Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕТЕМ
_____ /Андрій МУХА/
(підпис)
Дата 30.11.23

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Енергоощадність шляхом застосування енергоефективних трифазних двигунів»
за освітньою програмою: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»
зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент групи «ЕЕ2221» _____ (підпис студента) /Андрій БІЛИК/ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: _____ (підпис) /доц. Оксана МАРЕНИЧ/ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер: _____ (підпис) /доц. Оксана КАРЗОВА/ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

_____ (назва розділу) _____ (підпис) // _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (назва розділу) _____ (підпис) // _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (назва розділу) _____ (підпис) // _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (назва розділу) _____ (підпис) // _____ (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ (підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Management of energy and economic processes»

Department «Electrical engineering and electromechanics»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: «Energy saving through the use of energy-efficient three-phase motors»
according to educational curriculum «Energy and electromechanical systems in transport»
in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics»

Done by the student of the group EE2221: /Andrii BILYK/

Scientific Supervisor: /Oksana MARENYCH/

Normative controller: /Oksana KARZOVA/

Supervisors

(Chapter title heading)	/ / (position, name, surname)
(Chapter title heading)	/ / (position, name, surname)
(Chapter title heading)	/ / (position, name, surname)
(Chapter title heading)	/ / (position, name, surname)

Dnipro – 2023

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»
Кафедра: «Електротехніка та електромеханіка»
Рівень вищої освіти: магістр
Освітня програма: «Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті»
Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра
студенту Білик Андрій Олександрович
1. Тема роботи: «Енергоощадність шляхом застосування енергоефективних трифазних двигунів»
Керівник роботи: Маренич Оксана Леонідівна, доцент
затверджені наказом № 56 ст від 18.01.2023
2. Строк подання студентом роботи: 20.12.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: В якості базової серії прийняти при дослідженнях трифазні асинхронні двигуни серії АІР.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
4.1 Аналітична частина: розробити алгоритм досліджень з урахуванням технічних характеристик трифазних двигунів базової серії АІР та сучасних енергоефективних трифазних двигунів, які рекомендуються для заміни двигунів серії АІР з точки зору енергоощадності.
4.2 Основна частина: провести дослідження (розрахунки) з метою кількісної оцінки доцільності заміни двигунів серії АІР на енергоефективні
4.3 Охорона праці та безпека при аварійних ситуаціях на підприємстві: техніка безпеки при експлуатації трифазних двигунів
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Розробка алгоритму визначення сумарних активних втрат активної потужності в двигунах (1 лист);
2. Технічні характеристики електродвигунів АІР (лист 1);
3. Зведена таблиця розрахунків зменшення втрат активної потужності лист1);
4. Технічні характеристики електродвигунів різних класів енергоефективності (лист 1).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Можливі напрями енергозбереження в електроприводі.	01.09.23	5%
2	Розгляд можливих напрямків енергоощадності на виробництві.	30.09.23	10%
3	Розробка алгоритму визначення сумарних втрат активної потужності в двигунах.	15.10.23	25%
4	Провести дослідження (розрахунки) з метою кількісної оцінки доцільності заміни двигунів серії АІР на енергоефективні	15.11.23	40%
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	30.11.23	10%
6	Висновки. Графічна частина.	05.12.23	10%
7	Оформлення та подання кваліфікаційної роботи до кафедри	08.01.24	100%
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.24	

Студент _____ (підпис) Андрій БІЛИК (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____ (підпис) доц. Оксана МАРЕНИЧ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

№ ряд ка	Форм ат	Позначення	Назва	Кільк. арк.	№ екз.	Прим
1			Документація загальна			
2			Заново розроблена			
3	А4	7.141.190032.ПЗ	Пояснювальна записка	61		
4						
5			Запозичена			
6						
7			Графічна частина			
8			Заново розроблена			
9	А4	7.141.190032.01	Розробка алгоритму.	1		
10			визначення сумарних втрат			
11			активної потужності двигуна	1		
12	А4	7.141.190032.02	Технічні характеристики.			
13			електродвигунів AIP.	1		
14	А4	7.141.190032.03	Зведена таблиця розрахунків			
15			зменшення втрат активної			
16			потужності	1		
17	А4	7.141.190032.04	Технічні характеристики			
18			електродвигунів різних класів			
19			енергоефективності			
20						
21			Запозичена			
22						
23			Електронна частина			
24						

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Білик А.О.		20.12.23
Перевір.		Маренич О.Л.		20.12.23
Т. Контр.				
Реценз.				
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12.23
Затверд.		Муха А.М.		20.12.23

Пояснювальна записка

Енергощадність шляхом застосуваня енергоефективних трифазних двигунів

Літ.	Маса	Масштаб
	1	1 : 1

Арк. 5 Аркушів 88

7.141.190032.ПЗ

МОН України. УДУНТ
Кафедра «ЕТЕМ»
Група ЕЕ2221

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Енергоощадність шляхом застосування енергоефективних трифазних двигунів» містить:

- сторінки основного тексту - 61, таблиць - 3, рисунків - 3, літературних джерел - 16.

Мета роботи – дослідити доцільність застосування в якості двигунів електроприводів одношвидкісних трифазних асинхронних енергоефективних двигунів з точки зору покращення наступних показників:

– Коефіцієнт корисної дії (ККД);

– Коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$);

– Сумарні втрати активної потужності.

У розділі 1 розглядаємо можливі напрями енергоощадності на виробництві.

У розділі 2 запропонован алгоритм (методика) досліджень з урахуванням технічних характеристик трифазних двигунів базової серії АІР та сучасних енергоефективних трифазних двигунів, які рекомендуються для заміни двигунів серій АІР з точки зору енергоощадності.

У розділі 3 привели приклад розрахунків по запропонованому алгоритму зменшення активних втрат при заміні двигуна серії АІР на енергоефективний.

У розділі 4 з використанням запропонованого алгоритму проведені розрахунки з метою кількісної оцінки доцільності заміни двигунів серії АІР на енергоефективні.

У розділі 5 розглянуто питання з техніки безпеки при експлуатації трифазних двигунів та охорона праці та безпека при аварійних ситуаціях на підприємстві.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ДВИГУНИ, АЛГОРИТМ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ТРИФАЗНІ АСИНХРОННІ ДВИГУНИ

ЗМІСТ

ВСТУП 9

РОЗДІЛ 1 ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ НА ВИРОБНИЦТВІ 12

1.1 Енергоощадність засобами промислового електроприводу 12

1.2. Основні властивості енергоефективних електричних двигунів 13

1.3 Класи енергоефективності електродвигунів за ККД, електродвигуни серії AIP 17

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНИХ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ДВИГУНАХ. 20

РОЗДІЛ 3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКІВ ПО ЗАПРОПОНОВАНОМУ АЛГОРИТМУ ЗМЕНШЕННЯ АКТИВНИХ ВТРАТ ПРИ ЗАМІНІ ДВИГУНА СЕРІЇ AIP НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ 24

3.1 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP132S4 24

3.2 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 132M-04 25

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАМІНИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ СЕРІЇ AIP ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМ 27

4.1 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP71A4 27

4.2 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 80-04 (0,55 – 1410) 28

4.3 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP71B4 30

4.4 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 80-04 (0,75 – 1410) 31

					Пояснювальна записка		
					Енергощадність шляхом застосуваня енергоефективних трифазних двигунів	Літ.	Маса / Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			1 / 1 : 1
Розроб.		Білик А.О.				Арк. 7	Аркушів 88
Перевір.		Маренич О.Л.			7.141.190032.ПЗ	МОН України. УДУНТ Кафедра «ЕТЕМ» Група ЕЕ2221	
Т. Контр.							
Реценз.							
Н. Контр.		Карзова О.О.					
Затверд.		Муха А.М.					

4.5 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP80A4 33
4.6 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 90S-04 34
4.7 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP90L4 36
4.8 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 100L-04 37
4.9 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP100S4 39
4.10 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 100L-4 40
4.11 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP100L4 42
4.12 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 112M-4 43
4.13 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP112M4 45
4.14 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 132S-04 46
4.15 Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP132S4 48
4.16 Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 132M-04 49
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРИФАЗНИХ ДВИГУНІВ 52
ВИСНОВОК 58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 59
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ 61
ДОДАТОК А 62
ДОДАТОК Б 84

ВСТУП

Енергоощадність або енергоощадження (енергозберігання) – це діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економічне витрачення первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів [1].

На відмінну від енергозбереження (збереження енергії), яке головним чином направлене на зменшення споживаної енергії, енергоефективність (користь споживання) – це корисна, ефективна витрата енергії. Енергоефективність та енергозбереження є аспектами енергоощадності.

В останні роки все більше актуальними стають питання енергоощадності на виробництві. Це зумовлено безперервним збільшенням вартості електроенергії. З іншого боку зменшення енерговитрат дозволяє зменшити собівартість продукції. Одним із основних споживачів електроенергії на виробництві є електродвигуни.

У теперішній час в електроприводах різного обладнання в більшості випадків на підприємствах України застосовують загальнопромислові трифазні двигуни (в основному серії АІР). Двигуни серії АІР виробляються в Україні в значній кількості модифікацій і виконань. Їх потужність варіюється від 0,06 до 365 кВт, кількість обертів магнітного поля статора від 500 до 3000 в хвилину, напруга варіюється від 220 до 660 В [2].

Електродвигун – основа майже будь-якого промислового агрегату або верстата. Також електродвигун використовують всюди де потрібно забезпечити обробку матеріалу, привести в рух конвеєр, переміщати вироби і заготовки, зробити вентиляцію, а також організувати подачу і перекачування рідини.

Двигун, що працює на електриці, затребуваний також і в сільському господарстві. Дробарки, борошномельне обладнання, навантажувачі та

лісопилки також працюють за рахунок електроприводу. Все це зумовило широке застосування електродвигунів загальнопромислового призначення.

Трифазні загальнопромислові електродвигуни серії АІР відрізняються простотою, надійністю, придатністю до ремонту і відносно невисокою ціною, мають відповідність вітчизняним стандартам виробництва (маркування та інше).

В даній роботі при дослідженнях двигуни серії АІР прийняті в якості базових. Далі по тексту замість терміну “базові двигуни” може бути термін “двигуни основного виконання”.

Енергоефективні (енергозберігаючі) двигуни являють собою трифазні асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором.

Загальна компоновка цих двигунів аналогічна компонуванню базових двигунів. Енергоефективні двигуни – це двигуни загальнопромислового призначення, у яких сумарні втрати потужності суттєво (більше, ніж на 5%) менші сумарних втрат потужності двигунів основного виконання з нормальним ККД, тієї ж потужності та частоти обертання [2]. У енергозберігаючих двигунів зменшення втрат потужності складає декілька процентів. Наприклад, 5%, але при цьому збільшується маса заліза на 30 – 35%; міді на 20 – 25%, алюмінію на 10 – 15% [3].

Одним із показників енергоефективності двигуна є ККД (коефіцієнт корисної дії). ККД представляє відношення корисної потужності на валу двигуна, вираженої в кіловатах, до активної потужності, споживаної двигуном із мережі в кіловатах.

Перехід до застосування енергоефективних електродвигунів дозволяє:

– Підвищити ККД двигуна;
– Збільшити надійності його роботи;
– Підвищити стійкість двигуна до теплових навантажень;
– Підвищити перевантажувальну здатність;
– Підвищити коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$)
– Знизити рівень шуму;

– Підвищити стійкість до різних порушень експлуатаційних умов (напруги, незбалансованості фаз та ін.)

– Знизити експлуатаційні витрати.

Для оцінки ефективності роботи асинхронного двигуна в енергетичному аспекті використовують наступні показники:

– Коефіцієнт корисної дії (ККД);

– Коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$);

– Сумарні втрати активної потужності.

В даній роботі досліджується доцільність застосування в якості двигунів електроприводів одношвидкісних трифазних асинхронних енергоефективних двигунів з точки зору покращення вказаних показників.

Як показує аналіз літературних джерел, вказана задача поки що не вирішувалась. Тому тема роботи є актуальною.

Об’єктом дослідження є процес економії електроенергії при застосуванні енергоефективних трифазних електродвигунів в електроприводах замість базових двигунів серії АІР.

Методикою досліджень є розроблений алгоритм дослідження ефективності застосування енергоефективних трифазних асинхронних двигунів.

Наукова цінність. Вперше запропонована методика кількісної оцінки зменшення втрат активної потужності в двигуні при заміні двигуна серії АІР на енергоефективний аналогічний по кількості обертів та потужності.

Практичне значення. Отримані в роботі результати досліджень необхідні при виконанні технічно – економічних розрахунків для обґрунтування доцільності використання енергоефективних трифазних асинхронних двигунів замість аналогічних по потужності та кількості обертів двигуні серії АІР (або інших звичайних серій).

РОЗДІЛ 1
ЕНЕРГООЩАДНІСТЬ НА ВИРОБНИЦТВІ

В останні роки все більше актуальними стають питання енергоощадності на виробництві. Це зумовлено безперервним збільшенням вартості електроенергії.

З іншого боку зменшення енерговитрат дозволяє зменшити собівартість продукції. Основними споживачами електроенергії на виробництві є електродвигуни.

Тому однією із основних задач енергоощадності є зменшення втрат електричної енергії в електроприводі обладнання.

1.1 Енергоощадність засобами промислового електроприводу.

ДСТУ 3886-99 [4] поширюється на системи електроприводу з потужністю електродвигунів понад 0,5 кВт, які експлуатуються в усіх галузях національного господарства України та в побуті в режимі S1.

В [3,4,6] передбачені наступні заходи енергоощадності:

– Заміна встановленого двигуна на менш потужний;
– Підвищення ефективності виконання технологічного процесу;
– Зменшення напруги мережі живлення;
– Усунення проміжних передач;
– Вибір раціональних режимів роботи електроприводів;
– Перехід від нерегульованого електроприводу до регульованого;
– Поліпшення якості електроенергії живлення.

Згідно завдання у нашому випадку стоїть задача дослідження енергоощадності шляхом застосування енергоефективних трифазних асинхронних одношвидкісних двигунів в нерегульованих приводах, які (двигуни) працюють у режимі S1. Витрати на енергоносії – невід'ємна частина будь-якого бюджету. Постійне зростання вартості енергоресурсів може стати причиною різкого погіршення економічних показників виробництва, якщо невміло регулювати витрати (у тому числі використання енергоефективних двигунів).

На відміну від енергозбереження (збереження енергії), яке головним чином направлене на зменшення споживання енергії, енергоефективність (користь споживання) – це корисна, ефективна витрата енергії. Енергоефективність є одним аспектом енергоощадності.

Відомо, що більше половини всієї виробленої у світі електроенергії споживається електроприводами різних механізмів [3]. Тому заходи щодо економії електроенергії в електроприводах є актуальними.

1.2. Основні властивості енергоефективних електричних двигунів.

З першого липня 2021 року вступили в силу нові правила проектування електродвигунів і частотно-регульованих приводів[5].

Регламент 2019/1781 визначає вимоги екодизайну електродвигунів і приводів широкої сфери застосування (від побутових до промислових). Регламент охоплює одношвидкісні 50Гц, 60Гц або 50/60Гц асинхронні двигуни, однофазні та трифазні, потужністю від 0,12кВт до 1000Вт.

Згідно діючих норм виробники повинні виводити на ринок електродвигуни класів енергоефективності від IE2 до IE5.

Енергоефективність електродвигуна розраховується як відношення механічної вихідної потужності до вхідної електричної потужності у відсотках (%).

Технічні характеристики електродвигунів різних класів енергоефективності приведені в таблиці 1 [5].

Таблиця 1 – **технічні характеристики електромоторів різних класів енергоефективності**.

Характеристики	Клас енергоефективності			
	IE1	IE2	IE3	IE4
	Стандартна	Висока	Підвищена (Premium)	Надвисока (Superpremium)
Потужність двигун. кВт	Від 0,75 до 375	Від 0,75 до 375	Від 0,75 до 375	Від 2,2 до 230
Кількість полюсів	2,4,6,8,10,12	2,4,6	2,4,6,8	2,4,6,8
Діапазон швидкостей, об/хв	Від 500 до 3600	Від 1000 до 3600	Від 750 до 3600	Від 750 до 3600
ККД (при середній швидкості 1500 об/хв)	72,1%-94%	79,6%-95,1%	82,5%-95%	85,7%-96,7%
Клас захисту	IP55,IP56, IP65,IP66	IP55,IP56, IP65,IP66	IP55,IP56, IP65,IP66	IP55,IP56, IP65,
Режим роботи двигуна	S1	S1	S1,S2,S3	S1

При дослідженнях приймаємо режим роботи двигуна S1.

S1- робота при постійному навантаженні протягом достатнього часу для термічної рівноваги, яку потрібно досягнути (безперервна робота).

Рівень енергоефективності виражається в Міжнародних класах енергоефективності (IE) IE1- нижній клас, а IE5- найвищій.

У теперішній час серійно випускаються двигуни з класами енергоефективності IE2 та IE3. З метою кількісної оцінки максимального зменшення втрат в даній роботі передбачається для заміни застосування двигунів класу IE3. Поки що двигуни класу IE4 та IE5 на етапі підготовки до серійного виробництва.

Електродвигуни з класом IE2 і вище споживають при однакових показниках потужності на валу менше електроенергії в порівнянні з електродвигунами класу IE1.

Крім економії електроенергії, застосування енергоефективних електричних двигунів дозволяє:

– збільшити ККД та $\cos\varphi$ двигуна;

– збільшити термін служби двигуна і обладнання в цілому;

– знизити рівень шуму на підприємстві;

– покращити перевантажувальну здатність двигуна;

– підвищити стійкість двигуна до теплових перевантажень та змін умов експлуатації;

При заміні двигуна класу IE1 на клас IE2 економія за рік складає декілька тисяч гривень за рахунок економії електроенергії [5].

Двигуни класу енергоефективності IE1 виготовляються тільки під замовлення.

Енергоєфективні двигуни мають підвищений ККД за рахунок:

– Збільшення маси активних матеріалів (мідної обмотки статора та холоднокатаної сталі);

– Застосування електротехнічної сталі з покращеними магнітними властивостями та зменшеними магнітними втратами;

– Зменшення повітряного зазору між ротором та статором за допомогою високотехнічного обладнання;

– Оптимізація зубцово-пазової зони магнітопроводу та конструкції обмоток;

– Використання ізоляції з підвищеною теплопровідністю та електричною міцністю, що знижує температуру обмоток і продовжує термін служби ізоляції;

– Використання спеціальної конструкції вентилятора для зниження вентиляційних втрат;

– Застосування підшипників та мастил вищої якості.

Розглянемо взаємодію ККД та $\cos\varphi$

ККД(η) дорівнює [8]:

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

де P_2 – корисна потужність на валу електродвигуна;

P_1 – активна потужність споживана електродвигуном з мережі;

ΔP – сумарні втрати, що виникають в електродвигуні.

Чим вище ККД (і відповідно нижче втрати), тим менше енергії споживає електродвигун з мережі для створення тієї ж потужності P_2.

Енергоефективність електродвигуна характеризує також коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$). Коефіцієнт потужності визначає частину активної потужності P в повній потужності S, що надходить в електродвигун із мережі.

$$P=S\cdot\cos\varphi. \quad (2)$$

Лише активна потужність P перетворюється на корисну потужність на валу.

$$S=\sqrt{P^2+Q^2}, \quad (3)$$

Де Q – реактивна потужність.

Із форм.(3):

$$Q=\sqrt{S^2-P^2}. \quad (4)$$

Реактивна потужність надходить в електродвигун і повертається назад у мережу з подвоєною частотою мережі $2f$, створюючи у лініях, що підводять електроенергію, додаткові втрати.

Якщо $\cos\varphi$ високе, то згідно (2) P теж високе, а згідно (4) Q зменшується і відповідно додаткові втрати в лініях зменшуються.

Таким чином, система що складається з двигунів з високим ККД, але низьким значенням $\cos\varphi$, не може вважатися енергоефективна.

1.3 Класи енергоефективності електродвигунів за ККД, електродвигуни серії АІР

З 1998 року встановлена наступна класифікація ККД електродвигунів [8]

EFF3 – електродвигун з низьким ККД;

EFF2 – електродвигун з поліпшеним ККД;

EFF1 – електродвигун з підвищеним ККД.

У 2009 році у країнах ЕС розроблений стандарт EN60034-30:2009

«Машини електричні обертові. Частина 30. Класи ефективності одношвидкісних, трифазних, асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором (код IE)», згідно з яким класифікацію ККД електродвигунів замінюється на наступну нову:

– IE1 – «стандартний клас ККД (аналог EFF2);
– IE2 – «підвищений» клас ККД (аналог EFF1);
– IE3 – «преміум» клас ККД;
– IE4 – «супер-преміум» клас ККД.

Стара європейська класифікація EFF3, EFF2, EFF1 поступово, витіснятиметься новою.

У теперішній час в Україні широко застосовуються електродвигуни звичайного (основного) виконання загальнопромислові трифазні серії АІР. Ці двигуни відрізняються простотою, надійністю, придатністю до ремонту і невисокою ціною.

Рис. 1 – Електродвигун AIP 112M4

Завдяки цьому тип AIP затребуваний і застосовується для приводів конвеєрів, верстатів, систем вентиляції, кранової техніки, компресорів, насосів і т.д.

Потужність варіюється від 0,06 до 315кВт; кількість обертів від 500 до 3000 в хвилину; напруга варіюється від 220 до 660В.

Один із основних недоліків двигунів типу AIP – відносно велике споживання електроенергії.

Наша задача в даній роботі провести дослідження з метою розробки рекомендацій по заміні при проектуванні та експлуатації двигунів AIP на енергоефективні.

Енергоефективні двигуни – це двигуни загально промислового призначення, у яких сумарні втрати потужності суттєво (більше ніж на 5%) менші, сумарних втрат потужності двигунів серії AIP основного виконання з нормальним ККД тієї ж потужності та частоти обертання [2].

Рис. 2 – Енергоефективний двигун WEG W22 Premium 132S-04

Також є ще енергозберігаючі двигуни, у яких зменшення втрат потужності – декілька процентів в порівнянні з двигунами серії AIP.

Наприклад, 5% при збільшенні маси заліза на 35%, міді на 20-25%, алюмінію на 10-15% [3].

Таким чином, при виборі енергоефективного двигуна замість двигуна серії AIP можна дати наступні рекомендації:

1. Обраний енергоефективний двигун повинен бути тієї ж потужності і з той же кількістю оборотів за хвилину, що й відповідний двигун серії AIP.

2. При можливості енергоефективний двигун обирати з більшим ККД та $\cos\varphi$.

3. Третім показником комплексної енергооцінки енергоефективного двигуна є втрати активної потужності, які повинні бути більше ніж на 5% менші, в порівнянні з двигуном серії AIP.

Для визначення втрат активної потужності у двигунах потрібна методика (алгоритм), розробкою якої займемося нижче.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНИХ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ДВИГУНАХ

Алгоритм пропонується відповідно [3,4]:

1. Згідно ДСТУ 3886-99 в нашому випадку (потужності двигунів однакові) приймаємо:

$$(0,7\ldots0,75) \le k_{зі} \le 0,9, \tag{5}$$

$k_{зі}$ – коефіцієнт завантаження електродвигуна

Приймаємо $k_{зі} = 0,8$.

2. Параметри двигуна серії АІР позначимо індексом “1”, параметри енергоефективного двигуна індексом “2”.

3 Визначити втрати активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу встановленого двигуна серії АІР.

$$\Delta P_{хх1} = \sqrt{3} \cdot I_{хх1} \cdot U_{н1} \cdot \cos\varphi_{хх1} \cdot 10^{-3} \text{ кВт}, \tag{6}$$

де $I_{хх1}$ – струм холостого ходу встановленого двигуна серії АІР;

$U_{н1}$ – номінальна напруга цього двигуна, $U_{н_1} = 380$ В.

$\cos\varphi_{хх1}$ – коефіцієнт потужності встановленого двигуна серії АІР в режимі холостого ходу.

Приймаємо $\cos\varphi_{хх1} = 0,15$

$$I_{хх1} = k_{хх} I_{н1}, \tag{7}$$

де $k_{хх}$ – коефіцієнт, який залежить від потужності двигуна серії АІР і його частоти обертання. (додаток А)

Частоту обертання магнітного поля статора двигунів при дослідженнях приймаємо 1500 об/хв.

4. Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у двигуні серії АІР:

$$\Delta P_{\sum 1} = \left(Q_{хх1}\left(1 - k_{з1}^2\right) + k_{з1}^2 \cdot Q_{н1} \right) \cdot k_е + \Delta P_{хх1} + k_{з1}^2 \cdot \Delta P_{зб1}, \tag{8}$$

де $Q_{\text{хх1}}$, квар – реактивна потужність, яку споживає двигун серії АІР із мережі при холостому ході;

$Q_{\text{н1}}$, квар – реактивна потужність, яку споживає двигун із мережі при номінальному навантаженні.

$$Q_{\text{хх1}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{хх1}} \cdot U_{\text{н}} \cdot 10^{-3}, \tag{9}$$

$$Q_{\text{н1}} = P_{\text{н1}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{н1}} / \eta_{\text{н1}}, \tag{10}$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{н1}} = \text{tg}\left(\arccos\varphi_{\text{н1}}\right), \tag{11}$$

де $\cos\varphi_{\text{н1}}$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна серії АІР;

$k_{\text{е}}$ – коефіцієнт збільшення втрат або економічний еквівалент, що визначає втрати активної потужності на передавання одного квар реактивної потужності в даній системі електропостачання.

$k_{\text{е}} = 0{,}125$ кВт/квар для низьковольтних споживачів, якими є двигуни серії АІР та двигуни енергоефективності [4].

$\Delta P_{\text{зб1}}$ – збільшення втрат активної потужності в двигуні серії АІР за навантаженням 100%.

$$\Delta P_{\text{зб1}} = P_{\text{н1}} \frac{1-\eta_{\text{н1}}}{\eta_{\text{н1}}} \cdot \frac{1}{1+\gamma_{1}}, \tag{12}$$

де γ_{1} – розрахунковий коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна

$$\gamma_{1} = \frac{\Delta P^{*}_{\text{хх1}}}{100\left(1-\eta_{\text{н1}}\right) - \Delta P^{*}_{\text{хх1}}}, \tag{13}$$

$$\text{де } \Delta P^{*}_{\text{хх1}} = \frac{\Delta P_{\text{хх1}}}{P_{\text{н1}}} \cdot 100\%. \tag{14}$$

5. Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 2}$ активної потужності в двигуні енергоефективному розраховуються аналогічно. Тільки в формулах індекс “1” замінюється на індекс “2”.

Зменшення втрат активної потужності ΔP_1, при заміні двигуні серії AIP на енергоефективний двигун складає:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\sum 1} - \Delta P_{\sum 2}. \quad (15)$$

6. Зменшення втрат активної потужності у процентах:

$$\Delta P_1(\%) = (\Delta P_1 / \Delta P_{\sum 1}) \cdot 100\%. \quad (16)$$

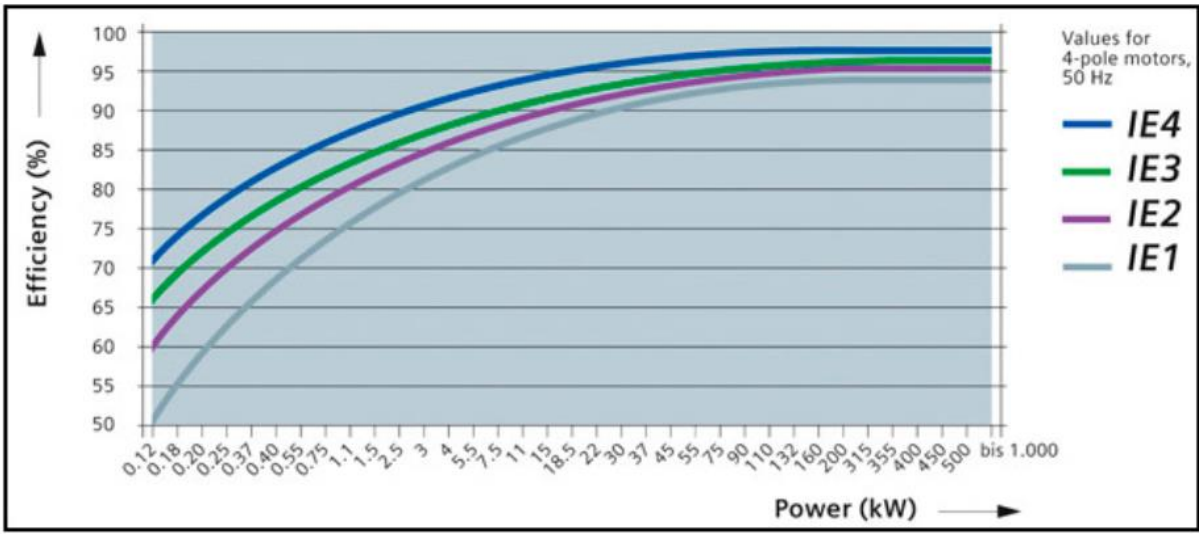

Рис. 3 – Показники енергоефективності при різних значеннях потужності [5]

Із рисунка 3 видно, що при потужностях більше 75 кВт енергоефективність двигунів з класами IE3 та IE2 практично однакові (відповідні криві майже збігаються). Тому для дослідження приймаємо інтервал від 0,55 (оскільки ДСТУ 3886 – 99 передбачає потужність двигунів більше, ніж 0,5 кВт) до 55 кВт. В якості базових приймаємо двигуни загальнопромислові звичайні серії AIP [2]. Потрібні для дослідження параметри наведені в таблиці.

Таблиця 2 – **Технічні характеристики електродвигунів AIP**

Тип електродвигуна	Номінальний струм при 380В	Потужність	Частота обертання	ККД	Cos φ	Mпуск Mн	Mmax Mн	Iпуск Iн	Максимально допустимий рівень звукової потужності Lw	Масса	Динамічний момент інерції ротора
–	A	кВт	об/хвл	%	–	–	–	–	Дб(А)	–	кг*м²
AIP 71A4	1.57	0.55	1390	71.0	0.75	2.4	2.3	5.2	58	8.4	0.0010
AIP 71B4	2.05	0.75	1390	73.0	0.76	2.3	2.3	6.0	58	10.0	0.0015
AIP 80A4	2.85	1.1	1390	76.2	0.77	2.3	2.3	6.0	61	14.0	0.0028
AIP 80B4	3.72	1.5	1400	78.5	0.78	2.3	2.3	6.0	61	16.0	0.0034
AIP 90L4	5.1	2.2	1410	80.0	0.81	2.3	2.3	7.0	64	17.0	0.0056
AIP 100S4	6.8	3.0	1410	82.6	0.82	2.3	2.3	7.0	64	21.0	0.0100
AIP 100L4	8.8	4.0	1435	84.2	0.82	2.3	2.3	7.0	65	37.0	0.0130
AIP 112M4	11.7	5.5	1440	85.7	0.83	2.3	2.3	7.0	71	45.0	0.0236
AIP 132S4	15.6	7.5	1450	87.0	0.84	2.3	2.3	7.0	71	52.0	0.0227
AIP 132M4	22.5	11.0	1460	88.4	0.84	2.2	2.3	7.0	75	60.0	0.0349
AIP 160S4	30.0	15.0	1460	89.4	0.85	2.2	2.3	7.5	75	125	0.0600
AIP 160M4	36.3	18.5	1470	90.0	0.86	2.2	2.3	7.5	76	142	0.0650
AIP 180S4	43.2	22.0	1470	90.5	0.86	2.2	2.3	7.5	76	160	0.0700
AIP 180M4	57.6	30.0	1470	91.4	0.86	2.2	2.3	7.2	76	190	0.0800
AIP 200M4	70.2	37.0	1475	92.0	0.87	2.2	2.3	7.2	79	230	0.1500
AIP 200L4	84.9	45.0	1475	92.5	0.87	2.2	2.3	7.2	81	260	0.1800
AIP 225M4	103	55.0	1480	93.0	0.87	2.2	2.3	7.2	81	325	0.2000

РОЗДІЛ 3
ПРИКЛАД РОЗРАХУНКІВ ПО ЗАПРОПОНОВАНОМУ АЛГОРИТМУ ЗМЕНШЕННЯ АКТИВНИХ ВТРАТ ПРИ ЗАМІНІ ДВИГУНА СЕРІЇ АІР НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ

3.1. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP132S4

$P_{н_1} = 7,5$ кВт; $I_{н_1} = 15,6$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 87,0\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0,84$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1450$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0,6 \cdot 15,6 = 9,36 \text{ А};$$

$$k_{хх} = 0,6$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 9,36 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,923 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 9,36 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 6,153 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{н_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,84\right) = 0,645.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{7,5 \cdot 0,645}{0,87} = 5,56 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{хх1} = \frac{0,923}{7,5} \cdot 100\% = 12,3\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{12,3}{100(1-0,87)-12,3} = 17,57.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_1} = 7,5 \cdot \frac{1-0,87}{0,87} \cdot \frac{1}{1+17,57} = 0,06 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(6,153 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 5,56\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,923 + 0,8^2 \cdot 0,06 = 1,686$$

3.2. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 132M-04

$P_{\text{Н}_2} = 7,5$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 14,4$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 91,2\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0,87$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1460$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0,6 \cdot 14,4 = 8,64 \text{ А;}$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0,6$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 8,64 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,853 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 8,64 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 5,686 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,87\right) = 0,5774$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{7,5 \cdot 0,5774}{0,912} = 4,748 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх}_2} = \frac{0,853}{7,5} \cdot 100\% = 11,36\% .$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{11,36}{100(1-0,912)-11,36} = -4,4\% .$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 7,5 \cdot \frac{1-0,912}{0,912} \cdot \frac{1}{1+(-4,4)} = -0,21 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(5,686 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 4,748\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,853 + 0,8^2 \cdot (-0,21) = 1,354$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 6,151 - 1,354 = 0,332 .$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,332}{1,357} \cdot 100\% = 24,4\%.$$

РОЗДІЛ 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАМІНИ АСИНХРОНИХ ДВИГУНІВ СЕРІЇ АІР ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ

4.1. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP71A4

$P_{\text{Н}_1} = 0,55$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 1,57$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 71\%$; $\cos\varphi_{\text{Н}_1} = 0,75$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1390$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх1}}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0,75 \cdot 1,57 = 1,17 \text{ А};$$

$$k_{\text{хх}} = 0,75.$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 1,17 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,115 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 1,17 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 0,771 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,75\right) = 0,881.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{0,55 \cdot 0,881}{0,71} = 0,682 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх1}} = \frac{0,115}{0,55} \cdot 100\% = 28,1\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{28,1}{100\left(1 - 0,71\right) - 28,1} = 31,2.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_1} = 0,55 \cdot \frac{1-0,71}{0,71} \cdot \frac{1}{1+31,2} = 0,006 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(0,771 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 0,682\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,115 + 0,8^2 \cdot 0,006 = 0,208$$

4.2. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 P 80-04 (0,55 – 1410)

$P_{\text{Н}_2} = 0,55$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 1,28$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 78,9\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0,83$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1410$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_2} = 0,75 \cdot 1,28 = 0,96 \text{ А;}$$

$$k_{\text{хх}} = 0,75$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 0,96 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,094 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 0,96 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 0,631 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,83\right) = 0,672$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{0,55 \cdot 0,672}{0,789} = 0,468 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх}_2} = \frac{0,094}{0,55} \cdot 100\% = 17,09\% .$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{17,09}{100(1-0,789)-17,09} = 4,26\% .$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 0,55 \cdot \frac{1-0,789}{0,789} \cdot \frac{1}{1+4,26} = 0,027 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(0,631 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 0,468 \right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,094 + 0,8^2 \cdot 0,027 = 0,177$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 0,208 - 0,177 = 0,031$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,031}{0,208} \cdot 100\% = 14,9\%.$$

4.3. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP71B4

$P_{\text{Н}_1} = 0,75$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 2,05$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 73\%$; $\cos\varphi_{H_1} = 0,76$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1390$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх1}}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0,7 \cdot 2,05 = 1,43 \text{ А};$$

$$k_{\text{хх}} = 0,7.$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 1,43 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,141 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 1,43 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 0,941 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,76\right) = 0,855.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{0,75 \cdot 0,855}{0,73} = 0,878 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх}_1} = \frac{0,141}{0,75} \cdot 100\% = 18,8\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{18,8}{100\left(1 - 0,73\right) - 18,8} = 2,2\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 0,75 \cdot \frac{1 - 0,73}{0,73} \cdot \frac{1}{1 + 2,2} = 0,086 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(0,941 \cdot \left(1 - 0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 0,878\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,141 + 0,8^2 \cdot 0,086 = 0,308$$

4.4. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 80-04 (0,75 – 1410)

$P_{\text{Н}_2} = 0,75$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 1,66$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 81,7\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0,84$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1410$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0,7 \cdot 1,66 = 1,16 \text{ А};$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0,7$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 1,16 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,114 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 1,16 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 0,763 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,84\right) = 0,645$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{0,75 \cdot 0,645}{0,817} = 0,59 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{0,114}{0,75} \cdot 100\% = 15,2\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{15,2}{100(1-0,817)-15,2} = 4,9\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 0,75 \cdot \frac{1-0,817}{0,817} \cdot \frac{1}{1+4,9} = 0,028 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\Sigma_2} = \left(0,763 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 0,59\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,114 + 0,8^2 \cdot 0,028 = 0,213$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 0,308 - 0,213 = 0,095$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,095}{0,308} \cdot 100\% = 30,8\%.$$

4.5. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP80A4

$P_{н_1} = 1{,}1$ кВт; $I_{н_1} = 2{,}85$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 76{,}2\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0{,}77$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1390$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0{,}7 \cdot 2{,}85 = 1{,}995 \text{ А};$$

$$k_{хх} = 0{,}7$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 1{,}995 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}197 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 1{,}995 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 1{,}313 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{н_1} = \operatorname{tg}(\arccos 0{,}77) = 0{,}829.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{1{,}1 \cdot 0{,}829}{0{,}762} = 1{,}196 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{хх1} = \frac{0{,}197}{1{,}1} \cdot 100\% = 17{,}91\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{17{,}91}{100(1 - 0{,}762) - 17{,}91} = 3{,}041.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 1{,}1 \cdot \frac{1 - 0{,}762}{0{,}762} \cdot \frac{1}{1 + 3{,}041} = 0{,}085 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(0,313 \cdot \left(1 - 0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 1,196\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,197 + 0,8^2 \cdot 0,085 = 0,406$$

4.6. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 90S-04

$P_{н_2} = 1,1$ кВт; $I_{н_2} = 2,39$ А (при 380 В); $\eta_{н_2} = 84,3\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0,83$; $U_н = 380$ В, $n_{н_2} = 1450$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_2} = 0,7 \cdot 2,39 = 1,673 \text{ А;}$$

$$k_{хх} = 0,7$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_2} = \sqrt{3} \cdot 1,673 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,165 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_2} = \sqrt{3} \cdot 1,673 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 1,101 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{н_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,83\right) = 0,672.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_2} = \frac{1,1 \cdot 0,672}{0,843} = 0,877 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{хх_2} = \frac{0,165}{1,1} \cdot 100\% = 15,0\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{15}{100(1-0,843)-15} = 21,429\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 1,1 \cdot \frac{1-0,843}{0,843} \cdot \frac{1}{1+21,429} = 0,009 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(0,101 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 0,877\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,165 + 0,8^2 \cdot 0,009 = 0,290$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 0,406 - 0,290 = 0,116$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,116}{0,406} \cdot 100\% = 28,57\%.$$

4.7. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP90L4

$P_{н_1} = 2,2$ кВт; $I_{н_1} = 5,1$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 80,0\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0,81$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1410$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна двигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0,65 \cdot 5,1 = 3,315 \text{ А};$$

$$k_{хх} = 0,65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 3,315 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,327 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 3,315 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 2,181 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{н_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,81\right) = 0,724.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{2,2 \cdot 0,724}{0,8} = 1,991\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{хх1} = \frac{0,327}{2,2} \cdot 100\% = 14,86\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{14,86}{100\left(1 - 0,8\right) - 14,86} = 2,891.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 2,2 \cdot \frac{1 - 0,8}{0,8} \cdot \frac{1}{1 + 2,891} = 0,141 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(2{,}181 \cdot \left(1 - 0{,}8^2 \right) + 0{,}8^2 \cdot 1{,}991 \right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0{,}125 + 0{,}327 + 0{,}8^2 \cdot 0{,}141 = 0{,}675$$

4.8. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 100L-04

$P_{\text{н}_2} = 2{,}2$ кВт; $I_{\text{н}_2} = 4{,}66$ А (при 380 В); $\eta_{\text{н}_2} = 86{,}5\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0{,}83$; $U_{\text{н}} = 380$ В, $n_{\text{н}_2} = 1430$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_2} = 0{,}65 \cdot 4{,}66 = 3{,}029 \text{ А;}$$

$$k_{\text{хх}} = 0{,}65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 3{,}029 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}299 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_2} = \frac{2{,}2 \cdot 0{,}672}{0{,}865} = 1{,}709\% \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}83\right) = 0{,}672$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{н}_2} = \frac{2{,}2 \cdot 0{,}672}{0{,}865} = 1{,}709\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{хх}_2} = \frac{0{,}299}{2{,}2} \cdot 100\% = 13{,}59\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{13,59}{100(1-0,865)-13,59} = -151\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 2,2 \cdot \frac{1-0,865}{0,865} \cdot \frac{1}{1-151} = -0,002 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(1,709 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 1,709\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,299 + 0,8^2 \cdot (-0,002) = 0,511$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 0,675 - 0,511 = 0,164$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,164}{0,675} \cdot 100\% = 24,3\%.$$

4.9. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP100S4

$P_{Н_1} = 3{,}0$ кВт; $I_{Н_1} = 6{,}8$ А (при 380 В); $\eta_{Н_1} = 82{,}6\%$; $\cos\varphi_{Н_1} = 0{,}82$; $U_Н = 380$ В, $n_{Н_1} = 1410$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0{,}65 \cdot 6{,}8 = 4{,}42 \text{ А};$$

$$k_{хх} = 0{,}65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 4{,}42 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}436 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 4{,}42 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 2{,}909 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{Н_1} = \operatorname{tg}\left(\arccos 0{,}82\right) = 0{,}698.$$

За формулою (10):

$$Q_{Н_1} = \frac{3 \cdot 0{,}698}{0{,}826} = 2{,}535 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{хх1} = \frac{0{,}436}{3} \cdot 100\% = 14{,}53\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{14{,}53}{100\left(1 - 0{,}826\right) - 14{,}53} = 5{,}063.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 3 \cdot \frac{1 - 0{,}826}{0{,}826} \cdot \frac{1}{1 + 5{,}063} = 0{,}104 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(2{,}909 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 2{,}535\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0{,}125 + 0{,}436 + 0{,}8^2 \cdot 0{,}104 = 0{,}836$$

4.10. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 100L-4

$P_{\text{н}_2} = 3{,}0$ кВт; $I_{\text{н}_2} = 6{,}28$ А (при 380 В); $\eta_{\text{н}_2} = 87{,}5\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0{,}83$; $U_{\text{н}} = 380$ В, $n_{\text{н}_2} = 1430$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_2} = 0{,}65 \cdot 6{,}28 = 4{,}082 \text{ А;}$$

$$k_{\text{хх}} = 0{,}65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 4{,}082 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}403 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 4{,}082 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 2{,}687 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}83\right) = 0{,}672$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{н}_2} = \frac{3 \cdot 0{,}672}{0{,}875} = 2{,}304 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{хх}_2} = \frac{0{,}403}{3} \cdot 100\% = 13{,}43\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{13,43}{100(1-0,875)-13,43} = -14,44\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 3 \cdot \frac{1-0,875}{0,875} \cdot \frac{1}{1-14,44} = -0,032 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(2,687 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 2,304\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,403 + 0,8^2 \cdot (-0,032) = 0,688$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 0,836 - 0,688 = 0,148$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,148}{0,836} \cdot 100\% = 17,70\%.$$

4.11. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP100L4

$P_{\text{Н}_1} = 4,0$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 8,8$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 84,2\%$; $\cos\varphi_{H_1} = 0,82$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1435$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх1}}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0,65 \cdot 8,8 = 5,72 \text{ А};$$

$$k_{\text{хх}} = 0,65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 5,72 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,565 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 5,72 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 3,76 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,82\right) = 0,698.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{4,0 \cdot 0,698}{0,842} = 3,32 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх1}} = \frac{0,565}{4,0} \cdot 100\% = 14,1\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{14,1}{100\left(1 - 0,842\right) - 14,1} = 8,29.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_1} = 4,0 \cdot \frac{1 - 0,842}{0,842} \cdot \frac{1}{1 + 8,29} = 0,081 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(3,76 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 3,31\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 0,565 + 0,8^2 \cdot 0,081 = 1,052$$

4.12. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 112M-04

$P_{н_2} = 4,0$ кВт; $I_{н_2} = 8,0$ А (при 380 В); $\eta_{н_2} = 88,5\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0,83$; $U_н = 380$ В, $n_{н_2} = 1445$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_2} = 0,65 \cdot 8 = 5,2 \text{ А;}$$

$$k_{хх} = 0,65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_2} = \sqrt{3} \cdot 5,2 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,513 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_2} = \sqrt{3} \cdot 5,2 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 3,42 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{н_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,83\right) = 0,672.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_2} = \frac{4 \cdot 0,672}{0,885} = 3,04 \text{ квар}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{хх_2} = \frac{0,513}{4} \cdot 100\% = 12,8\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{12,8}{100(1-0,885)-12,8} = -9,85\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 4 \cdot \frac{1-0,885}{0,885} \cdot \frac{1}{1+(-9,85)} = -0,059 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(3,42 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 3,04\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,513 + 0,8^2 \cdot (-0,059) = 0,872$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 1,052 - 0,872 = 0,18$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,18}{1,052} \cdot 100\% = 17,11\%.$$

4.13. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP112M4

$P_{\text{Н}_1} = 5{,}5$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 11{,}7$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 85{,}7\%$; $\cos\varphi_{H_1} = 0{,}83$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1440$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх1}}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0{,}65 \cdot 11{,}7 = 7{,}6 \text{ А};$$

$$k_{\text{хх}} = 0{,}65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 7{,}6 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}75 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 7{,}6 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}83\right) = 0{,}672.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}672}{0{,}857} = 4{,}3 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх}_1} = \frac{0{,}75}{5{,}5} \cdot 100\% = 13{,}6\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{13{,}6}{100\left(1 - 0{,}857\right) - 13{,}6} = 19{,}4\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 5{,}5 \cdot \frac{1 - 0{,}857}{0{,}857} \cdot \frac{1}{1 + 19{,}4} = -0{,}049 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(5 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 4{,}3\right) \cdot$$

$$\cdot 0{,}125 + 0{,}75 + 0{,}8^2 \cdot (-0{,}049) = 1{,}287 \text{ кВт.}$$

4.14. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 132S-04

$P_{\text{Н}_2} = 5{,}5$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 10{,}7$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 89{,}8\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0{,}86$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1460$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0{,}65 \cdot 10{,}7 = 6{,}9 \text{ А;}$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0{,}65$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 6{,}9 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}681 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 6{,}9 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 4{,}5 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}86\right) = 0{,}593.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}593}{0{,}898} = 3{,}6 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{0{,}681}{5{,}5} \cdot 100\% = 12{,}38\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{12,38}{100(1-0,898)-12,38} = -5,678\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 5,5 \cdot \frac{1-0,898}{0,898} \cdot \frac{1}{1+(-5,678)} = -0,133 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(4,5 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 3,6\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,681 + 0,8^2 \cdot (-0,133) = 1,086$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 1,287 - 1,086 = 0,201$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,201}{1,287} \cdot 100\% = 15,6\%.$$

4.15. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP132S4

$P_{\text{Н}_1} = 7,5$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 15,6$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 87,0\%$; $\cos\varphi_{H_1} = 0,84$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1450$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх1}}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0,6 \cdot 15,6 = 9,36 \text{ А};$$

$$k_{\text{хх}} = 0,6$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 9,36 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 0,923 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 9,36 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 6,153 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,84\right) = 0,645.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{7,5 \cdot 0,645}{0,87} = 5,56 \text{ квар}.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх1}} = \frac{0,923}{7,5} \cdot 100\% = 12,3\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_{1} = \frac{12,3}{100\left(1 - 0,87\right) - 12,3} = 17,57.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_1} = 7,5 \cdot \frac{1 - 0,87}{0,87} \cdot \frac{1}{1 + 17,57} = 0,06 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(6{,}153 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 5{,}56\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0{,}125 + 0{,}923 + 0{,}8^2 \cdot 0{,}06 = 1{,}686$$

4.16. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 132M-04

$P_{\text{Н}_2} = 7{,}5$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 14{,}4$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 91{,}2\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0{,}87$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1460$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0{,}6 \cdot 14{,}4 = 8{,}64 \text{ А;}$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0{,}6$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 8{,}64 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 0{,}853 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 8{,}64 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 5{,}686 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}87\right) = 0{,}5774.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{7{,}5 \cdot 0{,}5774}{0{,}912} = 4{,}748 \text{ квар.}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{0{,}853}{7{,}5} \cdot 100\% = 11{,}36\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{11,36}{100(1-0,912)-11,36} = -4,4\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 7,5 \cdot \frac{1-0,912}{0,912} \cdot \frac{1}{1+(-4,4)} = -0,21 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(5,686 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 4,748\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 0,853 + 0,8^2 \cdot (-0,21) = 1,354$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 6,151 - 1,354 = 0,333$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,333}{1,357} \cdot 100\% = 24,4\%.$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 3, інші розрахунки наведені у додатку А.

Таблиця 3 – **Зведена таблиця розрахунків зменшення втрат активної потужності**

№	Потужність кВт	Зменшення активних втрат кВт	Зменшення активних втрат у %,
1	0,55	0,031	14,9
2	0,75	0,095	30,8
3	1,1	0,116	28,57
4	2,2	0,164	24,3
5	3,0	0,148	17,70
6	4,0	0,18	17,11
7	5,5	0,201	15,6
8	7,5	0,333	24,4
9	11,0	0,32	13,7
10	15,0	0,349	11,95
11	18,5	0,347	10,06
12	22,0	0,453	11,2
13	30,0	0,48	9,4
14	37,0	0,694	11,6
15	55,0	1,053	13,4

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРИФАЗНИХ ДВИГУНІВ

При використанні енергоефективних трифазних двигунів важливо дотримуватися високих стандартів безпеки, щоб уникнути травм і зберегти надійність обладнання.

Безпечна експлуатація електроприводу цієї машини та машини в цілому визначається НПАОП 40.1-1.21-98 ‹‹Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів›› [9] з урахуванням того, що цей електропривод відноситься до електроустановок споживачів напругою до 1000 В.

В цих правилах викладені основні вимоги щодо забезпечення безпеки працівників під час експлуатації електроустановок. Заходи додаткового підвищення безпеки, які передбачаються безпосередньо на місці проведення не повинні суперечити цим правилам або послаблювати їх дію.

Перед тим як приступити до будь-якої роботи по обслуговуванню електроприводу, необхідно перевірити стан захисного заземлення при знятій напрузі. У відсутності напруги на електроприводі впевнюються за допомогою покажчика напруги. При наближенні покажчика до частини електропривода, яка завідома знаходиться під напругою, він повинен підтверджувати наявність напруги.

При оглядах елементів працюючого електроприводу не слід наближатися до струмоведучих частин. Необхідно проявляти обережність при очищуванні елементів електроприводу, тому що такі роботи, що виконуються без зняття напруги, створюють небезпеку для виконавця. Слід враховувати, що небезпека, яка викликається порушенням правил техніки безпеки, при обслуговуванні електроприводів миючих машин збільшується, оскільки навколо машини підвищена вологість повітря.

Без зняття напруги з електроустановки, але з дотриманням мір обережності можна при експлуатації виконувати такі роботи, як чистку та обтирку корпусів електрообладнання, заміну запобіжників.

Ремонтні роботи в електродвигунах, а також заміну плавких вставок відкритого типу, дозволяється виконувати одній особі після попереднього відімкнення електродвигуна або апарата від джерел живлення не менш ніж в двох місцях (наприклад, на щиті і безпосередньо на місці роботи) рубильником зі зняттям запобіжників. Щоб запобігти помилковій подачі напруги, персонал, що виконав відімкнення, повинен вивісити попереджувальний плакат «Не вмикати – працюють люди» на ручках відімкнених апаратів, за допомогою яких може бути подано напругу. По закінченні робіт плакати знімають. Якщо вказане відключення не може бути виконано, то ремонтні роботи виконуються двома особами.

Ручне керування пусковими пристроями, що мають відкриті струмопровідні частини, виконують у діелектричних рукавицях, а перед пусковими пристроями кладуть ізолюючі підкладки. Це зумовлено тим, що ручне керування за допомогою пристроїв, що мають відкриті струмопровідні частини, при не дотриманні правил техніки безпеки являють собою небезпеку для обслуговуючого персоналу. Якщо електродвигун тривалий час працює з підвищеною вібрацією, то це шкідливо для здоров’я обслуговуючого персоналу.

Залежно від призначення і застосування попереджувальні плакати ділять на застережливі, заборонні, дозволяючи, нагадуючи, постійні й переносні. Для установок напругою до 1000 В застосовують плакати: застережливі – Під напругою! Небезпечно для життя!, «Стій! Небезпечно для життя!»; заборонні – «Не вмикати працюють люди!», «Не вмикати робота на лінії!»; нагадуючи – «Заземлення!». При обертанні електродвигунів виконувати будь-які роботи в його колах небезпечно.

Техніка безпеки при експлуатації миючої машини безпосередньо зумовлена технологічним процесом мийки тягових двигунів. Тому наведемо

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата Арк. 34 6.141.190032.ПЗ деяку інформацію про цю технологію, яка зумовлює відповідну техніку безпеки.

Дії працівників при аварійних ситуаціях на підприємстві.

Згідно з «Правилами пожежної безпеки» [10-11] підприємці повинні гарантувати пожежну безпеки, що є невід'ємною частиною виробничої діяльності робітників, підприємців і службовців підприємств. Директор повинен розподілити обов'язки персоналу, щодо піддержання пожежної безпеки та несе відповідальність за пожежну безпеку окремих приміщень, територій, місць, технічних та інженерних споруд, утримання та функціонування технічних засобів протипожежного захисту. Призначається відповідальна особа, яка отримує обов'язки з забезпечення безпеки, підтримання та експлуатації засобів пожежогасіння, що відображені у відповідних робочих документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо). Кожне підприємство повинно враховувати пожежну небезпеку і встановлювати відповідні системи протипожежного захисту.

Директор установи повинен забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників, підтримання і обслуговування електроустановок затвердити Положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції і інструкції з охорони праці, робити перевірку знань працівників у встановлені строки згідно з вимогами правил, які визначені в НПАОП 40.1-1.21-98 ‹‹Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів›› [12].

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

– зі зняттям напруги;

– без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них;

– без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [13].

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, що провадяться в електроустановці (або її частині), в якій зі струмовідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що перебувають під напругою, унеможливлено.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах.

В електроустановках напругою понад 1000 В, а також з напругою до 1000 В до цих самих робіт належать роботи, які виконуються на відстанях від струмовідних частин.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмовідних частин на відстань, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою, приміщення з обслуговування нестандартного обладнання відносяться до категорії Д (знижено-пожежонебезпечна). Так, як в даних роботах не використовуються вогненебезпечні матеріали. Слід взяти до уваги, що небезпека, викликана порушенням технічних правил безпеки, при технічному обслуговуванні електроприводів мийних машин збільшується, обумовлено це тим, що вологість повітря навколо машини підвищена.

Дії персоналу у разі електротравматизму прописані в порядку [14]:

– переконатися у відсутності небезпеки;

– якщо постраждалий перебуває під дією електричного струму, при можливості припинити його дію: вимкнути джерело струму, відкинути електричний провід за допомогою сухої дерев’яної палиці чи іншого електронепровідного засобу;

– провести огляд постраждалого, визначити наявність свідомості, дихання;

– викликати бригаду екстреної (швидкої) медичної допомоги;

– якщо у постраждалого відсутнє дихання, розпочати проведення серцево-легеневої реанімації;

– якщо постраждалий без свідомості, але дихання збережене, надати постраждалому стабільного положення;

– накласти на місця опіку чисті, стерильні пов’язки;

– забезпечити постійний нагляд за постраждалим до приїзду бригади екстреної (швидкої) медичної допомоги;

– при погіршенні стану постраждалого до приїзду бригади екстреної (швидкої) медичної допомоги повторно зателефонувати диспетчеру екстреної медичної допомоги.

У разі виникнення пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов’язаний:

– негайно повідомити за телефоном пожежну охорону, зазначивши адресу об'єкта та вказавши кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обставини при яких виникла пожежа, наявність осіб та назвавши своє прізвище;
– вживати (по можливості) заходів щодо евакуації людей, гасіння (локалізації) пожеж та захисту матеріальних цінностей;
– повідомити про пожежу керівника або відповідну уповноважену особу та/або чергового по об'єкту;
– за потреби викликати інші екстрені служби (медичну, газорятувальну тощо).

Керівник підприємства, який прибув на місце пожежі, зобов'язаний:

– обов’язково перевірити, чи була викликана пожежна команда (повторне повідомлення), довести до відома власника підприємства про інцидент;
– негайно організовувати рятування (евакуацію) при загрозі життю

людей, використовуючи наявні сили і засоби;

- евакуювати з небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у гасінні пожежі;
- припинити роботи у будівлі, крім робіт з проведення протипожежних заходів;
- при необхідності провести відключення електроенергії (за винятком систем пожежогасіння), зупинити транспортування обладнання, агрегатів і обладнання, перекрити надходження сировини, газів, пари і води, призупинити систему вентиляції аварійного приміщення та прилеглих до нього приміщень та вживати інших заходів, що сприяють запобіганню розгорання вогню та задимлення всередині будівель;
- перевірити включення оповіщення людей про пожежу, установок пожежогасіння та протидимового захисту; організувати зустріч підрозділів пожежної охорони, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку пожежі і джерел води;
- забезпечити дотримання працівниками правил охорони праці, які беруть участь у гасінні пожежі. Коли пожежна бригада прибуває на місце пожежі, на додаток до спеціальних процедур доступу, передбачених відповідними національними правилами, повинен забезпечити, безперешкодний вхід на територію об'єкта.

Правилами пожежної безпеки також передбачені вимоги до розробки відповідних інструкцій та положення про спеціальне навчання працівників на випадок пожежі

ВИСНОВКИ

1. З першого липня 2021 року вступили в силу нові правила проектування електродвигунів і частотно-регульованих приводів (регламент ЕС 2019/1781). Згідно діючих норм виробники повинні виводити на ринок електродвигуни класів енергоефективності від IE2 до IE5, що підтверджує перспективність застосування енергоефективних двигунів.

2. Аналіз відповідної технічної літератури показує, що в теперішній час серійно виготовляються енергоефективні двигуни класів енергоефективності IE2 та IE3. З метою максимального зменшення сумарних активних втрат загальнопромислових двигунів серії AIP пропонується замінити ці двигуни енергоефективні з класом енергоефективності IE3 (а не IE2).

3. Запропоновано алгоритм розрахунку зменшення сумарних активних втрат в двигуні при заміні двигунів серії AIP на енергоефективні.

4. Розрахунки, які проведені згідно запропонованого алгоритму, показали, що при заміні загальнопромислового звичайного двигуна серії AIP на енергоефективний виграш у зменшенні сумарних активних втрат у двигуні значний. Наприклад, при заміні двигуна серії AIP 90L4 на енергоефективний типу WEG W22100L-04 зменшення сумарних втрат в енергоефективному двигуні в порівнянні з двигуном серії AIP складає 0,164кВт, або 24,3%.

5. Розроблені рекомендації по вибору типу енергозберігаючого двигуна для заміни двигуна серії AIP.

6. Отримані в роботі результати необхідні при виконанні техніко-економічного обґрунтування доцільності використання енергоефективних двигунів замість аналогічних по потужності та кількості обертів двигунів серії AIP (або інших звичайних серій).

7. Робота присвячена проблемі економії електроенергії і тому її тема є актуальною.

8. При реальній заміні двигуна серії AIP доцільно провести експериментальну перевірку розрахунків по зменшенню втрат активної потужності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2420-94. Енергоощадність. Терміни та визначення.
2. Каталог. Трифазні асинхронні електродвигуни серія AIP. Тов. «Еквівес». Режим доступу: https://аир.kiev.ua
3. Закладний А. Н., Проховник А. В., Соловей О. І.. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навч. посібник. Київ: Кондор, 2005. –408с.
4. ДСТУ 3886-99 Енергозбереження. системи електроприводу. Метод аналізу та вибору, Київ, Держстандарт України, 2000.-54с.
5. Чим важливен класс енергоефективности електромоторів та чому відходять від класу IE1? [Електрон. ресурс] / Режим доступу: https://unitech.com.ua/ua/blog/klass-jenergojeffektivnosti-jelektromotorov---zona-osobogo-vnimanija-ili-pochemu-othodjat-ot-klassa-ie1/
6. Колб Ант. А. Колб А. А.теорія електроприводу. Навчальний посібник. – 2 – е вид. перероблений доп. – Д, національний гірничий університет. 2011. – 540с.
7. Промисловість України: шлях до енергетичної ефективності: Київ: видання енергетичного центру Європейського Союзу в Києві. 1995
8. М. В. Постнікова, С. О. Квітка. Розрахунок енергетичних показників асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором. Мелітополь: ТД АТУ. 2020. – 21с.
9. НПАОП 40.1-1.21-98 ДНАОП 0.00-1.21-98. Державний комітет країни по нагляду за охороною праці. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів НПАОП 40.1-1.21-98 Київ 1998.
10. Правила пожежної безпеки в Україні: НАПБ А.01.001-2014 Введ. 30.12.2014 – К.: 2014. – 86 с.
11. Забезпечення пожежної безпеки в закладах. Режим доступу: https://oppb.com.ua/docs/zabezpechennya-pozhezhnoyi-bezpeki-v-likuvalno-profilaktichnih-zakladah

12. Про затвердження 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
13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів - основні вимоги безпеки під час обслуговування електроустановок [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://leg.co.ua/knigi/pravila/pravila-bezpechnoyi-ekspluataciyi-elektroustanovok-spozhivachiv-2.html
14. ПОРЯДОК надання домедичної допомоги постраждалим при ураженні електричним струмом та блискавкою. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0775-14#Text
15. Компанія «Дніпроресурс» [Електрон. ресурс] / Режим доступу: https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehopisanie-air-ru.pdf
16.. ТОВ "Київський вентиляторний завод" [Електрон. ресурс] / Режим доступу: https://ventilator.ua/product/elektrodvigatel-weg-w22-premium-132m-04-7-5-1460/#techincal

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Розробка алгоритму визначення сумарних втрат.
2. Технічні характеристики електродвигуна АІР.
3. Втрати активної потужності.
4. Технічні характеристики електромоторів різних класів енергоефективності.

ДОДАТОК А

Таблиця – **Співвідношення від номінального струму**

Потужність електродвигуна, кВт	Відсоткове співвідношення від номінального струму					
	Струм асинхронного двигуна на холостому ходу при відомій частоті обертання валу, об/хв					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,12 – 0,55	60	75	85	90	95	-
0,75 – 1,5	50	70	75	80	85	90
2,2 - 5,5	45	65	70	75	80	85
7,5 - 11	40	60	65	70	75	80
15 - 22	30	55	60	65	70	75
30 - 55	20	50	55	60%	65	70
75 - 110	20	40	45	50	55	60

Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP132M4

$P_{\text{Н}_1} = 11$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 22,5$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 88,4\%$; $\cos\varphi_{H_1} = 0,84$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1460$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх1}}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0,6 \cdot 22,5 = 13,5 \text{ А},$$

$$k_{\text{хх}} = 0,6$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 13,5 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,33 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 13,5 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 8,885 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,84\right) = 0,645.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{11 \cdot 0,645}{0,884} = 8,026\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх1}} = \frac{1,33}{11} \cdot 100\% = 12,09\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{12,09}{100(1-0,884)-12,09} = -24,67.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_1} = 11 \cdot \frac{1-0,884}{0,884} \cdot \frac{1}{1+(-24,67)} = -0,06 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(8,885 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 8,026\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 1,33 + 0,8^2 \cdot (-0,06) = 2,3$$

4.1. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 160M-04

$P_{\text{Н}_2} = 11$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 21,4$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 91,9\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0,85$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1465$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_2} = 0,6 \cdot 21,4 = 13,44 \text{ А,}$$

$$k_{\text{хх}} = 0,6$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 13,44 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,326 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 13,44 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 8,845 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{н}_2} = \operatorname{tg}\left(\arccos 0{,}85\right) = 0{,}619.$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{н}_2} = \frac{11 \cdot 0{,}619}{0{,}919} = 7{,}4\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх}_2} = \frac{1{,}326}{11} \cdot 100\% = 12{,}05\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{12{,}05}{100\left(1 - 0{,}919\right) - 12{,}05} = -3{,}05\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 11 \cdot \frac{1 - 0{,}919}{0{,}919} \cdot \frac{1}{1 + (-3{,}05)} = -0{,}47 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(8{,}845 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 7{,}4\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0{,}125 + 1{,}326 + 0{,}8^2 \cdot (-0{,}47) = 2{,}01$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 2{,}33 - 2{,}01 = 0{,}32$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0{,}32}{2{,}33} \cdot 100\% = 13{,}7\%.$$

4.2. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP160S4

$P_{н_1} = 15$ кВт; $I_{н_1} = 30$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 89,4\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0,85$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1460$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0,55 \cdot 30 = 16,5 \text{ А},$$

$$k_{хх} = 0,55$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 16,5 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,628 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 16,5 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 10,85 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{н_1} = \operatorname{tg}(\arccos 0,85) = 0,619.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{15 \cdot 0,619}{0,894} = 10,385\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{хх1} = \frac{1,628}{15} \cdot 100\% = 10,85\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{10,85}{100(1 - 0,894) - 10,85} = -43,4.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 15 \cdot \frac{1 - 0,894}{0,894} \cdot \frac{1}{1 + (-43,4)} = -0,041 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(10{,}85 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 10{,}385\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0{,}125 + 1{,}628 + 0{,}8^2 \cdot (-0{,}041) = 2{,}92$$

4.3. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 160L-04

$P_{\text{Н}_2} = 15$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 29{,}3$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 92{,}6\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0{,}84$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1465$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0{,}55 \cdot 29{,}3 = 16{,}1 \text{ А},$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0{,}55$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 16{,}1 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 1{,}589 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 16{,}1 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 10{,}596 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}84\right) = 0{,}645$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{15 \cdot 0{,}645}{0{,}926} = 10{,}448\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{1{,}589}{15} \cdot 100\% = 10{,}59\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{10{,}59}{100\left(1 - 0{,}926\right) - 10{,}59} = -3{,}319\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 15 \cdot \frac{1-0,926}{0,926} \cdot \frac{1}{1+(-3,319)} = -0,516 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(10,596 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 10,448\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 1,589 + 0,8^2 \cdot (-0,516) = 2,571$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 2,92 - 2,571 = 0,349$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1 \% = \frac{0,349}{2,92} \cdot 100\% = 11,95\%.$$

4.4. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP160M4

$P_{\text{Н}_1} = 18,5$ кВт; $I_{\text{Н}_1} = 36,3$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_1} = 90\%$; $\cos\varphi_{H_1} = 0,86$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_1} = 1470$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх}1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_1} = 0,55 \cdot 36,3 = 19,9 \text{ А},$$

$$k_{\text{хх}} = 0,55$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 19,9 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,96 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_1} = \sqrt{3} \cdot 19,9 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 13,09 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,86\right) = 0,593$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_1} = \frac{18,5 \cdot 0,593}{0,9} = 12,189\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{\text{хх}_1} = \frac{1,96}{18,5} \cdot 100\% = 10,59\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{10,59}{100\left(1 - 0,9\right) - 10,59} = -17,9\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 18,5 \cdot \frac{1 - 0,9}{0,9} \cdot \frac{1}{1 + (-17,9)} = -0,121 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(13,09 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 12,189\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 1,96 + 0,8^2 \cdot (-0,121) = 3,446$$

4.5. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 180M-04

$P_{\text{н}_2} = 18,5$ кВт; $I_{\text{н}_2} = 35,9$ А (при 380 В); $\eta_{\text{н}_2} = 93,1\%$; $\cos\varphi_{н_2} = 0,84$; $U_{\text{н}} = 380$ В, $n_{\text{н}_2} = 1465$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{хх}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{хх}_2} = 0,55 \cdot 35,9 = 19,7 \text{ А,}$$

$$k_{\text{хх}} = 0,55$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 19,7 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,94 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{хх}_2} = \sqrt{3} \cdot 19,7 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 12,96 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,84\right) = 0,645$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{н}_2} = \frac{18,5 \cdot 0,645}{0,931} = 12,8\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{хх}_2} = \frac{1,94}{18,5} \cdot 100\% = 10,48\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{10,48}{100(1-0,931)-10,48} = -2,9\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 18,5 \cdot \frac{1-0,931}{0,931} \cdot \frac{1}{1+(-2,9)} = (-0,7) \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(12,96 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 12,8\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 1,94 + 0,8^2 \cdot (-0,7) = 3,099$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 3,446 - 3,099 = 0,347$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,347}{3,446} \cdot 100\% = 10,06\%.$$

4.6. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP180S4

$P_{н_1} = 22$ кВт; $I_{н_1} = 43,2$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 90,5\%$;

$\cos\varphi_{н_1} = 0,86$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1470$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0,55 \cdot 43,2 = 23,76 \text{ А},$$

$$k_{хх} = 0,55$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 23,76 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,345 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 23,76 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 15,638 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{н_1} = \operatorname{tg}(\arccos 0,86) = 0,593.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{22 \cdot 0,593}{0,905} = 14,415 \text{ квар}$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{хх1} = \frac{2,345}{22} \cdot 100\% = 10,6\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{10,6}{100(1-0,905)-10,6} = -9,63.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 22 \cdot \frac{1-0,905}{0,905} \cdot \frac{1}{1+(-9,63)} = -0,267 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(15,638 \cdot \left(1 - 0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 14,415\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 2,345 + 0,8^2 \cdot (-0,267) = 4,031$$

4.7. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 180L-04

$P_{\text{Н}_2} = 22$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 42,1$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 93,4\%$; $\cos\varphi_{\text{Н}_2} = 0,85$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1465$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0,55 \cdot 42,1 = 23,15 \text{ А},$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0,55$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 23,15 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,285 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 23,15 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 15,236 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,85\right) = 0,619 \ [12].$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{22 \cdot 0,619}{0,934} = 14,58\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{2,285}{22} \cdot 100\% = 10,3\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{10,3}{100(1-0,934)-10,3} = -2,78\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 22 \cdot \frac{1-0,934}{0,934} \cdot \frac{1}{1+(-2,78)} = -0,873 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(15,236 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 14,58\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 2,285 + 0,8^2 \cdot (-0,873) = 3,578$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 4,031 - 3,578 = 0,453$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,453}{4,031} \cdot 100\% = 11,2\%.$$

4.8. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP180M4

$P_{н_1} = 30$ кВт; $I_{н_1} = 57,6$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 91,4\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0,86$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1470$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0,5 \cdot 57,6 = 28,8 \text{ А},$$

$$k_{хх} = 0,5$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 28,8 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,8 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 28,8 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 18,95 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{н_1} = \operatorname{tg}(\arccos 0,86) = 0,593.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{30 \cdot 0,593}{0,914} = 19,46\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{хх1} = \frac{2,8}{30} \cdot 100\% = 9,3\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{9,3}{100(1-0,914)-9,3} = -13,28.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 30 \cdot \frac{1-0,914}{0,914} \cdot \frac{1}{1+(-13,28)} = -0,229 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(18,95 \cdot \left(1 - 0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 19,46\right) \cdot \text{ кВт}$$
$$\cdot 0,125 + 2,8 + 0,8^2 \cdot (-0,229) = 5,06$$

4.9. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 200L-04

$P_{\text{Н}_2} = 30$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 57,7$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 94,1\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0,84$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1480$ об/хв..

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0,5 \cdot 57,7 = 28,85 \text{ А},$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0,5$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 28,85 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 2,8 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 28,85 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 18,9 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0,84\right) = 0,645$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{30 \cdot 0,645}{0,941} = 20,56\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{2,8}{30} \cdot 100\% = 9,3\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{9,3}{100(1-0,941)-9,3} = -2,7\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 30 \cdot \frac{1-0,941}{0,941} \cdot \frac{1}{1+(-2,7)} = -1,106 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(18,9 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 20,56\right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 2,8 + 0,8^2 \cdot (-1,106) = 4,58$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 5,06 - 4,58 = 0,48$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,48}{5,06} \cdot 100\% = 9,4\%.$$

4.10. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP200M4

$P_{н_1} = 37$ кВт; $I_{н_1} = 70,2$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 92,0\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0,87$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1475$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0,5 \cdot 70,2 = 35,1 \text{ А},$$

$$k_{хх} = 0,5$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 35,1 \cdot 380 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 3,465 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 35,1 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 23,102 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{н_1} = \text{tg}\left(\arccos 0,87\right) = 0,566.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{37 \cdot 0,566}{0,92} = 22,763\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{хх1} = \frac{3,465}{37} \cdot 100\% = 9,36\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{9,36}{100(1-0,92) - 9,36} = -6,8.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 37 \cdot \frac{1-0,92}{0,92} \cdot \frac{1}{1+(-6,8)} = _0,554 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(23{,}102 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 22{,}763 \right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0{,}125 + 3{,}465 + 0{,}8^2 \cdot (-0{,}554) = 5{,}971$$

4.11. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 252S/M-04

$P_{\text{Н}_2} = 37$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 68{,}5$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 94{,}3\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0{,}87$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1475$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0{,}5 \cdot 68{,}5 = 34{,}25 \text{ А,}$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0{,}5$$

за формулою (7):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 34{,}25 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 3{,}381 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 34{,}25 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 22{,}542 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}87\right) = 0{,}566$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{37 \cdot 0{,}566}{0{,}943} = 22{,}207\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{3{,}381}{37} \cdot 100\% = 9{,}13\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{9,13}{100(1-0,943)-9,13} = -2,6\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{\text{зб}_2} = 37 \cdot \frac{1-0,943}{0,943} \cdot \frac{1}{1+(-2,6)} = -1,397 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_2} = \left(22,542 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 22,207 \right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0,125 + 3,381 + 0,8^2 \cdot (-1,397) = 5,277$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 5,971 - 5,277 = 0,694$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{0,694}{5,971} \cdot 100\% = 11,6\%.$$

4.12. Розрахунок активних втрат електродвигуна типу AIP225M4

$P_{н_1} = 55$ кВт; $I_{н_1} = 103$ А (при 380 В); $\eta_{н_1} = 93{,}0\%$; $\cos\varphi_{н_1} = 0{,}87$; $U_н = 380$ В, $n_{н_1} = 1480$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу електродвигуна.

За формулою (7):

$$I_{хх_1} = 0{,}4 \cdot 103 = 41{,}2 \text{ А},$$

$$k_{хх} = 0{,}4$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 41{,}2 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 4{,}067 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{хх_1} = \sqrt{3} \cdot 41{,}2 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 27{,}116 \text{ квар}.$$

За формулою (11):

$$\operatorname{tg}\varphi_{н_1} = \operatorname{tg}\left(\arccos 0{,}87\right) = 0{,}566.$$

За формулою (10):

$$Q_{н_1} = \frac{55 \cdot 0{,}566}{0{,}93} = 33{,}473\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^{*}_{хх1} = \frac{4{,}067}{55} \cdot 100\% = 7{,}39\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_1 = \frac{7{,}39}{100\left(1 - 0{,}93\right) - 7{,}398} = -18{,}9.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_1} = 55 \cdot \frac{1 - 0{,}93}{0{,}93} \cdot \frac{1}{1 + (-18{,}9)} = -0{,}231 \text{ кВт}.$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\sum_1} = \left(27{,}116 \cdot \left(1 - 0{,}8^2\right) + 0{,}8^2 \cdot 33{,}473 \right) \cdot \text{ кВт.}$$
$$\cdot 0{,}125 + 4{,}067 + 0{,}8^2 \cdot (-0{,}231) = 7{,}817$$

4.13. Розрахунок активних втрат енергоефективного двигуна WEG W22 250S/M-04

$P_{\text{Н}_2} = 55$ кВт; $I_{\text{Н}_2} = 100$ А (при 380 В); $\eta_{\text{Н}_2} = 95{,}1\%$; $\cos\varphi_{H_2} = 0{,}88$; $U_{\text{Н}} = 380$ В, $n_{\text{Н}_2} = 1475$ об/хв.

Визначення втрат активної потужності $\Delta P_{\text{ХХ}_2}$ в режимі холостого ходу енергоефективного двигуна.

За формулою (7):

$$I_{\text{ХХ}_2} = 0{,}4 \cdot 100 = 40 \text{ А},$$

$$k_{\text{ХХ}} = 0{,}4$$

за формулою (6):

$$\Delta P_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 380 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3} = 3{,}949 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати $\Delta P_{\sum_2}$ активної потужності у енергоефективному електродвигуні.

За формулою (9):

$$Q_{\text{ХХ}_2} = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 380 \cdot 10^{-3} = 26{,}327 \text{ квар.}$$

За формулою (11):

$$\text{tg}\varphi_{\text{Н}_2} = \text{tg}\left(\arccos 0{,}88\right) = 0{,}539$$

За формулою (10):

$$Q_{\text{Н}_2} = \frac{55 \cdot 0{,}539}{0{,}951} = 31{,}172\%.$$

За формулою (14):

$$\Delta P^*_{\text{ХХ}_2} = \frac{3{,}949}{55} \cdot 100\% = 7{,}18\%.$$

За формулою (13):

$$\gamma_2 = \frac{7,18}{100(1-0,951)-7,18} = -3,1\%.$$

За формулою (12):

$$\Delta P_{зб_2} = 55 \cdot \frac{1-0,951}{0,951} \cdot \frac{1}{1+(-3,1)} = -1,349 \text{ кВт.}$$

За формулою (8):

$$\Delta P_{\Sigma_2} = \left(26,327 \cdot \left(1-0,8^2\right) + 0,8^2 \cdot 31,172\right) \cdot \text{ кВт.}$$

$$\cdot 0,125 + 3,949 + 0,8^2 \cdot (-1,349) = 6,764$$

За формулою (15):

$$\Delta P_1 = 7,817 - 6,764 = 1,053$$

За формулою (16):

$$\Delta P_1\% = \frac{1,053}{7,817} \cdot 100\% = 13,4\%.$$

ДОДАТОК Б

Алгоритм визначення сумарних втрат активної потужності в двигунах

1. Згідно ДСТУ 3886-99

$$(0,7\ldots0,75) \le k_{зі} \le 0,9, \quad (5)$$

2. Параметри двигуна серії АІР позначимо індексом "1", параметри енергоефективного двигуна індексом "2".

3 Визначити втрати активної потужності $\Delta P_{хх1}$ в режимі холостого ходу встановленого двигуна серії АІР.

$$\Delta P_{хх1} = \sqrt{3} \cdot I_{хх1} \cdot U_н \cdot \cos\varphi_{хх1} \cdot 10^{-3}$$

кВт, (6)

$$I_{хх1} = k_{хх} I_{н1}, \quad (7)$$

4. Сумарні втрати $\Delta P_{\sum 1}$ активної потужності у двигуні серії АІР:

$$\Delta P_{\sum 1} = \left(Q_{хх1}\left(1 - k_{з1}^2\right) + k_{з1}^2 \cdot Q_{н1} \right) \cdot k_e + \Delta P_{хх1} + k_{з1}^2 \cdot \Delta P_{зб1} \quad (8)$$

$$Q_{хх1} = \sqrt{3} \cdot I_{хх1} \cdot U_н \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

$$Q_{н1} = P_{н1} \cdot \mathrm{tg}\varphi_{н1} / \eta_{н1}, \quad (10)$$

$$\mathrm{tg}\varphi_{н1} = \mathrm{tg}\left(\arccos\varphi_{н1}\right), \quad (11)$$

$k_e = 0,125$ кВт/квар

$$\Delta P_{зб1} = P_{н1} \frac{1-\eta_{н1}}{\eta_{н1}} \cdot \frac{1}{1+\gamma_1}, \quad (12)$$

$$\gamma_1 = \frac{\Delta P^*_{хх1}}{100\left(1-\eta_{н1}\right) - \Delta P^*_{хх1}}, \quad (13)$$

де $\Delta P^*_{хх1} = \frac{\Delta P_{хх1}}{P_{н1}} \cdot 100\%.$ (14)

5. Сумарні $\Delta P_{\sum 2}$ активної потужності в двигуні енергоефективному розраховуються аналогічно. Тільки в формулах індекс "1" замінюється на індекс "2".

Зменшення втрат активної потужності ΔP_1, при заміні двигуні серії АІР на енергоефективний двигун складає: $\Delta P_1 = \Delta P_{\sum 1} - \Delta P_{\sum 2}$. (15)

6. Зменшення втрат активної потужності у процентах:

$$\Delta P_1(\%) = (\Delta P_1 / \Delta P_{\sum 1}) \cdot 100\%.$$

					Розробка алгоритму визначення сумарних втрат		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Енергощадність шляхом застосування енергоефективних трифазних двигунів	Літ.	Маса / Масштаб
Розроб.		Білик А.О.					1 / 1 : 1
Перевір.		Маренич О.Л.		20.11.23		Арк. 85	Аркушів 88
Т. Контр.							
Реценз.					7.141.190032.01	МОН України. УДУНТ Кафедра «ЕТЕМ» Група ЕЕ2221	
Н. Контр.		Карзова О.О.					
Затверд.		Муха А.М.					

Технічні характеристики електродвигунів AIP

Тип електродвигуна	Номінальний струм при 380В	Потужність	Частота обертання	ККД	Cos φ	Mпуск Mн	Mmax Mн	Iпуск Iн	Максимально допустимий рівень звукової потужності Lw	Масса	Динамічний момент інерції ротора
–	A	кВт	об/хвл	%	–	–	–	–	ДБ(А)	–	кг*м²
AIP 71A4	1.57	0.55	1390	71.0	0.75	2.4	2.3	5.2	58	8.4	0.0010
AIP 71B4	2.05	0.75	1390	73.0	0.76	2.3	2.3	6.0	58	10.0	0.0015
AIP 80A4	2.85	1.1	1390	76.2	0.77	2.3	2.3	6.0	61	14.0	0.0028
AIP 80B4	3.72	1.5	1400	78.5	0.78	2.3	2.3	6.0	61	16.0	0.0034
AIP 90L4	5.1	2.2	1410	80.0	0.81	2.3	2.3	7.0	64	17.0	0.0056
AIP 100S4	6.8	3.0	1410	82.6	0.82	2.3	2.3	7.0	64	21.0	0.0100
AIP 100L4	8.8	4.0	1435	84.2	0.82	2.3	2.3	7.0	65	37.0	0.0130
AIP 112M4	11.7	5.5	1440	85.7	0.83	2.3	2.3	7.0	71	45.0	0.0236
AIP 132S4	15.6	7.5	1450	87.0	0.84	2.3	2.3	7.0	71	52.0	0.0227
AIP 132M4	22.5	11.0	1460	88.4	0.84	2.2	2.3	7.0	75	60.0	0.0349
AIP 160S4	30.0	15.0	1460	89.4	0.85	2.2	2.3	7.5	75	125	0.0600
AIP 160M4	36.3	18.5	1470	90.0	0.86	2.2	2.3	7.5	76	142	0.0650
AIP 180S4	43.2	22.0	1470	90.5	0.86	2.2	2.3	7.5	76	160	0.0700
AIP 180M4	57.6	30.0	1470	91.4	0.86	2.2	2.3	7.2	76	190	0.0800
AIP 200M4	70.2	37.0	1475	92.0	0.87	2.2	2.3	7.2	79	230	0.1500
AIP 200L4	84.9	45.0	1475	92.5	0.87	2.2	2.3	7.2	81	260	0.1800
AIP 225M4	103	55.0	1480	93.0	0.87	2.2	2.3	7.2	81	325	0.2000

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Білик А.О.		
Перевір.		Маренич О.Л.		2023
Т. Контр.				
Реценз.				
Н. Контр.		Карзова О.О.		2023
Затверд.		Муха А.М.		2023

Технічні характеристики електродвигунів AIP

Енергощадність шляхом застосування енергоефективних трифазних двигунів

Літ.	Маса	Масштаб
	1	1 : 1

Арк. 86 Аркушів 88

7.141.190032.02

МОН України. УДУНТ
Кафедра «ЕТЕМ»
Група ЕЕ2221

Зведена таблиця розрахунків зменшення втрат активної потужності

№	Потужність кВт	Зменшення активних втрат кВт	Зменшення активних втрат у %,
1	0,55	0,031	14,9
2	0,75	0,095	30,8
3	1,1	0,116	28,57
4	2,2	0,164	24,3
5	3,0	0,148	17,70
6	4,0	0,18	17,11
7	5,5	0,201	15,6
8	7,5	0,333	24,4
9	11,0	0,32	13,7
10	15,0	0,349	11,95
11	18,5	0,347	10,06
12	22,0	0,453	11,2
13	30,0	0,48	9,4
14	37,0	0,694	11,6
15	55,0	1,053	13,4

Технічні характеристики електродвигунів різних класів енергоефективності

Характеристики	Клас енергоефективності			
	IE1	IE2	IE3	IE4
	Стандартна	Висока	Підвищена (Premium)	Надвисока (Superpremium)
Потужність двигун. кВт	Від 0,75 до 375	Від 0,75 до 375	Від 0,75 до 375	Від 2,2 до 230
Кількість полюсів	2,4,6,8,10,12	2,4,6	2,4,6,8	2,4,6,8
Діапазон швидкостей, об/хв	Від 500 до 3600	Від 1000 до 3600	Від 750 до 3600	Від 750 до 3600
ККД (при середній швидкості 1500 об/хв)	72,1%-94%	79,6%-95,1%	82,5%-95%	85,7%-96,7%
Клас захисту	IP55,IP56, IP65,IP66	IP55,IP56, IP65,IP66	IP55,IP56, IP65,IP66	IP55,IP56, IP65,
Режим роботи двигуна	S1	S1	S1,S2,S3	S1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технічні характеристики електродвигунів різних класів енергоефективності.			
Розроб.		Білик А.О.			Енергощадність шляхом застосуваня енергоефективних трифазних двигунів	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Маренич О.Л.		20.0.23			1	1 : 1
Т. Контр.						Арк. 88	Аркушів 88	
Реценз.					7.141.190032.04	МОН України. УДУНТ Кафедра «ЕТЕМ» Група ЕЕ2221		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.0.23				
Затверд.		Муха А.М.		20.0.23				