,125 + 0,83 + 0,59^2 \cdot 0,557 = 1,728 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\Sigma 1} - \Delta P_{\Sigma 2} = 2,264 - 1,728 = 0,536 \text{ кВт}.$$

Далі приймаємо  $k_{zi} = 0,45$ .

$$P_{r2} = 0,45 \cdot 16 = 7,2 \text{ кВт}.$$

Найближчий до  $P_{r2} = 7,2$  кВт більший по потужності є двигун типу АИР 122М2 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 122М2:

$$P_{H3} = 7,5 \text{ кВт}; n_{H3} = 2900 \text{ об/хв}; \eta_{H3} = 0,875; I_{H3} = 14,8 \text{ А};$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}} = 7,5; U_{\text{H}} = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{\text{H3}} = 0,88;$$

$$I_{\text{xx3}} = 0,4 \cdot 14,8 = 5,92 \text{ А};$$

$$\Delta P_{\text{xx3}} = \sqrt{3} \cdot 5,92 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,58 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{xx3}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 5,92 \cdot 10^{-3} = 3,89 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,88 = 28^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 28^\circ = 0,5317 [10];$$

$$Q_{\text{H3}} = (7,5 \cdot 0,5317 / 0,875) = 4,56 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{\text{xx3}}^* = \frac{0,58}{7,5} \cdot 100\% = 7,73 \%;$$

$$\gamma_3 = \frac{7,73}{100 \cdot (1 - 0,875) - 7,73} = 1,62;$$

$$\Delta P_{363} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1 + 1,62} = 0,41 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 3} = \left( 3,89 \cdot (1 - 0,45^2) + 0,45^2 \cdot 4,56 \right) \cdot 0,125 + 0,58 + 0,45^2 \cdot 0,41 = 1,166 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = 2,264 - 1,166 = 1,098 \text{ кВт}.$$

Далі приймаємо  $k_{3i} = 0,4$ .

$$P_{r3} = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ кВт}.$$

Найближчий до  $P_{r3} = 6,4 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР 122М2 [11], тобто двигун того ж типу що й при  $k_{3i} = 0,45$ . Але формально його технічні характеристики в kažемо з індексом <<4>>, а саме:

$$P_{\text{H4}} = 7,5 \text{ кВт}; n_{\text{H4}} = 2900 \text{ об/хв}; \eta_{\text{H4}} = 0,875; I_{\text{H4}} = 14,8 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}} = 7,5; U_{\text{H}} = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{\text{H4}} = 0,88;$$

$$I_{\text{xx4}} = 0,4 \cdot 14,8 = 5,92 \text{ А};$$

$$\Delta P_{\text{xx4}} = \sqrt{3} \cdot 5,92 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,58 \text{ кВт};$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$Q_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 5,92 \cdot 10^{-3} = 3,89 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,88 = 28^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 28^\circ = 0,5317 [10];$$

$$Q_{H4} = (7,5 \cdot 0,5317 / 0,875) = 4,56 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx4}^* = \frac{0,58}{7,5} \cdot 100\% = 7,73 \%;$$

$$\gamma_4 = \frac{7,73}{100 \cdot (1 - 0,875) - 7,73} = 1,62;$$

$$\Delta P_{364} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1 + 1,62} = 0,41 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 4} = \left( 3,89 \cdot (1 - 0,4^2) + 0,4^2 \cdot 4,56 \right) \cdot 0,125 + 0,58 + 0,4^2 \cdot 0,41 = 1,145 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_3 = 2,264 - 1,145 = 1,119 \text{ кВт}.$$

Для 1500 об/хв приймаємо трифазний асинхронний двигун найближчий за потужністю в бік збільшення від 16кВт типу АИР 160М4 з наступними технічними характеристиками [11]:

$$P_{H1} = 18,5 \text{ кВт}; n_{H1} = 1455 \text{ об/хв}; \eta_{H1} = 0,905; I_{H1} = 34,9 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,0; U_H = 380 \text{ В}; \cos \varphi_{H1} = 0,89;$$

$$I_{xx1} = 0,55 \cdot 34,9 = 19,19 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 19,19 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,89 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 19,19 \cdot 10^{-3} = 12,63 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,89 = 27^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 27^\circ = 0,5095 [10];$$

$$Q_{H1} = (18,5 \cdot 0,5095 / 0,905) = 10,41 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx1}^* = \frac{1,89}{18,5} \cdot 100\% = 10,21 \%;$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\gamma_1 = \frac{10,21}{100 \cdot (1 - 0,905) - 10,21} = 14,38;$$

$$\Delta P_{361} = 18,5 \cdot \frac{1 - 0,905}{0,905} \cdot \frac{1}{1 + 14,38} = 0,126 \text{ кВт.}$$

Приймаємо спочатку  $k_{3i} = 0,59$ .

$$\Delta P_{\Sigma 1} = \left( 12,63 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 10,41 \right) \cdot 0,125 + 1,89 + 0,59^2 \cdot 0,126 = 3,416 \text{ кВт.}$$

Реальна потужність  $P_{r1}$  двигуна, яка потрібна при  $k_{31} = 0,59$ .

$$P_{r1} = 0,59 \cdot 16 = 9,44 \text{ кВт.}$$

Найближчий  $P_{r1} = 9,44$  кВт більший по потужності є двигун типу АИР 132М4 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 132М4:

$$P_{H2} = 11 \text{ кВт; } n_{H2} = 1450 \text{ об/хв; } \eta_{H2} = 0,875; I_{H2} = 22 \text{ А;}$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,5; U_H = 380 \text{ В; } \cos \varphi_{H2} = 0,87;$$

$$I_{xx2} = 0,6 \cdot 22 = 13,2 \text{ А;}$$

$$\Delta P_{xx2} = \sqrt{3} \cdot 13,2 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,3 \text{ кВт;}$$

$$Q_{xx2} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 13,2 \cdot 10^{-3} = 8,687 \text{ квар;}$$

$$\arccos 0,87 = 30^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 30^\circ = 0,5774 [10];$$

$$Q_{H2} = (11 \cdot 0,5774 / 0,875) = 7,26 \text{ квар;}$$

$$\Delta P_{xx2}^* = \frac{1,3}{11} \cdot 100\% = 11,81 \%;$$

$$\gamma_2 = \frac{11,81}{100 \cdot (1 - 0,875) - 11,81} = 17,116;$$

$$\Delta P_{362} = 11 \cdot \frac{1 - 0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1 + 17,116} = 0,08 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P_{\Sigma 2} = \left( 8,03 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 7,26 \right) \cdot 0,125 + 1,3 + 0,59^2 \cdot 0,086 = 2,3 \text{ кВт;}$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_2 = \Delta P_{\Sigma 1} - \Delta P_{\Sigma 2} = 3,416 - 2,3 = 1,116 \text{ кВт.}$$

Далі приймаємо  $k_{zi} = 0,45$ .

$$P_{r2} = 0,45 \cdot 16 = 7,2 \text{ кВт.}$$

Найближчий до  $P_{r2} = 7,2 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР 132S4 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 132S4:

$$P_{H3} = 7,5 \text{ кВт; } n_{H3} = 1440 \text{ об/хв; } \eta_{H3} = 0,875; I_{H3} = 15,1 \text{ А;}$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,5; U_H = 380 \text{ В; } \cos \varphi_{H3} = 0,86;$$

$$I_{xx3} = 0,6 \cdot 15,1 = 9,06 \text{ А;}$$

$$\Delta P_{xx3} = \sqrt{3} \cdot 9,06 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,894 \text{ кВт;}$$

$$Q_{xx3} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 9,06 \cdot 10^{-3} = 5,963 \text{ квар;}$$

$$\arccos 0,86 = 31^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 31^\circ = 0,6009 [10];$$

$$Q_{H3} = (7,5 \cdot 0,6009 / 0,875) = 5,15 \text{ квар;}$$

$$\Delta P_{xx3}^* = \frac{0,894}{7,5} \cdot 100\% = 11,92 \text{ %;}$$

$$\gamma_3 = \frac{11,92}{100 \cdot (1 - 0,875) - 11,92} = 20,55;$$

$$\Delta P_{363} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1 + 20,55} = 0,05 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P_{\Sigma 3} = \left( 5,963 \cdot (1 - 0,45^2) + 0,45^2 \cdot 5,15 \right) \cdot 0,125 + 0,894 + 0,45^2 \cdot 0,05 = 1,628 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P_2 = 3,416 - 1,628 = 1,788 \text{ кВт.}$$

Далі приймаємо  $k_{zi} = 0,4$ .

$$P_{r3} = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ кВт.}$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найближчий до  $P_{r3} = 6,4$  кВт більший по потужності є двигун типу АИР 132S4 [11], тобто двигун того ж типу що й при  $k_{zi} = 0,45$ . Але формально його технічні характеристики вкажемо з індексом <<4>>, а саме:

$$P_{H4} = 7,5 \text{ кВт}; n_{H4} = 1440 \text{ об/хв}; \eta_{H4} = 0,875; I_{H4} = 15,1 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,5; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{H4} = 0,86;$$

$$I_{xx4} = 0,6 \cdot 15,1 = 9,06 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 9,06 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,894 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 9,06 \cdot 10^{-3} = 5,963 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,86 = 31^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 31^\circ = 0,6009 [10];$$

$$Q_{H4} = (7,5 \cdot 0,6009 / 0,875) = 5,15 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx4}^* = \frac{0,894}{7,5} \cdot 100\% = 11,92 \%;$$

$$\gamma_4 = \frac{11,92}{100 \cdot (1 - 0,875) - 11,92} = 20,55;$$

$$\Delta P_{364} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1 + 20,55} = 0,05 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 4} = \left( 5,963 \cdot (1 - 0,4^2) + 0,4^2 \cdot 5,15 \right) \cdot 0,125 + 0,894 + 0,4^2 \cdot 0,05 = 1,631 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_3 = 3,416 - 1,631 = 1,785 \text{ кВт}.$$

Для 1000 об/хв робимо теж саме, приймаємо трифазний асинхронний двигун найближчий за потужністю в бік збільшення від 16кВт типу АИР 180М6 з наступними технічними характеристиками [11]:

$$P_{H1} = 18,5 \text{ кВт}; n_{H1} = 980 \text{ об/хв}; \eta_{H1} = 0,895; I_{H1} = 37 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 6,5; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{H1} = 0,85;$$

$$I_{xx1} = 0,6 \cdot 37 = 22,2 \text{ А};$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 22,2 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,19 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 22,2 \cdot 10^{-3} = 14,61 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,85 = 32^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 32^\circ = 0,6249 [10];$$

$$Q_{H1} = (18,5 \cdot 0,6249 / 0,895) = 12,916 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx1}^* = \frac{2,19}{18,5} \cdot 100\% = 11,837 \%;$$

$$\gamma_1 = \frac{11,837}{100 \cdot (1 - 0,895) - 11,837} = 8,85;$$

$$\Delta P_{361} = 18,5 \cdot \frac{1 - 0,895}{0,895} \cdot \frac{1}{1 + 8,85} = 0,22 \text{ кВт}.$$

Приймаємо спочатку  $k_{3i} = 0,59$ .

$$\Delta P_{\Sigma 1} = \left( 14,61 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 12,916 \right) \cdot 0,125 + 2,19 + 0,59^2 \cdot 0,22 = 4,02 \text{ кВт}.$$

Реальна потужність  $P_{r1}$  двигуна, яка потрібна при  $k_{31} = 0,59$ .

$$P_{r1} = 0,59 \cdot 16 = 9,44 \text{ кВт}.$$

Найближчий  $P_{r1} = 9,44 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР 160S6 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 160S6:

$$P_{H2} = 11 \text{ кВт}; n_{H2} = 970 \text{ об/хв}; \eta_{H2} = 0,88; I_{H2} = 22,9 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 6,5; U_H = 380 \text{ В}; \cos \varphi_{H2} = 0,83;$$

$$I_{xx2} = 0,65 \cdot 22,9 = 14,885 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx2} = \sqrt{3} \cdot 14,885 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,47 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx2} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 14,885 \cdot 10^{-3} = 9,8 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,83 = 34^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 34^\circ = 0,6745 [10];$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$Q_{H2} = (11 \cdot 0,6745 / 0,88) = 8,43 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx2}^* = \frac{1,47}{11} \cdot 100\% = 13,36 \%;$$

$$\gamma_2 = \frac{13,36}{100 \cdot (1 - 0,88) - 13,36} = 9,82;$$

$$\Delta P_{362} = 11 \cdot \frac{1 - 0,88}{0,88} \cdot \frac{1}{1 + 9,82} = 0,14 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 2} = \left( 9,8 \cdot \left( 1 - 0,59^2 \right) + 0,59^2 \cdot 8,43 \right) \cdot 0,125 + 1,47 + 0,59^2 \cdot 0,14 = 2,684 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_{\Sigma 1} - \Delta P_{\Sigma 2} = 4,02 - 2,684 = 1,336 \text{ кВт}.$$

Далі приймаємо  $k_{3i} = 0,45$ .

$$P_{r2} = 0,45 \cdot 16 = 7,2 \text{ кВт}.$$

Найближчий до  $P_{r2} = 7,2 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР В2М6 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР В2М6:

$$P_{H3} = 7,5 \text{ кВт}; n_{H3} = 960 \text{ об/хв}; \eta_{H3} = 0,855; I_H = 16,5 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,0; U_H = 380 \text{ В}; \cos \varphi_{H3} = 0,81;$$

$$I_{xx3} = 0,65 \cdot 16,5 = 10,725 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx3} = \sqrt{3} \cdot 10,725 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,06 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx3} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10,725 \cdot 10^{-3} = 7,06 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,81 = 36^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 36^\circ = 0,7265 [10];$$

$$Q_{H3} = (7,5 \cdot 0,7265 / 0,855) = 6,37 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx3}^* = \frac{1,06}{7,5} \cdot 100\% = 14,13 \%;$$

$$\gamma_3 = \frac{14,13}{100 \cdot (1 - 0,855) - 14,13} = 38,19;$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{363} = 7,5 \cdot \frac{1-0,855}{0,855} \cdot \frac{1}{1+38,19} = 0,03 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 3} = \left( 7,06 \cdot \left( 1 - 0,45^2 \right) + 0,45^2 \cdot 6,37 \right) \cdot 0,125 + 1,06 + 0,45^2 \cdot 0,03 = 1,931 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = 4,02 - 1,931 = 2,089 \text{ кВт}.$$

Далі приймаємо  $k_{3i} = 0,4$ .

$$P_{r3} = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ кВт}.$$

Найближчий до  $P_{r3} = 6,4 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР В2М6 [11], тобто двигун того ж типу що й при  $k_{3i} = 0,45$ . Але формально його технічні характеристики вкажемо з індексом <<4>>, а саме:

$$P_{H4} = 7,5 \text{ кВт}; n_{H4} = 960 \text{ об/хв}; \eta_{H4} = 0,855; I_{H4} = 16,5 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 7,0; U_H = 380 \text{ В}; \cos \varphi_{H4} = 0,81;$$

$$I_{xx4} = 0,65 \cdot 16,5 = 10,725 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 10,725 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,06 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10,725 \cdot 10^{-3} = 7,06 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,81 = 36^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 36^\circ = 0,7265 [10];$$

$$Q_{H4} = (7,5 \cdot 0,7265 / 0,855) = 6,37 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx4}^* = \frac{1,06}{7,5} \cdot 100\% = 14,13 \text{ } \%;$$

$$\gamma_4 = \frac{14,13}{100 \cdot (1 - 0,855) - 14,13} = 38,19;$$

$$\Delta P_{364} = 7,5 \cdot \frac{1-0,855}{0,855} \cdot \frac{1}{1+38,19} = 0,03 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 4} = \left( 7,06 \cdot \left( 1 - 0,4^2 \right) + 0,4^2 \cdot 6,37 \right) \cdot 0,125 + 1,06 + 0,4^2 \cdot 0,03 = 1,933 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_3 = 4,02 - 1,933 = 2,087 \text{ кВт}.$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

І залишається 750 об/хв, приймаємо трифазний асинхронний двигун найближчий за потужністю в бік збільшення від 16кВт типу АИР 180М6 з наступними технічними характеристиками [11]:

$$P_{H1} = 18,5 \text{ кВт}; n_{H1} = 730 \text{ об/хв}; \eta_{H1} = 0,89; I_{H1} = 39 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 6,0; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{H1} = 0,81;$$

$$I_{xx1} = 0,65 \cdot 39 = 25,35 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 25,35 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx1} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 25,35 \cdot 10^{-3} = 16,685 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,81 = 36^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 36^\circ = 0,7265 [10];$$

$$Q_{H1} = (18,5 \cdot 0,7265 / 0,89) = 15,10 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx1}^* = \frac{2,5}{18,5} \cdot 100\% = 13,5 \%;$$

$$\gamma_1 = \frac{13,5}{100 \cdot (1 - 0,89) - 13,5} = 5,4;$$

$$\Delta P_{361} = 18,5 \cdot \frac{1 - 0,89}{0,89} \cdot \frac{1}{1 + 5,4} = 0,357 \text{ кВт}.$$

Приймаємо спочатку  $k_{31} = 0,59$ .

$$\Delta P_{\Sigma 1} = \left( 16,685 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 15,10 \right) \cdot 0,125 + 2,5 + 0,59^2 \cdot 0,357 = 4,64 \text{ кВт}.$$

Реальна потужність  $P_{r1}$  двигуна, яка потрібна при  $k_{31} = 0,59$ .

$$P_{r1} = 0,59 \cdot 16 = 9,44 \text{ кВт}.$$

Найближчий  $P_{r1} = 9,44 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР 180М6 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 180М6:

$$P_{H2} = 11 \text{ кВт}; n_{H2} = 725 \text{ об/хв}; \eta_{H2} = 0,875; I_{H2} = 25,5 \text{ А};$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}} = 6,0; U_{\text{H}} = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{\text{H2}} = 0,75;$$

$$I_{\text{xx2}} = 0,7 \cdot 25,5 = 17,85 \text{ А};$$

$$\Delta P_{\text{xx2}} = \sqrt{3} \cdot 17,85 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,762 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{xx2}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 17,85 \cdot 10^{-3} = 11,748 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,75 = 41^{\circ}[9];$$

$$\operatorname{tg} 41^{\circ} = 0,8693[10];$$

$$Q_{\text{H2}} = (11 \cdot 0,8693 / 0,875) = 10,93 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{\text{xx2}}^* = \frac{1,762}{11} \cdot 100\% = 16,02 \%;$$

$$\gamma_2 = \frac{16,02}{100 \cdot (1 - 0,875) - 16,02} = 4,55;$$

$$\Delta P_{362} = 11 \cdot \frac{1 - 0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1 + 4,55} = 0,28 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 2} = \left( 11,748 \cdot (1 - 0,59^2) + 0,59^2 \cdot 10,93 \right) \cdot 0,125 + 1,762 + 0,59^2 \cdot 0,28 = 3,292 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_4 = \Delta P_{\Sigma 1} - \Delta P_{\Sigma 2} = 4,64 - 3,292 = 1,348 \text{ кВт}.$$

Далі приймаємо  $k_{3i} = 0,45$ .

$$P_{r2} = 0,45 \cdot 16 = 7,2 \text{ кВт}.$$

Найближчий до  $P_{r2} = 7,2 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР 160М8 [11].

Технічні характеристики двигуна АИР 160М8:

$$P_{\text{H3}} = 7,5 \text{ кВт}; n_{\text{H3}} = 725 \text{ об/хв}; \eta_{\text{H3}} = 0,87; I_{\text{H3}} = 17,5 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{H}}} = 5,5; U_{\text{H}} = 380 \text{ В}; \cos\varphi_{\text{H3}} = 0,75;$$

$$I_{\text{xx3}} = 0,7 \cdot 17,5 = 12,25 \text{ А};$$

$$\Delta P_{\text{xx3}} = \sqrt{3} \cdot 12,25 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,21 \text{ кВт};$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{xx3} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 12,25 \cdot 10^{-3} = 8,06 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,75 = 41^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 41^\circ = 0,8693 [10];$$

$$Q_{H3} = (7,5 \cdot 0,8693 / 0,87) = 7,5 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{xx3}^* = \frac{1,21}{7,5} \cdot 100\% = 16,13 \%;$$

$$\gamma_3 = \frac{16,13}{100 \cdot (1 - 0,87) - 16,13} = 5,15;$$

$$\Delta P_{363} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,87}{0,87} \cdot \frac{1}{1 + 5,15} = 0,182 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 3} = \left( 8,06 \cdot \left( 1 - 0,45^2 \right) + 0,45^2 \cdot 7,5 \right) \cdot 0,125 + 1,21 + 0,45^2 \cdot 0,182 = 2,24 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_2 = 4,64 - 2,24 = 2,4 \text{ кВт}.$$

Далі приймаємо  $k_{3i} = 0,4$ .

$$P_{r3} = 0,4 \cdot 16 = 6,4 \text{ кВт}.$$

Найближчий до  $P_{r3} = 6,4 \text{ кВт}$  більший по потужності є двигун типу АИР В2М6 [11], тобто двигун того ж типу що й при  $k_{3i} = 0,45$ . Але формально його технічні характеристики в kažемо з індексом <<4>>, а саме:

$$P_{H4} = 7,5 \text{ кВт}; n_{H4} = 725 \text{ об/хв}; \eta_{H4} = 0,87; I_{H4} = 17,5 \text{ А};$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_H} = 5,5; U_H = 380 \text{ В}; \cos \varphi_{H4} = 0,75;$$

$$I_{xx4} = 0,7 \cdot 17,5 = 12,25 \text{ А};$$

$$\Delta P_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 12,25 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,21 \text{ кВт};$$

$$Q_{xx4} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 12,25 \cdot 10^{-3} = 8,06 \text{ квар};$$

$$\arccos 0,75 = 41^\circ [9];$$

$$\operatorname{tg} 41^\circ = 0,8693 [10];$$

$$Q_{H4} = (7,5 \cdot 0,8693 / 0,87) = 7,5 \text{ квар};$$

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$\Delta P_{xx4}^* = \frac{1,21}{7,5} \cdot 100\% = 16,13 \%;$$

$$\gamma_4 = \frac{16,13}{100 \cdot (1 - 0,87) - 16,13} = 5,15;$$

$$\Delta P_{364} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,87}{0,87} \cdot \frac{1}{1 + 5,15} = 0,182 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\Sigma 4} = \left( 8,06 \cdot (1 - 0,4^2) + 0,4^2 \cdot 7,5 \right) \cdot 0,125 + 1,21 + 0,4^2 \cdot 0,182 = 2,235 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_3 = 4,64 - 2,235 = 2,405 \text{ кВт}.$$

Зменшення втрат активної потужності  $\Delta P_1$  при заміні базового двигуна на двигун меншої потужності.

Таблиця 17 – результати досліджень для двигунів серії АИР

№	$k_{zi}$	$k_{31} = 0,59$	$k_{32} = 0,45$	$k_{33} = 0,4$
1	$n_c = 3000 \text{ об/хв}$	0,536	1,098	1,119
2	$n_c = 1500 \text{ об/хв}$	1,116	1,788	1,785
3	$n_c = 1000 \text{ об/хв}$	1,336	2,089	2,087
4	$n_c = 750 \text{ об/хв}$	1,348	2,4	2,405
5	$\Delta P_1 \text{ кВт}$	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$	$\Delta P_3$

В табл.17  $n_c$  – синхронна частота обертання,  $k_{zi}$  –  $i$ -й коефіцієнт завантаження.

Приклад користування табл. 17.

Якщо заміна базового двигуна з  $n_c = 1500 \text{ об/хв}$  відбувається при  $k_{32} = 0,45$ , то чисельне значення  $\Delta P_2$  знаходимо на перехресті рядка (1500 об/хв) з стовпцем  $k_{32} = 0,45$ . Тобто  $\Delta P_2 = 1,788 \text{ кВт}$ .

Аналіз отриманих результатів показує: зменшення частоти обертання суттєво впливає на зменшення втрат активної потужності. Найбільш ефективним для двигунів серії АИР є застосування двигунів с синхронною частотою обертання 1000 об/хв. При цьому маємо після заміни недовантаженого базового двигуна на менш потужний:

- зменшення втрат активної потужності на 1,336 кВт при коефіцієнті завантаження 0,59 та на 2,089 кВт при коефіцієнті завантаження 0,45;

- зменшення втрат при коефіцієнті завантаження 0,45 (2,089 кВт) практично дорівнює зменшенню втрат при коефіцієнті завантаження 0,4 (2,087 кВт). Тому в подальшому виконуємо розрахунки тільки при коефіцієнтах завантаження 0,59 та 0,45 для сучасних серій двигунів АИС та АМУ. Розрахунки серій двигунів АИС та АМУ в ДОДАТКУ А.

Таблиця 18 – результати досліджень для двигунів серії АИС

№	$k_{zi}$	$k_{31} = 0,59$	$k_{32} = 0,45$
1	$n_c = 3000$ об/хв	0,557	1,135
2	$n_c = 1500$ об/хв	1,247	1,933
3	$n_c = 1000$ об/хв	1,409	2,298
4	$n_c = 750$ об/хв	1,37	2,495
5	$\Delta P_1$ кВт	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$

Таблиця 19 – результати досліджень для двигунів серії АМУ

№	$k_{zi}$	$k_{31} = 0,59$	$k_{32} = 0,45$
1	$n_c = 3000$ об/хв	0,614	1,262
2	$n_c = 1500$ об/хв	1,149	1,859
3	$n_c = 1000$ об/хв	1,03	1,917
4	$n_c = 750$ об/хв	1,386	2,199
5	$\Delta P_1$ кВт	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$

Таблиця 20 – результати досліджень усіх двигунів

№	Тип двигуна	АИР		АИС		АМУ	
1	$k_{zi}$	0,59	0,45	0,59	0,45	0,59	0,45
2	$n_c = 3000$ об/хв	0,536	1,098	0,557	1,135	0,614	1,262
3	$n_c = 1500$ об/хв	1,116	1,788	1,247	1,933	1,149	1,859
4	$n_c = 1000$ об/хв	1,336	2,089	1,409	2,298	1,03	1,917
5	$n_c = 750$ об/хв	1,348	2,4	1,37	2,495	1,386	2,199
6	$\Delta P_1$ кВт	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$

З табл. 20 видно, що при однакових усіх інших умовах економії електроенергії при заміні недовантаженого двигуна на менш потужній залежить також від серії двигуна. Так застосування двигуна серії АИС при  $k_{зi} = 0,45$  та  $n_c = 750$  об/хв дає збільшення економії електроенергії на  $\frac{2,495 - 2,4}{2,4} \cdot 100\% = 9,5\%$  в порівнянні з двигуном серії АИР та  $\frac{2,495 - 2,199}{2,199} \cdot 100\% = 13,46\%$  в порівнянні з двигуном серії АМУ.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 6

### Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

6.1. Вимоги до безпеки експлуатації і ремонту електроустановок, заходи щодо забезпечення пожежної безпеки.

Кожне підприємство повинно забезпечити утримання, експлуатацію і обслуговування електроустановок відповідно до вимог чинних нормативних документів. Один з документів що регулює державний нормативний акт щодо забезпечення електротехнічної безпеки є ПНАОП 0.00-1.21-98 «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [16].

Вимоги до керівника:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електрогосподарства з числа інженерно-технічних працівників, які мають електротехнічну підготовку і пройшли перевірку знань у встановленому порядку (далі - особа, відповідальна за електрогосподарство);

- забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників;

- затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції і інструкції з охорони праці;

- встановити такий порядок, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, вели ретельні спостереження за дорученим їм обладнанням і мережами - оглядом, перевіркою дії, випробуванням і вимірюванням;

- забезпечити перевірку знань працівників у встановлені строки згідно з вимогами цих Правил .

- забезпечити проведення протиаварійних, приймально-здавальних і профілактичних випробувань та вимірювань електроустановок згідно з правилами і нормами (ПТЕ);

- забезпечити проведення технічного огляду електроустановок.

Вимоги до працівників:

1. Порядок навчання і перевірки знань працівників має бути відповідним до галузевого положення про навчання, інструктаж і перевірку знань з питань

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охорони праці, узгодженого з Держнаглядом охорони праці, а також до вимог до електротехнічної обслуги, які містяться в ПТЕ.

2. Первинний (під час прийняття на роботу) та періодичний (протягом трудової діяльності) медичний огляд працівників проводиться згідно з Положенням про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 №45, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України за №136/345.

3. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані знати ці Правила відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки.

Для присвоєння чергової групи з електробезпеки необхідно мати мінімальний стаж роботи в електроустановках з попередньою групою

4. Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил, видається посвідчення, яке він зобов'язаний мати при собі під час роботи.

За відсутності посвідчення або за наявності посвідчення з простроченими термінами перевірки знань працівник до роботи не допускається.

Посвідчення про перевірку знань підлягає заміні у випадку зміни посади або за відсутності місця для записів.

5. Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань цих Правил.

6. Забороняється допускати до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також з явними ознаками захворювання.

7. Забороняється виконання розпоряджень та завдань, що суперечать вимогам цих Правил.

8. Кожний працівник особисто відповідає за свої дії в частині дотримання вимог цих Правил.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В разі нещасних випадків з людьми зняття напруги для звільнення потерпілого від дії електричного струму має бути виконано негайно, без попереднього дозволу.

9. Працівники, що порушили вимоги цих Правил, усуваються від роботи і несуть відповідальність (дисциплінарну, адміністративну, кримінальну) згідно з чинним законодавством.

Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки «Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні (31619)» [17].

Забезпечення пожежної безпеки є однією з головних частин виробничої діяльності на підприємствах. Це повинно бути відображено у трудових договорах або контрактах та статутах підприємств.

Керівник підприємства повинен:

- визначити обов'язки посадових осіб (у тому числі заступників керівника) щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, ділянок тощо, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту мають бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

- вживати (у межах наданих йому прав) відповідних заходів реагування на факти порушень чи невиконання посадовими особами, іншими працівниками підприємства встановленого протипожежного режиму, вимог правил пожежної безпеки та інших нормативно-правових актів, що діють у цій сфері.

На кожному підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом або інструкцією повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, у тому числі визначені:

- можливість паління (місце для куріння), застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних); правила проїзду та стоянки транспортних засобів; місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);

- порядок прибирання горючого пилу й відходів, зберігання промасленого спецодягу та ганчір'я, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень; порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;

- порядок огляду й зачинення приміщень після закінчення роботи; порядок проходження посадовими особами навчання й перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення; порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, установок пожежної сигналізації, автоматичного пожежогасіння, димовидалення, вогнегасників тощо);

- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технологічного та іншого інженерного обладнання.

На кожному підприємстві має бути опрацьована загально об'єктова інструкція про заходи пожежної безпеки та інструкції для всіх вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень (дільниць, цехів, складів, майстерень, лабораторій тощо) відповідно до цих Правил. Ці інструкції мають вивчатися під час проведення протипожежних інструктажів, проходження пожежно-технічного мінімуму, а також в системі виробничого навчання і вивішуватися на видних місцях.

У будівлях та спорудах (крім житлових будинків), котрі мають два поверхи і більше, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мають бути розроблені і вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей на випадок пожежі. Необхідність забезпечення планами (схемами) евакуації одноповерхових будівель та споруд визначається місцевими органами державного пожежного нагляду, виходячи з їх пожежної небезпеки, кількості розміщуваних людей, площі тощо. На підприємствах де два поверхи й більше та перебуванням людей більше 50 осіб на доповнення до схематичного плану евакуації адміністрація зобов'язана опрацювати інструкцію, що визначає дії персоналу щодо забезпечення безпечної та швидкої евакуації людей, за якою не рідше одного разу на півроку мають проводитися практичні тренування всіх задіяних працівників. Для об'єктів, у яких передбачається перебування людей уночі, інструкції повинні передбачати два варіанти дій: у денний та нічний час.

У разі зміни планування або функціонального призначення будівель (приміщень, споруд), технології виробництва, штатного розкладу персоналу адміністрація зобов'язана забезпечити своєчасне перероблення планів евакуації та інструкцій.

На підприємстві повинен бути встановлений порядок (система) оповіщення людей про пожежу, з яким необхідно ознайомити всіх працівників. У приміщеннях на видних місцях біля телефонів слід вивішувати таблички із зазначенням номера телефону для виклику пожежної охорони.

Для працівників охорони (сторожів, вахтерів, вартових тощо) адміністрацією повинна бути розроблена інструкція, в якій необхідно визначити їхні обов'язки щодо контролю за дотриманням протипожежного режиму, огляду території і приміщень, порядок дій в разі виявлення пожежі, спрацювання засобів пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння, а також указати, хто з посадових осіб адміністрації має бути викликаний в нічний час у разі пожежі. Працівники охорони повинні мати список посадових осіб підприємства із зазначенням їх домашньої адреси, службового й домашнього телефонів. Вони зобов'язані знати порядок дій у

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



разі виявлення пожежі, правила користування первинними засобами пожежогасіння та прийоми гасіння.

Робітники, службовці, інші працівники підприємства зобов'язані:

- дотримуватися встановленого протипожежного режиму;
- виконувати вимоги правил та інших нормативних актів з питань пожежної безпеки, чинних на підприємстві;
- у разі виникнення (виявлення) пожежі діяти відповідно до вимог цих Правил.

На підприємствах із кількістю працівників 50 і більше осіб за рішенням трудового колективу створюються пожежно-технічні комісії. Їх роботу необхідно організовувати згідно з Типовим положенням про пожежно-технічну комісію, затвердженим наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 11.02.2004 N 70 та зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 19.02.2004.

Усі працівники при прийнятті на роботу і за місцем роботи повинні проходити інструктажі з питань пожежної безпеки (далі - протипожежні інструктажі). Протипожежні інструктажі поділяються на вступний, первинний, повторний на робочому місці, позаплановий та цільовий. Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, повинні попередньо (до початку самостійного виконання роботи) пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік мають проходити перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з пожежної безпеки. Порядок організації та проведення протипожежних інструктажів, навчання та перевірки знань з пожежно-технічного мінімуму встановлюється Типовим положенням про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженим наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 29.09.2003 N 368 та зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1148/8469.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навчання та перевірка знань посадових осіб з питань пожежної безпеки проводиться у порядку, встановленому законодавством.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, протипожежного інструктажу і перевірки знань з питань пожежної безпеки, забороняється.

## 6.2. Дія працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях.

Дії працівників у випадку виникнення пожежі:

Засилаючись на НАПБ А.01.001-2004. «Правила пожежної безпеки в Україні (32549)» [18] є наступна типова інструкція щодо дії працівників у випадку виникнення пожежі на підприємствах.

Пожежа - неконтрольоване горіння, що заподіює матеріальний збиток, шкоду життю і здоров'ю громадян, інтересам суспільства і держави.

Основні причини пожежі: несправності в електрообладнанні і мережах, порушення вимог технологічних регламентів проведення вогневих робіт, недотримання заходів пожежної безпеки такі як: куріння, застосування несправного обладнання, необережне поводження з вогнем.

Основні небезпечні фактори пожежі: висока температура, теплове випромінювання, зниження видимості при задимленні.

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.
- в приміщенні які горять і задимлені місця проходити швидко, затримавши подих або захистивши ніс і рот вологою щільною тканиною. У сильно задимленому приміщенні треба пригнувшись йти якщо дозволяє можливість або лягти на підлогу та повзти в напрямку виходу, адже в прилеглому до підлоги просторі повітря зберігається чистим довше.
- якщо раптом на людині загорівся одяг, їй необхідно допомогти скинути його, або згасити накинувши покривало і щільно притиснути, тому що

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмежений доступ повітря швидко припиняє горіння. Не можна допускати, щоб людина в палаючому одязі бігла.

Відповідальні 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 такі як оповіщення людей про пожежу, пожежогасіння, протидимного захисту);

- при необхідності, відключити електроенергію, за винятком систем протипожежного захисту, зупинити роботу систем вентиляції в аварійному і суміжних з ним приміщеннях.

- 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;

- забезпечити дотримання вимог безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;

- одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію і захист матеріальних цінностей;

- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони і надати допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку загорання;

- повідомити підрозділи пожежної охорони, що залучаються для гасіння пожежи та проведення пов'язаних з ними першочергових аварійно - рятувальних робіт, про небезпечні, вибухові, хімічнонебезпечні речовини, що зберігаються на об'єкті.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дія та допомога при ураженні електричним струмом [19].

Домедична допомога при ураженні струмом надається послідовно, зокрема, потрібно: усунути вплив на організм небезпечних факторів (звільнити від дії електричного струму, загасити одяг); оцінити стан потерпілого, визначити характер і важкість травми, загрозу для його життя; виконати необхідні заходи щодо порятунку потерпілого в порядку терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, провести штучне дихання, зовнішній масаж серця, зупинити кровотечу); викликати швидку медичну допомогу чи лікаря, або вжити заходів щодо транспортування потерпілого в найближчу лікувальну установу; підтримувати основні життєві функції потерпілого до прибуття медиків.

Звільнення потерпілого від дії електричного струму здійснюється шляхом відключення тієї частини електроустановки, якої торкається потерпілий.

Для відокремлення потерпілого від струмопровідних частин слід скористатися засобами захисту, канатом, дошкою або іншим сухим предметом, що не проводять електричний струм, чи відтягнути потерпілого за сухий одяг.

Для ізоляції рук, працівник котрий надає допомогу, повинен одягти діелектричні рукавички або обмотати руки сухим одягом. Можна використати для ізолювання гумовий килимок, суху дошку чи інші предмети, що не проводять електричний струм.

В усіх випадках необхідно виконувати вказівки керівництва щодо усунення наслідків аварійної ситуації.

Також до надзвичайних ситуацій відносяться виконання робіт на висоті.

Згідно з НПАОП 0.00-1.15-07 «Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті» [20] працівникові необхідно самому створювати безпечні умови для виконання висотних робіт:

- забезпечити наявність, міцність і стійкість огорожень, риштувань, настилів, драбин тощо;

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виконувати у повному обсязі організаційні та технічні заходи, передбачені цими Правилами;
- застосовувати технічно справні машини, механізми і пристрої, укомплектовані необхідною технічною документацією;
- забезпечити необхідну освітленість на робочих місцях та безпечні проходи до них;
- уживати заходи щодо усунення або зменшення впливу шкідливих та/або небезпечних факторів;

Керівництво повинно забезпечити працівників необхідними засобами захисту та використовувати їх за призначенням та урахувати метеорологічні умови, а також стан здоров'я працівників, які виконують роботи на висоті.

При виконанні бетонних робіт на висоті слід передбачати захист працівників від дії вібрації відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 (антивібраційні рукавиці та інше).

До засобів захисту від падіння з висоти належать:

- пояси запобіжні;
- каски;
- страхувальні канати;
- запобіжні верхолазні пристрої;
- уловлювачі з вертикальним канатом;
- огороження, захисні сітки, знаки безпеки тощо;
- верхолазне спорядження, яке використовується разом із вищезазначеними засобами захисту.

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз технології ремонту обладнання рухомого складу залізниць показує, що значний час (а іноді постійно) двигуни електроприводів нестандартного технологічного обладнання, які встановлені на заводі-виготовнику, працюють у суттєво недовантаженому режимі. Тому підвищення ефективності цих приводів з точки зору економії електроенергії є актуальною задачею.

2. Із всіх відомих способів підвищення електроприводів у нашому випадку, коли ми розглядаємо технологічне обладнання вже встановлене на ремонтному підприємстві, вважаємо що раціональним способом підвищення ефективності електроприводів привода є заміною недовантаженого двигуна на двигун меншої потужності.

3. Запропонована методика розрахунку для визначення двигуна меншої потужності замість суттєво недовантаженого двигуна при зміні коефіцієнта завантаження у межах  $(0,4...0,5) \leq k_{zi} < (0,7...0,75)$ .

4. З використанням запропонованої методики проведення дослідження по визначенню ефективності заміни недовантаженого двигуна для трьох найбільш поширених серій асинхронних двигунів: АИР, АИС, АМУ.

5. В якості базового при дослідженнях прийнято нерегульований електропривод мийної машини типу ММ506 для мийки тягових двигунів.

6. Дослідження показали, що при заміні недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності ефективність суттєво залежить як від значення коефіцієнта завантаження  $k_{zi}$  так й від синхронної частоти обертання  $n_c$ .

Наприклад для двигунів серії АИР при  $k_{zi} = 0,59$  та  $n_c = 3000$  об/хв зменшення втрат активної потужності при заміні недовантаженого двигуна типу АИР 180М6 потужністю 18,5 кВт двигуном типу АИР 132М2 потужністю 11 кВт маємо зменшення активних втрат у двигуні 0,536 кВт, а при  $n_c = 1000$  об/хв та двигуні з меншою потужністю типу АИР 160S6 зменшення активних втрат у двигуні складає 1,336 кВт. При

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$k_{3i} = 0,45$  зменшення активних втрат у двигуні складає відповідно 1,098 кВт (при  $n_c = 3000$  об/хв) та 2,089 кВт (при  $n_c = 1000$  об/хв).

Тобто, збільшення економії електроенергії при застосуванні двигунів з меншою потужністю з  $n_c = 1000$  об/хв замість суттєво недовантажених двигунів з  $n_c = 3000$  об/хв складає у процентах  $\frac{1,336 - 0,536}{0,536} \cdot 100\% = 149,2\%$

у першому варіанті та  $\frac{2,089 - 1,098}{1,098} \cdot 100\% = 90,2\%$  у другому варіанті.

7. При однакових усіх інших умовах зменшення втрат активної потужності при заміні суттєвого недовантаженого двигуна на менш потужний залежить також від серії двигуна. Так застосування двигуна серії АИС при  $k_{3i} = 0,45$  та  $n_c = 750$  об/хв дає збільшення економії електроенергії на  $\frac{2,495 - 2,4}{2,4} \cdot 100\% = 9,5\%$  в порівнянні з двигуном серії АИР та

$\frac{2,495 - 2,199}{2,199} \cdot 100\% = 13,46\%$  в порівнянні з двигуном серії АМУ.

8. Запропонована методика та результати проведених досліджень можуть бути використані на реальному підприємстві по ремонту рухомого складу залізниць при вирішенні задачі економії електроенергії в електроприводах технологічного обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нестандартное технологическое оборудование для ремонта локомотивов, вагонов и мотор-вагонного подвижного состава. ООО <<Транс-Атом>> [Электрон. ресурс] / Режим доступа: <https://trans-atom.com/>

2. Енергозбереження. Навіщо треба економити електроенергію [Електрон. ресурс] / Режим доступу: <https://recyclemag.ru/article/zachem-nado-ekonomit-elektro>

3. Необходимость увеличения «косинуса фи» потребителей [Электрон. ресурс]. / Режим доступа: [https://rza.org.ua/elteh/read/100--Neobhodimost-uvelicheniya--kosinusa-fi--potrebiteley\\_100.html](https://rza.org.ua/elteh/read/100--Neobhodimost-uvelicheniya--kosinusa-fi--potrebiteley_100.html)

4. Енергозбереження засобами промислового електропривода [Текст] / Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. навчальний посібн. К, Кондор. 2005 - 408 с.

5. Машина мойки (обмывки) высокого давления для тяговых электродвигателей локомотивов ММ506 [Электрон. ресурс] / Режим доступа: <http://mimaks.ru/katalog/oborudovanie-dlya-remonta-podvizhnogo-sostava-zheleznodorozhnogo-transporta/moechnoe-oborudovanie-dlya-podvizhnogo-sostava/moechnaya-mashina-tyagovyix-elektrodvigatелеj-lokomotivov.html>

6. Тяговый электродвигатель [Электрон. ресурс] / Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тяговый\\_электродвигатель#Технические\\_характеристики\\_некоторых\\_ТЭД](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тяговый_электродвигатель#Технические_характеристики_некоторых_ТЭД)

7. Предельно допустимые значения тока холостого хода для трехфазных асинхронных двигателей. [Электрон. ресурс] / Режим доступа: <https://granat-es.ru/2.-dopustimye-znacheniya-toka-holos>

8. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. ДСТУ 3886-99 [Електрон. ресурс] / Режим доступу: [http://gost-snip.su/document/dstu\\_gost\\_388699\\_energoberezhzenie\\_sistemy\\_elektroprivoda\\_me](http://gost-snip.su/document/dstu_gost_388699_energoberezhzenie_sistemy_elektroprivoda_me)

9. Таблица косинусів. [Електрон. ресурс] / Режим доступу: [http://ua.onlinemschool.com/math/formula/cosine\\_table/](http://ua.onlinemschool.com/math/formula/cosine_table/)

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



10.Таблиця тангенсів. [Електрон. ресурс] / Режим доступу: [http://ua.onlinemschool.com/math/formula/tangent\\_table/](http://ua.onlinemschool.com/math/formula/tangent_table/)

11.Технические характеристики трехфазных электродвигателей АИР [Электрон. ресурс] / Режим доступа: <https://elektroshkola.ru/elektrodvigateli/technicheskie-karakteristiki-trexfaznyh-elektrodvigatelej/>

12.Технические характеристики трехфазных электродвигателей АИС [Электрон. ресурс] / Режим доступа: [http://www.artr.ru/Motor/ArmaTrade\\_Motor\\_AnisObProm/ArmaTrade\\_Motor\\_AnisObProm\\_AIS.htm](http://www.artr.ru/Motor/ArmaTrade_Motor_AnisObProm/ArmaTrade_Motor_AnisObProm_AIS.htm)

13.Технические характеристики трехфазных электродвигателей АМУ [Электрон. ресурс] / Режим доступа: [http://tdenm.com.ua/wp/electric\\_motors/9-2](http://tdenm.com.ua/wp/electric_motors/9-2)

14.Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини [Текст] / Дубинець Л. В., Момот О. І., О. Л. Маренич. – Дніпропетровськ : ДІПТ, 2004. – 208 с.

15.Поточные линии ремонта локомотивов в депо [Текст] / Н. И. Фильков, Е. Л. Дубинский, М. М. Майзель, И. Б. Стерлин. М. : Транспорт, 1983. – 302 с.

16.Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПНАОП 0.00-1.21-98) [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>

17.Затвердження правил пожежної безпеки в Україні (31619) [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://dnaop.com/html/31619/doc-pro-zatverdzhennya-pravil-pozhezhnoji-bezpeki-v-ukrajini>

18. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні (32549) [Електрон. ресурс] / Режим доступа: [https://dnaop.com/html/32549/doc-НАПБ\\_A.01.001-2004](https://dnaop.com/html/32549/doc-НАПБ_A.01.001-2004)

19.Засоби індивідуального і колективного захисту від ураження електричним струмом [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://www.sop.com.ua/article/96-zasobi-ndivdualnogo-kolektivnogo-zahistu-vd-urajennya-elektrichnim-strumom>

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті (НПАОП 0.00-1.15-07) [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0573-07#Text>

					0024.ДМР 20.03.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		