

ЗАЯВА

Я, Прудкогляд Юлія Олександрівна

(ПІБ повністю)

Студент групи ЕП 17130

(шифр групи)

Спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітньої програми Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр

(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

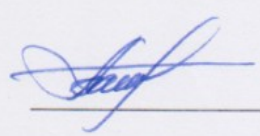
«18» листопада 2021 р.


Підпис

Керівник роботи

Балійчук О.Ю.

ПІБ


Підпис

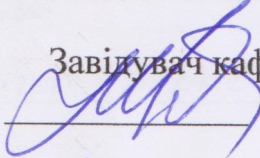
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 /Андрій МУХА/

« 20 » 12 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

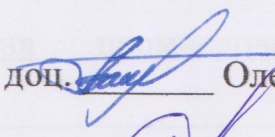
Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

Тема **Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів**

Theme **Analysis of the impact of operational indicators on the energy efficiency of industrial electric drives**

Керівник дипломної роботи

доц.  Олексій БАЛІЙЧУК

Нормоконтролер

доц.  Оксана КАРЗОВА

Студентка групи ЕП2021

 Юлія ПРУДКОГЛЯД

Student

Prudkohliad Yuliia

Дніпро – 2021

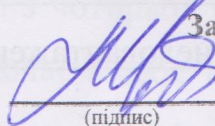
Факультет Управління енергетичними процесами

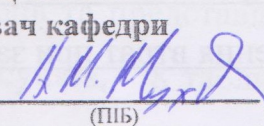
кафедра Електротехніка та електромеханіка

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


(підпис)


(ПІБ)

“20” бересня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

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

студента групи ЕП2021 Прудкогляд Юлії Олександрівни

(номер групи)

(прізвище, ім'я по батькові)

1. Тема дипломної роботи Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів

затверджена наказом по університету № 799ст від “31” 12 2020 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 06.12.2021 р.

3. Вихідні дані до дипломної роботи:

Режимні та технологічні карти роботи загальнопромислових електроприводів, методи оцінки енергоефективності електрообладнання промислових підприємств.

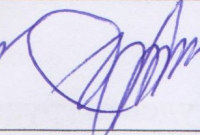
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань до розробки):

1. Визначення поняття енергоефективності в застосуванні до електроприводів.
2. Аналіз відомих способів впливу на енергоефективність та критерії (показники) енергоефективності електроприводів.
3. Дослідження впливу експлуатаційних показників роботи електропривода на окремі показники його енергоефективності.
4. Розробка рекомендацій стосовно підвищення показників енергоефективності загальнопромислових електроприводів та загальні висновки по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Силовий канал електропривода та діаграми потоків потужності. 2. Критерії енергоефективності. 3. Вплив коефіцієнта навантаження електроприводу на його енергоефективність. 4. Аналіз відносного збільшення енергоефективності за рахунок скорочення втрат при заміні недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності.

6. Консультанти (з назвами розділів)

Розділ	консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП та безпека при НС	проф. Саблін О. І.		

7. Дата видачі завдання “ 31 ” 12 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Вступ	04.10.21	5%
2	Визначення поняття енергоефективності	11.10.21	20%
3	Критерії енергоефективності та способи її підвищення	08.11.21	30%
4	Вплив експлуатаційних показників на енергоефективність електроприводів	15.11.21	30%
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11.21	10%
6	Загальні висновки та рекомендації	29.11.21	5%

Студент-дипломник

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської дипломної роботи на тему «Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів» складається з чотирьох розділів та представлена на 55 сторінках основного тексту; включає в себе 14 рисунків, 8 таблиць, 10 найменувань використаних джерел та додаток А.

Мета роботи – аналіз впливу коефіцієнта навантаження двигуна на енергетичну ефективність електропривода та кількісна оцінка ефективності заміни недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності з точки зору зменшення втрат в двигуні.

В першому розділі розкрито поняття енергоефективності, визначено потенційні умови її підвищення в загальнопромислових електроприводах в прив'язці до запровадженої Енергетичної стратегії України.

В другому розділі проаналізовано основні критерії енергоефективності. Показано, що для оцінки енергоефективності електромеханічної системи, можна застосовувати поняття коефіцієнту корисної дії, також узагальненого критерію енергоефективності. Розглянуто основні практичні заходи по підвищенню енергоефективності електроприводів.

Третій розділ містить матеріали дослідження впливу експлуатаційних показників на енергетичну ефективність електропривода.

Четвертий розділ присвячено вимогам безпеки праці під час виконання робіт з розробки і експлуатації електроприводів, а також діям персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

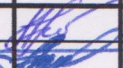
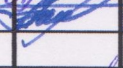
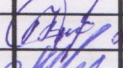
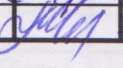
В загальних висновках і рекомендаціях містяться основні положення та рекомендації отримані в результаті проведених досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, НАВАНТАЖЕННЯ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПОТУЖНІСТЬ, СКОРОЧЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	9
1.1 Визначення поняття енергоефективності	9
1.2 Потенційні умови підвищення енергоефективності промислових електроприводів	10
1.3 Державна політика у сфері енергоефективності	12
РОЗДІЛ 2 КРИТЕРІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА СПОСОБИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	14
2.1 Силовий канал електропривода та діаграми потоків потужності	14
2.2 Коефіцієнт корисної дії	18
2.3 Узагальнений критерій енергоефективності силового каналу	19
2.4 Принципи підвищення енергоефективності	21
2.5 Висновки до розділу	22
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	23
3.1 Коефіцієнт навантаження електроприводу	23
3.2 Дослідження впливу коефіцієнта навантаження на енергоефективність електропривода з асинхронним двигуном	23

					Пояснювальна записка			
					Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Прудкогляд Ю.О.		20.12.21			1	1 : 1
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12.21				
Т. Контр.						Арк.	5	Аркушів 52
Реценз.					0024.ДМР21.04.ПЗ	Український державний університет науки і технологій Група ЕП2021		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12.21				
Затверд.		Муха А.М.		20.12.21				

3.3	Оцінка ефективності заходів по заміні недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності	33
3.4	Висновки до розділу	37
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		38
4.1	Вимоги безпеки праці під час виконання робіт по розробці і експлуатації електроприводів	38
4.2	Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ		50
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		52
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ		54
ДОДАТОК А		55

ВСТУП

Енергія, і зокрема електрична, є одним з найважливіших продуктів у сучасному розвиненому суспільстві. Як і всі природні ресурси, енергетичні ресурси можуть виснажитися, тому важливо заощаджувати якомога більшу кількість енергії.

Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення, що споживають суттєву частку виробленої енергії. Загальна встановлена потужність асинхронних двигунів (АД) в Україні складає близько 40...50 млн. кВт [1, 2]. На їх живлення припадає близько 2/3 всієї виробленої електроенергії, тому питання про те, наскільки ефективно використовується ця електроенергія, має велике технічне та економічне значення особливо під час перманентного зростання вартості енергоносіїв.

Енергозбереження як діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), спрямована на раціональне використання енергії і природних енергетичних ресурсів постає у вигляді державної проблеми [2].

Умови роботи електродвигунів з точки зору їх енергоефективності, крім коефіцієнта корисної дії (ККД) та $\cos\varphi$, оцінюють за допомогою експлуатаційних коефіцієнтів включення і завантаження [3].

Близькі до дійсних значення експлуатаційних коефіцієнтів, як правило, можна отримати шляхом аналізу технологічних карт роботи устаткування, графіків навантажень електричної мережі живлення підприємств.

Відомо, що недовантаження електродвигунів внаслідок значного запасу за потужністю або моменту призводить до недостатнього відшкодування коштів, які вкладено в електродвигуни, електричну силову мережу і заводські підстанції. Внаслідок недовантаження електродвигунів знижуються їх ККД і $\cos\varphi$. Зниження ККД призводить до непродуктивної витрати енергії. Зниження $\cos\varphi$ при споживанні незмінної активної потужності призводить до збільшення частки реактивного струму, при зростанні якого зростають втрати в мережі і

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлена потужність трансформаторів і генераторів використовується не в повному обсязі.

За отриманими експлуатаційними коефіцієнтами включення і завантаження електродвигунів можна судити також про ступінь використання обладнання і міру технологічності організації виробництва. Так, наприклад, знання коефіцієнтів, що характеризують роботу верстата, сприяє виявленню невикористаних ресурсів верстатного парку та організації їх раціональної експлуатації [3].

Існує ряд спеціальних інженерно-технічних засобів підвищення $\cos\varphi$ електричних приводів. До них відносять застосування статичних конденсаторів, що включаються паралельно двигуну, синхронізація асинхронних двигунів, заміна асинхронних двигунів синхронними.

Проведений аналіз показав, що комплекс заходів щодо підвищення енергетичних показників окремих електроприводів наразі не набув широкого поширення через високу собівартість обладнання і тривалий період окупності. Натомість найбільш поширеною поки що залишається компенсація реактивної потужності в масштабі окремого цеху або підприємства в цілому.

З огляду на вищевказане, дослідження на предмет виявлення кількісного і якісного впливу на енергоефективність електроприводів експлуатаційних показників їх роботи, а також розробка рекомендацій по вибору раціональних режимів роботи електроприводів технологічних установок з точки зору їх енергетичних показників, до яких належать втрати потужності та енергії, коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$), є безумовно актуальним питанням.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Визначення поняття енергоефективності

Енергоефективність – комплексне поняття, що виникає на стику декількох галузей науки і сфер суспільного життя: енергетики, економіки та державного управління.

Енергозбереження – комплекс заходів, спрямованих на раціональне використання енергетичних ресурсів. В результаті впровадження цих заходів знижується потреба в паливно-енергетичних ресурсах на одиницю кінцевого продукту, а також зменшується шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Механізмом втілення енергозбереження є реалізація законодавчих, організаційних, технічних та інформаційних заходів, спрямованих на раціональне використання енергетичних ресурсів і поліпшення стану навколишнього середовища [1].

Енергоефективність – властивість устаткування, чи методу виробництва, що характеризує міру використання енергії на одиницю кінцевого продукту. Показники енергоефективності дозволяють отримати її як кількісну, так і якісну оцінку.

Основними параметрами, що характеризують електричну енергію, є: електрична напруга – U (В); електричний струм – I (А); повна, активна і реактивна потужності – S , P , Q відповідно (В·А, Вт, вар); коефіцієнт потужності – $\cos\varphi$; частота мережі – f (Гц).

Як відомо, електрична енергія передається електромагнітним полем провідника. Цей процес носить хвильовий характер. Частина передаваної електроенергії витрачається в самому провіднику, тобто втрачається. Подібні втрати мають місце в усіх елементах електричної системи: генераторах, трансформаторах, лініях електропередачі, а також в електроспоживачах.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Загальна втрата електроенергії складається з двох частин: номінальних втрат, що визначаються умовами роботи при номінальних режимах і оптимальному виборі параметрів системи електропостачання, і додаткових втрат, обумовлених відхиленням режимів і параметрів від номінальних значень. Економія електроенергії в системах електропостачання ґрунтується на мінімізації обох видів втрат [1].

Вибір заходу ефективного використання електричної енергії здійснюється з одночасним дотриманням принципу мінімуму втрат і впровадженням заходів щодо підвищення надійності системи електропостачання і якості електричної енергії.

1.2 Потенційні умови підвищення енергоефективності промислових електроприводів

Основним напрямом в енергозбереженні є її економія при передачі, розподілі і використанні.

Енергозберігаючими заходами при передачі і розподілі електроенергії є [1]:

- раціональний вибір рівня напруги мережі живлення і роду струму;
- вибір економічно доцільного перетину проводів і кабелів;
- підвищення коефіцієнту потужності;
- наближення джерел живлення до споживачів;
- оптимізація графіків навантажень.

Значні потенційні можливості енергозбереження містяться в удосконаленні електропривода – зменшенні швидкості двигуна до швидкості робочого механізму, збільшенні фактичних коефіцієнтів завантаження електроприводів та ін.

Аналіз енергетичного процесу, що здійснюється електроприводом, показує, що його ефективність визначається двома факторами.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Перший – наскільки підведена до споживача потужність відповідає вимогам оптимального технологічного процесу. Наприклад, для електроприводу насосної установки, наскільки вдалим є вибір тиску на вході гідравлічної системи, яка обслуговує будівлю: його повинно вистачати для комфортного водопостачання в будь-якій квартирі і при цьому він не повинен бути надлишковим.

Другий – який обсяг втрат, що супроводжують цей процес.

Тобто, в загальному випадку прийомами енергозбереження виступають: правильний вибір обладнання для виконання конкретної технологічної операції; використання раціональних способів керування потужністю, підведеною до споживача.

Енергозбереження в електроприводі визначається трьома процесами [1]:

- енергоспоживання;
- енерговикористання споживаної енергії;
- енергоуправління процесу енергоспоживання.

Енергоспоживання – процес формування складових потужності на вході перетворювача при роботі електропривода. Цей процес характеризується залежностями активної, реактивної потужності перетворення від швидкості і моменту двигуна.

Енерговикористання – використання потужності споживаної з мережі. Цей показник характеризує ефективність використання споживаної енергії, кількість енергії, що належить до втрат і корисної потужності, розподіл втрат, якими визначається робочий режим двигуна.

Енергоуправління – процес формування режимів енергоспоживання за допомогою технічних пристроїв і систем, що впливають на кола керування електроприводом та перетворювальними пристроями, що живлять ці кола [1].

Такий підхід, що базується на спільності наведених вище процесів, дозволяє пов'язати в єдиний електромеханічний комплекс елементи, які раніше розглядалися окремо: енергосистему, електропривод і технологічну установку (робочий орган).

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.3 Державна політика в у сфері енергоефективності

Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2035 року, схваленої КМУ 18.08.17 р. Україна в перспективі прагне залишатися одним із найбільших в континентальній Європі виробником вуглеводнів та надійним транзитером енергоресурсів, забезпечуючи надійне і постачання енергоресурсів власним споживачам та споживачам суміжних ринків, які мають бути видобуті та доставлені з високим рівнем екологічної та соціальної відповідальності, з докладанням зусиль для дотримання зобов'язань зі скорочення викидів парникових газів.

Істотна мінерально-сировинна база та пріоритети, визначені на державному рівні щодо її розширення з метою нарощення видобутку вуглеводнів для забезпечення енергетичної незалежності країни, а також надлишкові потужності з транспортування, зберігання і переробки вуглеводнів сумарно становлять базу для розвитку відповідних галузей та економіки України в цілому.

Україна використовує для власних потреб різноманітні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля, атомна і гідроенергія, енергія вітру і сонця тощо. Традиційно найбільш затребуваними в Україні наразі є викопні ресурси: природний газ і вугілля, які сумарно становлять по 60% вітчизняного енергетичного балансу. Водночас в останні роки внаслідок зміни цінової кон'юнктури, технологій та світових трендів, частка інших видів енергії у споживанні поступово зростає. До того ж сьогодні є підстави очікувати їх подальшого зростання з відповідним зменшення частки викопного палива в енергетичному балансі країни.

Наявність в Україні усіх зазначених ресурсів, створення конкурентного ринкового середовища та умов до системного розвитку ресурсної бази для атомної енергетики, модернізації генеруючих потужностей та заміщення сировинної бази альтернативними видами палива, подальша розвідка та видобуток вуглеводнів, у тому числі й нетрадиційних, а також більш ефективне використання потенціалу в галузі відновлювальної енергії сприятимуть

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

поступовому посиленню позиції України в раціональному виробництві енергії та ощадливому її споживанні [4].

Зниження енергоемності промислового виробництва, як однієї із основних галузей економіки, є одним із ключових факторів, що сприяють підвищенню енергетичної, економічної та екологічної безпеки країни. Досить важливим при цьому є використання місцевих науково-технічних та технологічних досягнень.

Сталий розвиток енергетичної галузі може бути забезпечений завдяки широкому використанню можливостей енергоефективного технологічного обладнання. Цей процес буде підставою для оздоровлення та зростання економіки країни в цілому.

Скорочення енергоспоживання домогосподарств, комерційного та комунального секторів, скорочення витрат енергії у системах розподілу та транспортування електричної енергії шляхом технічної та технологічної модернізації та перегляду схем енергозабезпечення, впровадження оптимального управління енергоспоживанням є головними напрямками підвищення енергоефективності економіки нашої держави.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

РОЗДІЛ 2

КРИТЕРІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА СПОСОБИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

2.1 Силовий канал електропривода та діаграми потоків потужності

Електрична енергія перетворюється в механічну енергію в силовому каналі електропривода.

Структура силового каналу електропривода в загальному вигляді представлено на рис. 2.1.

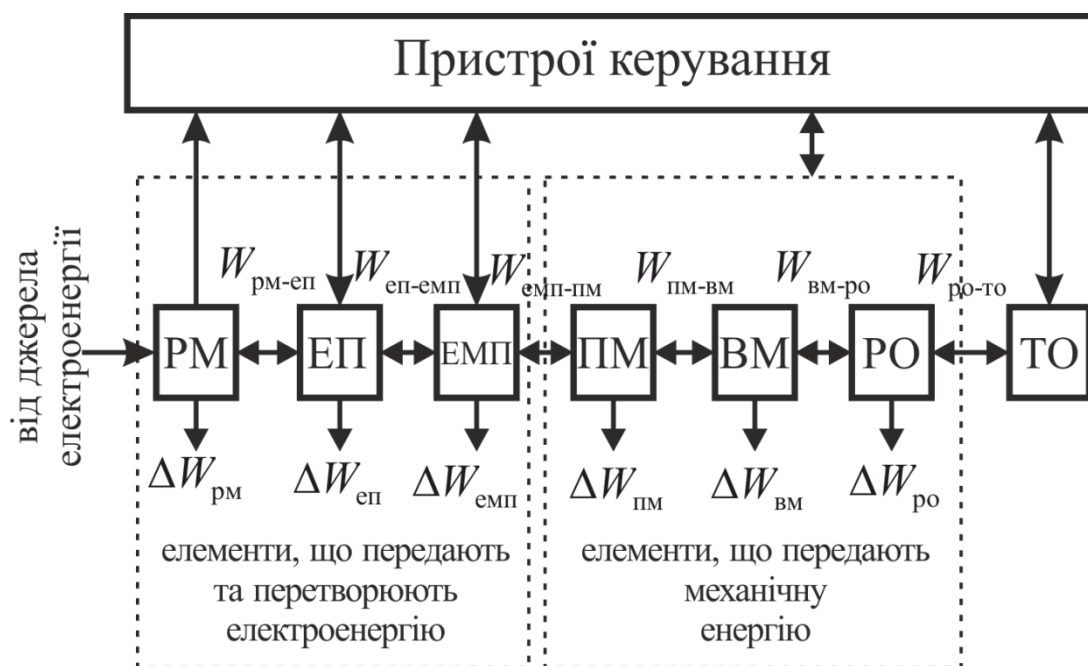


Рис. 2.1. Структура силового каналу електроприводу

До складу силового каналу (рис. 2.1) входять:

- Розподільна мережа (РМ) – параметри мережі впливають на параметри електричної енергії, що надходить на вхід електропривода. Якість напруги живлення впливає на режим роботи електропривода і навпаки, характеристики і режими роботи електропривода визначають режим і втрати енергії в розподільній мережі.

- Електричний перетворювач (ЕП) – перетворює вид електричної енергії на вході до виду, який є необхідним для подальшого перетворення її в механічну роботу. Електроперетворювач керує рівнями потоків енергії до

електромеханічного перетворювача і має можливість керувати параметрами електричної енергії, яка споживається електроприводом.

- Електромеханічний перетворювач (ЕМП) в загальному випадку, а більш конкретно на практиці – двигун. Призначений для перетворення електричної енергії в механічну та задання з урахуванням параметрів механічної частини характеру механічного руху робочого органу та електромагнітного моменту та частоти обертання.

- Передавальний механізм (ПМ) виконує функцію зв'язку між електромеханічним перетворювачем та виконавчим механізмом.

- Виконавчий механізм (ВМ) – приводить в рух робочий орган (РО), узгоджує швидкість і характер його руху зі швидкістю технологічного об'єкта (ТО).

В залежності від виду агрегату, що приводиться в рух електроприводом, фізична реалізація його енергетичного каналу може бути такою, як показано на рис. 2.2 (для вантажопідйомного механізму), або такою, як показано на рис. 2.3 – для електропривода насосу із регульованою витратою рідини.

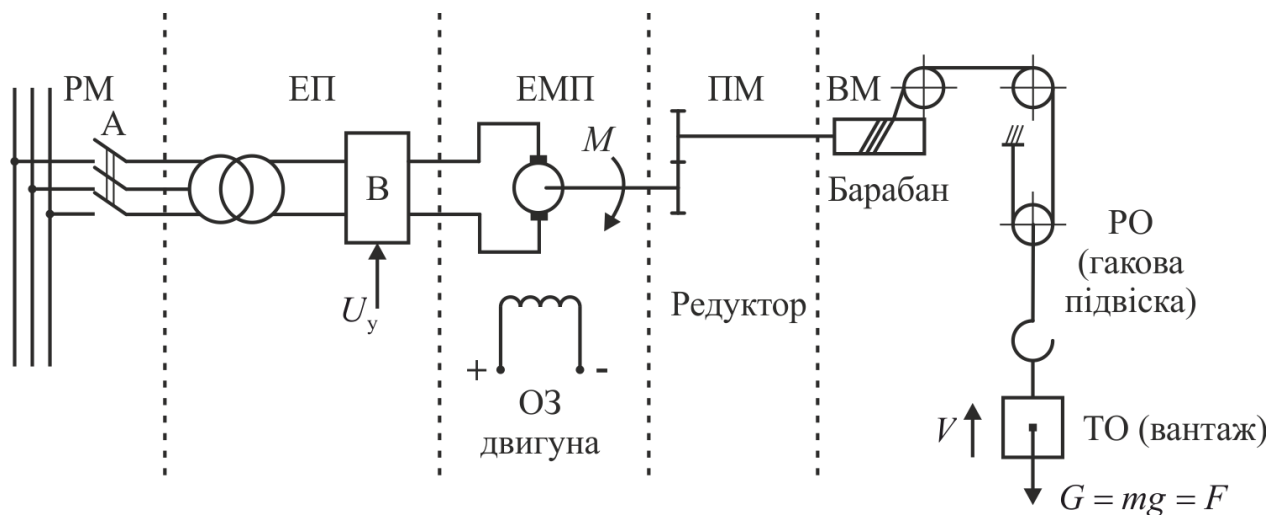


Рис. 2.2. Силовий канал електроприводу підйому мостового крану

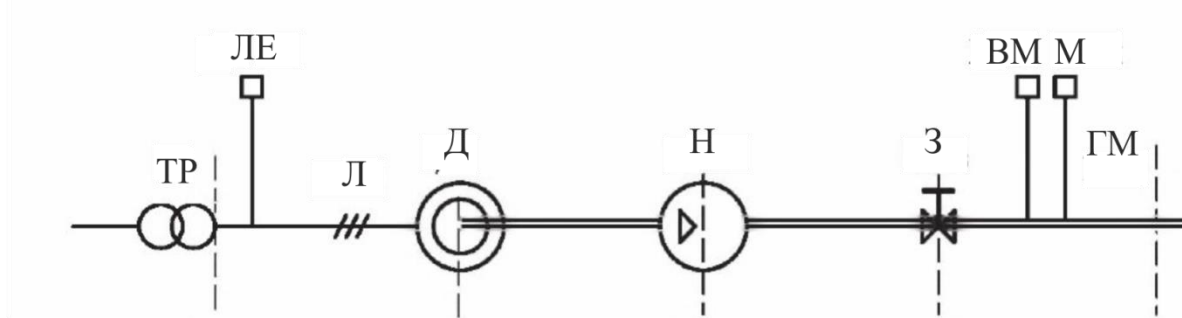


Рис. 2.3. Силовий канал електропривода насоса із регульованою витратою рідини

До складу каналу на рис. 2.3 входять: живлячий трансформатор (ТР) з лічильником споживаної електричної енергії (ЛЕ), живляча лінія (Л), електричний двигун (Д), робоча машина у вигляді насоса (Н), заслонка для регулювання витрати рідини (3) та технологічна частина – гідравлічна магістраль (ГМ) з вимірювачами споживаної енергії – витратоміром (ВМ) та манометром (М).

Для силового каналу на рис. 2.2 можна скласти баланс потужностей потоків енергії, вважаючи при цьому, що зміна потенціальної енергії не відбувається:

$$P_e = \sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} + \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} + \sum_k \Delta P_k + M\omega + FV,$$

де P_e – електрична потужність потоку енергії між джерелом електроенергії та розподільною ділянкою мережі;

$$\sum_i J_i \omega_i \frac{d\omega_i}{dt} \text{ і } \sum_j m_j V_j \frac{dV_j}{dt} - \text{потужності, що виникають у динамічних режимах}$$

роботи і пов'язані зі зміною кінетичної енергії мас, що обертаються;

$$\sum_k \Delta P_k - \text{сумарні втрати потужності у всіх елементах силового кола;}$$

$M\omega$, FV – потужності механічної енергії, пов'язані з обертальним і поступальним рухом вантажу відповідно.

Приймаючи умовно позитивним напрямком потоку енергії від джерела до робочого органу, зазначимо, що, крім втрат енергії, всі інші складові виразу

можуть приймати як додатне так і від'ємне значення. Цим визначається різноманітність енергетичних станів силового каналу електропривода, тобто режимів його роботи. Для структури, яку показано на рис. 2.2, таких станів можливо одинадцять [1].

Енергетична діаграма електроприводу на рис. 2.2 має вигляд, що показано на рис. 2.4.

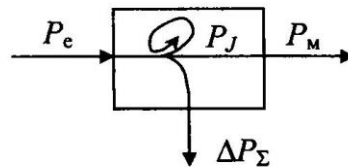


Рис. 2.4. Енергетична діаграма електроприводу підйому мостового крану

На рис. 2.4 напрямки вказаних потоків потужності обрано додатніми. Тут P_e – електрична потужність; P_m – механічна потужність; P_j – потужність, пов'язана зі зміною кінетичної енергії обертових мас механічної частини; ΔP_Σ – сумарна потужність втрат.

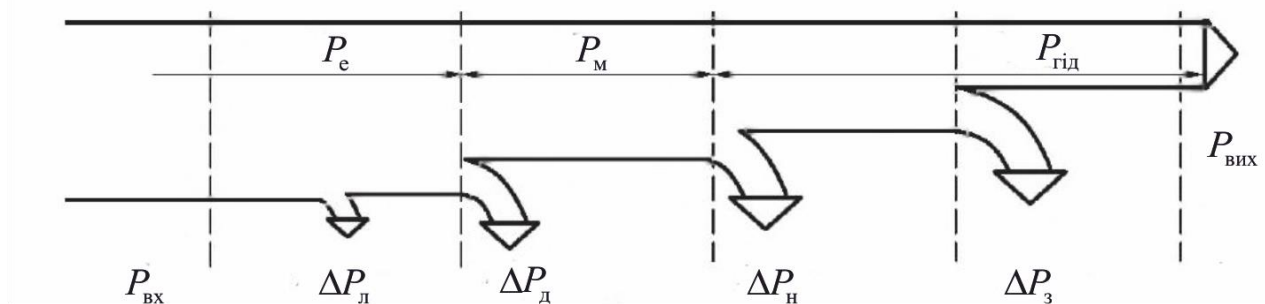


Рис. 2.5. Енергетична діаграма електроприводу насосу з регульованою витратою рідини

На рис. 2.5 в спрощеному вигляді, який відображає лише основні риси енергетичного процесу, представлено діаграму передачі потужності від джерела до споживача.

Споживана потужність при трифазній мережі живлення:

$$P_e = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi.$$

Механічна потужність визначається кутовою швидкістю ω і моментом M :

$$P_m = M \cdot \omega.$$

Гідравлічна потужність (для системи на рис. 2.5):

$$P_{\text{гид}} = p \cdot Q = \frac{H \cdot Q}{367},$$

де p – тиск, Q – витрата, H – напір.

Енергія, яка споживається, перетворюється та витрачається електроприводом, визначається як інтеграл від змінної в часі потужності $P(t)$ на деякому проміжку часу T .

$$W = \int_0^T P(t) dt.$$

Так як кожна ступінь перетворення і передачі електричної енергії супроводжується її втратами, то аналогічно втрати енергії:

$$\Delta W = \int_0^T \Delta P(t) dt.$$

Втрати визначають коефіцієнти корисної дії кожного з елементів електропривода – від живлячого трансформатора до виконавчого механізму.

Таким чином, для оцінки енергетичної ефективності роботи електропривода рекомендується використовувати два показники – коефіцієнт корисної дії циклу та узагальнений критерій енергетичної ефективності.

2.2 Коефіцієнт корисної дії

Найбільш повну і достовірну оцінку фактичної енергоефективності будь-якої системи, яка працює із змінним характером навантаження, можна зробити лише на основі коефіцієнта корисної дії (ККД) циклу $\eta_{\text{ц}}$. При цьому:

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{W_{\text{кор.ц}}}{W_{\text{спож.ц}}} = \frac{W_{\text{кор.ц}}}{W_{\text{кор.ц}} + \Delta W_{\text{ц}}} = \frac{\int_0^{t_{\text{ц}}} P_{\text{кор}}(t) dt}{\int_0^{t_{\text{ц}}} P_{\text{кор}}(t) dt + \int_0^{t_{\text{ц}}} \Delta P_{\Sigma}(t) dt},$$

де $W_{\text{кор.ц}} = \int_0^{t_{\text{ц}}} P_{\text{кор}}(t) dt$ – необхідна корисна енергія за цикл;

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$W_{\text{спож.ц}}$ – енергія спожита від джерела за цикл;

$$\Delta W_{\text{ц}} = \int_0^{t_{\text{ц}}} \Delta P_{\Sigma}(t) dt - \text{втрати енергії за цикл.}$$

В ряді випадків внаслідок складності оцінки потрібної корисної енергії користуються лише фактичним оцінюванням, наприклад, за результатами показань вимірювальних приладів. Однак такий спосіб кращий, ніж спосіб оцінки за ККД, визначеним як відношення корисної та спожитої потужності в певному режимі (як правило, номінальному).

Так само низьку якість має оцінювання за потужностями в точці для процесів, що змінюються в часі.

Оцінювання енергетичної ефективності ускладнюється і при неоднонаправлених потоках енергії, проте необхідність користування поняттям енергії, а не потужності в точці залишається і там [5].

2.3 Узагальнений критерій енергоефективності силового каналу

Для застосування узагальненого критерію енергоефективності силовий канал електроприводу представляють у вигляді послідовно з'єднаних елементів.

Кількість енергії $W_{i,i+1}$, якою обмінюються сусідні елементи, і кількість енергії, яка витрачається в кожному елементі ΔW_j , визначається способом виконання корисної роботи і параметрами елементів електропривода.

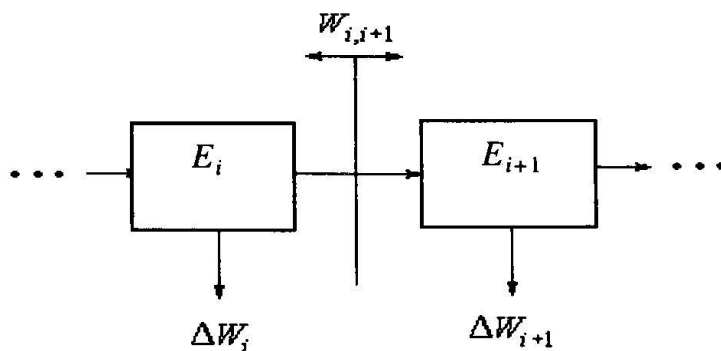


Рис. 2.6. Силовий канал у вигляді послідовно з'єднаних елементів

Аналітичний вираз узагальненого критерію енергоефективності має вигляд:

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$H = \frac{W_{i,i+1}}{W_{i,i+1} + \sum_j \Delta W_j},$$

де $W_{i,i+1} = \int_{t_1}^{t_1+\tau} |P_{i,i+1}(t)| dt$ – енергії обміну між сусідніми елементами силового каналу за період оцінки;

$|P_{i,i+1}(t)|$ – модуль потужності потоку енергії між сусідніми елементами силового каналу;

$$\sum_j \Delta W_j = \sum_j \int_{t_1}^{t_1+\tau} \Delta P_j(t) dt \text{ – сумарні втрати у обраних } j\text{-елементах.}$$

Наведений критерій дозволяє оцінити енергоефективність процесу як прямого перетворення електричної енергії в механічну в силовому каналі електроприводу, так і зворотного – з механічної в електричну.

Можливим є отримання граничного значення узагальненого критерію енергоефективності – його значення при найменших можливих для даної корисної роботи втратах [1]:

$$H_{\text{гр}} = \frac{W_{\text{кор}}}{W_{\text{кор}} + \Delta W'_{\Sigma}}.$$

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2.4 Принципи підвищення енергоефективності

Основними принципами підвищення енергоефективності засобами електроприводу на сьогоднішній день є: правильний вибір основного обладнання, зокрема двигуна та редуктора; зменшення втрат в двигунах; зменшення втрат в живлячій мережі; перехід від нерегульованого електропривода до регульованого.

За даними досліджень, в наймасовішому нерегульованому електроприводі середній коефіцієнт завантаження двигунів становить 0,6 і менше. Суттєвого ефекту економії енергоресурсів при цьому можна досягти шляхом заміни двигунів на менш потужні. Однак процес прийняття оптимальних рішень стосовно підбору обладнання вимагає високої кваліфікації персоналу, наявності спеціальних керівних методик щодо підбору і заміни обладнання, застосування прикладних програмних продуктів, пов'язаних із розробкою електропривода.

Принцип застосування енергозберігаючих двигунів відомий і в різній мірі застосовується з середини 1970-х років. В основу його покладено виготовлення асинхронних двигунів із збільшеною на 25...30% кількістю активних матеріалів, за рахунок чого зменшується на 30% втрати в двигуні і зростає ККД на 1...5 % у порівнянні із звичайними двигунами.

Проблема втрат потужності виникає за рахунок низького, особливо при малих навантаженнях, $\cos \varphi$, що призводить до того, що лінійний струм $I_{\text{л}}$, який протікає в живлячій лінії і трансформаторах, більший за струм $I_{\text{а}}$, який пов'язано із активною потужністю, відповідно більшими є втрати в лінії електропередач. Компенсацію реактивної потужності здійснюють шляхом застосування різних технічних рішень – застосування конденсаторних батарей, синхронних компенсаторів, фільтро-компенсуючих пристроїв.

Також відомими способами енергозбереження в нерегульованому електроприводі є: зниження тривалості неробочого ходу; перемикання обмоток по схемам Δ -Y на період холостого ходу чи малих навантажень.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Найбільш суттєвого ефекту енергозбереження можна досягти шляхом переходу від нерегульованого електропривода до регульованого. Цей напрямок є головним і широко застосовується в усьому світі. Він дає найкращий результат як в плані економії електроенергії, так і в плані покращення інших показників технологічного процесу. При цьому він є найбільш прийнятним способом модернізації, так як все обладнання залишається, але між двигуном і мережею вмикається новий елемент – перетворювач частоти, наявність якого змінює технічні, технологічні і економічні можливості електропривода [5].

2.5 Висновки до розділу

Розкрито поняття силовий канал електропривода і розглянуто варіанти його практичної фізичної реалізації в електроприводах різних промислових установок. Розглянуто основні показники, за якими можна оцінити енергоефективність електромеханічної системи – коефіцієнт корисної дії за робочий цикл та узагальнений критерій енергоефективності. Визначено сферу використання та точність оцінювання для обох критеріїв.

Розглянуто основні принципи енергозбереження засобами нерегульованого електроприводу. Проаналізовано практичні способи реалізації енергоефективних заходів в загальнопромисловому обладнанні з нерегульованим електроприводом.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

3.1 Коефіцієнт навантаження електроприводу

Одним із основних показників в промисловій експлуатації електроприводу, що здійснює суттєвий вплив на його енергоефективність, є коефіцієнт навантаження. Цей показник є відношенням потужності реального навантаження до номінальної потужності, яку здатен розвинути приводний двигун [2].

$$k_n = \frac{P_p}{P_{ном}}$$

Відомо, що зменшення коефіцієнта k_n призводить до зменшення ККД електричного двигуна і його коефіцієнта потужності $\cos\varphi$ внаслідок зменшення частки активної складової в повній потужності, яка споживається електроприводом із мережі.

3.2 Дослідження впливу коефіцієнта навантаження на енергоефективність загальнопромислового електропривода з асинхронним двигуном

В умовах реальної експлуатації значення коефіцієнту k_n може коливатися в широких межах. Аналіз технологічних карт роботи загальнопромислових електроприводів показує, що найчастіше в нерегульованому електроприводі з асинхронними двигунами коефіцієнт навантаження становить $k_n = 0,2...0,6$.

Для приводу вентиляційної установки використовується асинхронний двигун із короткозамкненим ротором типу 4А80В4У3. Основні параметри цього двигуна наведено в табл. 3.1 [6].

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 3.1 – Основні параметри двигуна типу 4A80B4У3

$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_1,$ об/хв	$s_{\text{ном}}$	η	$\cos \varphi$	$r_1,$ в.од	$r'_2,$ в.од.	$U_{1\phi},$ В	$I_{1\phi},$ А
1,5	1500	0,058	0,77	0,83	0,12	0,061	220	3,56

Опір обмотки статора приведений до робочої температури становить:

$$R_1 = r_1 \frac{U_{1\phi}}{I_{1\phi}}; \quad (3.1)$$

$$R_1 = 0,12 \cdot \frac{220}{3,56} = 7,42 \text{ Ом.}$$

Опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора дорівнює:

$$R'_2 = r'_2 \frac{U_{1\phi}}{I_{1\phi}}; \quad (3.2)$$

$$R'_2 = 0,061 \cdot \frac{220}{3,56} = 3,77 \text{ Ом.}$$

Швидкість ідеального неробочого ходу для двигуна такого типу становить:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}; \quad (3.3)$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальна швидкість обертання дорівнює:

$$\omega_{\text{ном}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{ном}}); \quad (3.4)$$

$$\omega_{\text{ном}} = 157 \cdot (1 - 0,058) = 147,9 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент, який розвивається двигуном:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}; \quad (3.5)$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{1500}{147,9} = 10,14 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Визначимо змінні втрати в двигуні в номінальному режимі:

$$V_{\text{НОМ}} = M_{\text{НОМ}} \cdot \omega_0 \cdot s_{\text{НОМ}} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R'_2}\right); \quad (3.6)$$

$$V_{\text{НОМ}} = 10,14 \cdot 157 \cdot 0,058 \cdot \left(1 + \frac{7,42}{3,77}\right) = 274,04 \text{ Вт.}$$

Сумарні втрати в двигуні в номінальному режимі становлять:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}}; \quad (3.7)$$

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 1500 \cdot \frac{1 - 0,77}{0,77} = 448,05 \text{ Вт.}$$

Відповідно сталі втрати в двигуні дорівнюють:

$$K = \Delta P_{\text{НОМ}} - V_{\text{НОМ}}; \quad (3.8)$$

$$K = 448,05 - 274,04 = 174,01 \text{ Вт.}$$

Залежність $\eta = f(k_{\text{н}})$ отримаємо підставивши у вираз

$$\eta = \frac{k_{\text{н}} \cdot P_{\text{НОМ}}}{k_{\text{н}} \cdot P_{\text{НОМ}} + K + k_{\text{н}}^2 \cdot V_{\text{НОМ}}} \quad (3.9)$$

$k_{\text{н}} = 0 \dots 1,25$ та інші значення, які було отримано вище. Отриману залежність представимо у вигляді табл. 3.2 та графічно на рис. 3.1.

Таблиця 3.2

$k_{\text{н}}$	0	0,125	0,25	0,375	0,50	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25
η	0	0,513	0,662	0,726	0,756	0,769	0,774	0,774	0,770	0,764	0,757

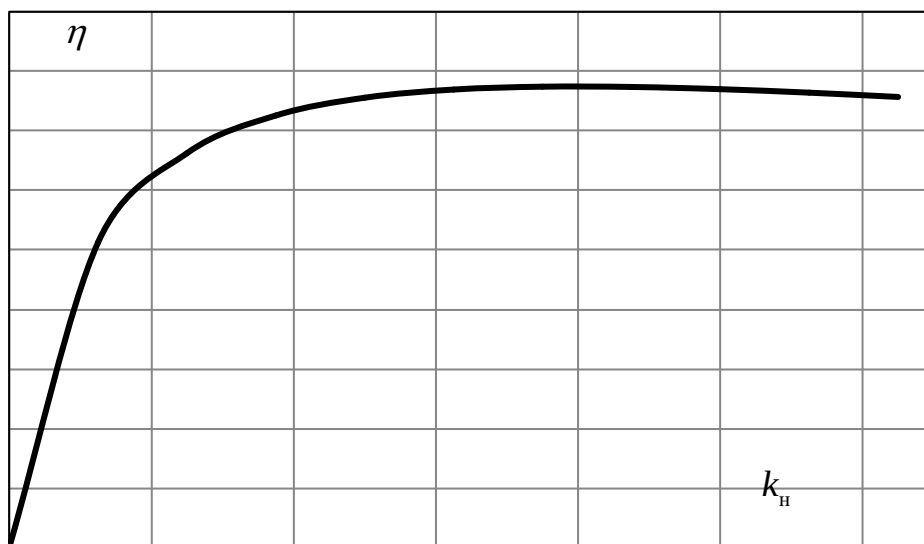


Рис. 3.1. Характеристика $\eta = f(k_H)$ для двигуна типу 4A80B4Y3

Оптимальне значення коефіцієнту навантаження $k_{H \text{ опт}}$, при якому значення ККД буде найбільшим, становить:

$$k_{H \text{ опт}} = \sqrt{K/V_{\text{ном}}} ; \quad (3.10)$$

$$k_{H \text{ опт}} = \sqrt{174,01/274,04} = 0,8.$$

Цьому значенню відповідає максимальне значення ККД:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{k_{H \text{ опт}} \cdot P_{\text{ном}}}{k_{H \text{ опт}} \cdot P_{\text{ном}} + K + k_{H \text{ опт}}^2 \cdot V_{\text{ном}}} ; \quad (3.11)$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{0,8 \cdot 1500}{0,8 \cdot 1500 + 174,01 + 0,8^2 \cdot 274,04} = 0,774.$$

Аналіз характеристики $\eta = f(k_H)$ показує, що при коефіцієнті навантаження $k_H = 0,4$ і менше відбувається суттєве зменшення ККД двигуна, а, значить, і його енергоефективності. Тому раціональним способом підвищення енергоефективності електропривода вентиляційної установки, коефіцієнт навантаження якої нижче 0,4, є заміна двигуна на двигун меншої потужності.

Проведемо аналіз відносного збільшення енергоефективності за рахунок скорочення величини втрат в двигуні при заміні його на менш потужний, коли коефіцієнт навантаження електроприводу становить $k_n = 0,4; 0,3; 0,2$.

Для заміни існуючого двигуна типу 4A80B4Y3 пропонуються наступні двигуни: 4A80A4Y3 (при $k_n = 0,4$), 4A71B4Y3 (при $k_n = 0,3$) та 4A71A4Y3 (при $k_n = 0,2$).

Основні параметри цих двигунів представлено в табл. 3.3 [6].

Таблиця 3.3

Тип двигуна	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n_1,$ об/хв	$S_{\text{ном}}$	η	$\cos \varphi$	$r_1,$ в.од	$r'_2,$ в.од.	$U_{1\phi},$ В	$I_{1\phi},$ А
4A80A4Y3	1,1	1500	0,054	0,75	0,81	0,12	0,068	220	2,74
4A71B4Y3	0,75	1500	0,075	0,72	0,73	0,11	0,11	220	2,16
4A71A4Y3	0,55	1500	0,073	0,705	0,7	0,13	0,11	220	1,69

1. Для двигуна типу 4A80A4Y3 визначимо залежність $\eta = f(k_n)$ і проаналізуємо її на предмет оптимального значення коефіцієнта навантаження.

Опір обмотки статора приведений до робочої температури становить (3.1):

$$R_1 = 0,12 \cdot \frac{220}{2,74} = 9,62 \text{ Ом.}$$

Опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора дорівнює (3.2):

$$R'_2 = 0,068 \cdot \frac{220}{2,74} = 5,45 \text{ Ом.}$$

Швидкість ідеального неробочого ходу для двигуна такого типу становить (3.3):

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальна швидкість обертання дорівнює (3.4):

$$\omega_{\text{ном}} = 157 \cdot (1 - 0,054) = 148,5 \text{ с}^{-1}.$$

					0024.ДМР21.04.ПЗ		Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			27

Номінальний момент, який розвивається двигуном (3.5):

$$M_{\text{ном}} = \frac{1100}{148,5} = 7,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Визначимо змінні втрати в двигуні в номінальному режимі (3.6):

$$V_{\text{ном}} = 7,4 \cdot 157 \cdot 0,054 \cdot \left(1 + \frac{9,62}{5,45}\right) = 173,6 \text{ Вт.}$$

Сумарні втрати в двигуні в номінальному режимі становлять (3.7):

$$\Delta P_{\text{ном}} = 1100 \cdot \frac{1 - 0,75}{0,75} = 366,7 \text{ Вт.}$$

Відповідно сталі втрати в двигуні дорівнюють (3.8):

$$K = 366,7 - 173,6 = 193,1 \text{ Вт.}$$

Залежність $\eta = f(k_n)$ отримаємо підставивши у вираз (3.9) $k_n = 0 \dots 1,25$ та інші значення, які було отримано вище. Отриману залежність представимо у вигляді табл. 3.4 та графічно на рис. 3.2.

Таблиця 3.4

k_n	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25
η	0	0,413	0,574	0,655	0,699	0,725	0,739	0,747	0,75	0,75	0,748

Оптимальне значення коефіцієнту навантаження $k_{n \text{ опт}}$, при якому значення ККД буде найбільшим становить (3.10):

$$k_{n \text{ опт}} = \sqrt{\frac{193,1}{173,6}} = 1,05.$$

Цьому значенню відповідає максимальне значення ККД (3.11):

$$\eta_{\text{max}} = \frac{1,05 \cdot 1100}{1,05 \cdot 1100 + 193,1 + 1,05^2 \cdot 173,6} = 0,75.$$

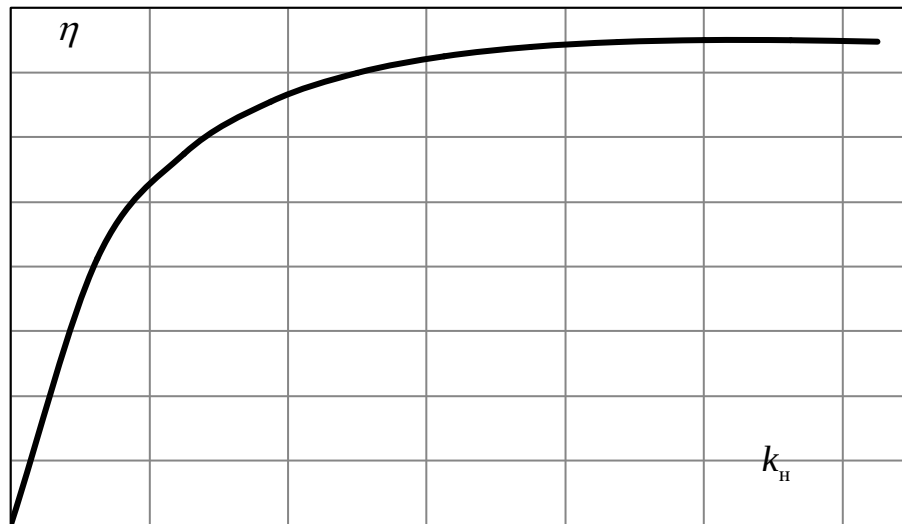


Рис. 3.2. Характеристика $\eta = f(k_n)$ для двигуна типу 4A80A4Y3

2. Визначимо залежність $\eta = f(k_n)$ і оптимальне значення коефіцієнта навантаження для двигуна типу 4A71B4Y3.

Опір обмотки статора приведений до робочої температури становить (3.1):

$$R_1 = 0,11 \cdot \frac{220}{2,16} = 11,19 \text{ Ом.}$$

Опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора дорівнює (3.2):

$$R'_2 = 0,11 \cdot \frac{220}{2,16} = 11,19 \text{ Ом.}$$

Швидкість ідеального неробочого ходу для двигуна такого типу становить (3.3):

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальна швидкість обертання дорівнює (3.4):

$$\omega_{\text{ном}} = 157 \cdot (1 - 0,075) = 145,2 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент, який розвивається двигуном (3.5):

$$M_{\text{ном}} = \frac{750}{145,2} = 5,2 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Визначимо змінні втрати в двигуні в номінальному режимі (3.6):

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$V_{\text{ном}} = 5,2 \cdot 157 \cdot 0,075 \cdot \left(1 + \frac{11,19}{11,19}\right) = 121,6 \text{ Вт.}$$

Сумарні втрати в двигуні в номінальному режимі становлять (3.7):

$$\Delta P_{\text{ном}} = 750 \cdot \frac{1 - 0,72}{0,72} = 291,7 \text{ Вт.}$$

Відповідно сталі втрати в двигуні дорівнюють (3.8):

$$K = 291,7 - 121,6 = 170,1 \text{ Вт.}$$

Залежність $\eta = f(k_n)$ отримаємо підставивши у вираз (3.9) $k_n = 0 \dots 1,25$ та інші значення, які було отримано вище. Отриману залежність представимо у вигляді табл. 3.5 та графічно на рис. 3.3.

Таблиця 3.5

k_n	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25
η	0	0,354	0,513	0,600	0,652	0,683	0,702	0,714	0,72	0,723	0,722

Оптимальне значення коефіцієнту навантаження $k_{n \text{ опт}}$, при якому значення ККД буде найбільшим становить (3.10):

$$k_{n \text{ опт}} = \sqrt{\frac{170,1}{121,6}} = 1,18.$$

Цьому значенню відповідає максимальне значення ККД (3.11):

$$\eta_{\text{max}} = \frac{1,18 \cdot 750}{1,18 \cdot 750 + 170,1 + 1,18^2 \cdot 121,6} = 0,72.$$

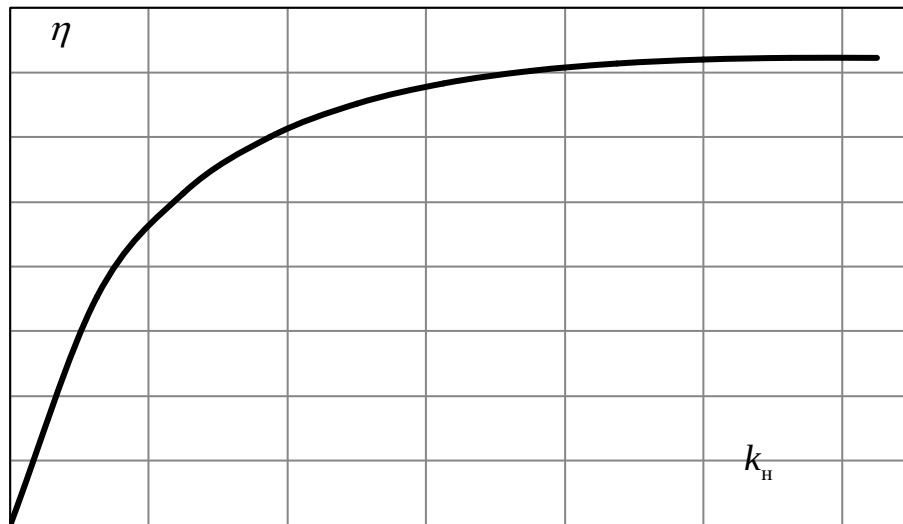


Рис. 3.3. Характеристика $\eta = f(k_n)$ для двигуна типу 4A71B4Y3

3. Проаналізуємо залежність $\eta = f(k_n)$ для двигуна типу 4A71B4Y3.

Опір обмотки статора приведений до робочої температури становить (3.1):

$$R_1 = 0,13 \cdot \frac{220}{1,69} = 16,94 \text{ Ом.}$$

Опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора дорівнює (3.2):

$$R'_2 = 0,11 \cdot \frac{220}{1,69} = 14,33 \text{ Ом.}$$

Швидкість ідеального неробочого ходу для двигуна такого типу становить (3.3):

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальна швидкість обертання дорівнює (3.4):

$$\omega_{\text{ном}} = 157 \cdot (1 - 0,073) = 145,54 \text{ с}^{-1}.$$

Номінальний момент, який розвивається двигуном (3.5):

$$M_{\text{ном}} = \frac{550}{145,54} = 3,8 \text{ Н·м.}$$

Визначимо змінні втрати в двигуні в номінальному режимі (3.6):

$$V_{\text{ном}} = 3,8 \cdot 157 \cdot 0,073 \cdot \left(1 + \frac{16,94}{14,33}\right) = 94,5 \text{ Вт.}$$

Сумарні втрати в двигуні в номінальному режимі становлять (3.7):

$$\Delta P_{\text{ном}} = 550 \cdot \frac{1 - 0,705}{0,705} = 230,1 \text{ Вт.}$$

Відповідно сталі втрати в двигуні дорівнюють (3.8):

$$K = 230,1 - 94,5 = 135,6 \text{ Вт.}$$

Залежність $\eta = f(k_n)$ отримаємо підставивши у вираз (3.9) $k_n = 0 \dots 1,25$ та інші значення, які було отримано вище. Отриману залежність представимо у вигляді табл. 3.6 та графічно на рис. 3.4.

Таблиця 3.6

k_n	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25
η	0	0,334	0,493	0,581	0,633	0,666	0,686	0,698	0,705	0,708	0,708

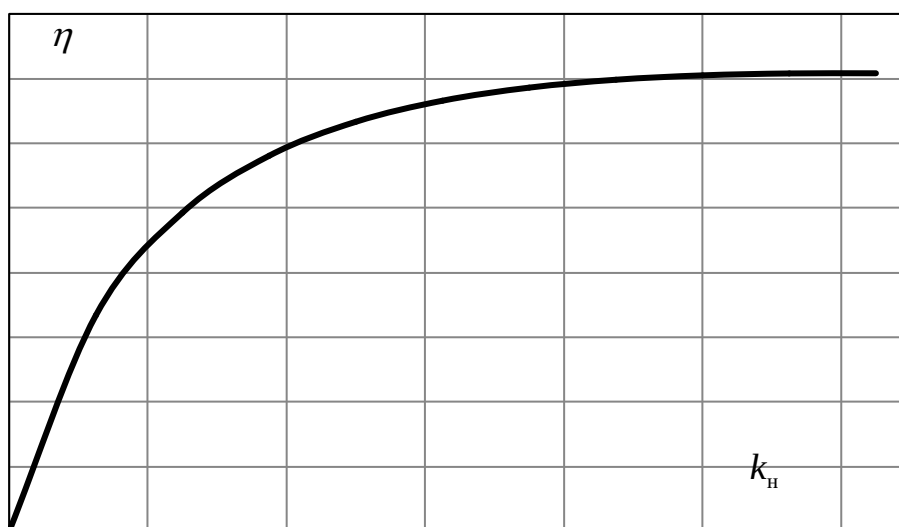


Рис. 3.4. Характеристика $\eta = f(k_n)$ для двигуна типу 4A71B4Y3

Оптимальне значення коефіцієнту навантаження $k_{n \text{ опт}}$, при якому значення ККД буде найбільшим становить (3.10):

$$k_{n \text{ опт}} = \sqrt{135,6 / 94,5} = 1,20.$$

Цьому значенню відповідає максимальне значення ККД (3.11):

					0024.ДМР21.04.ПЗ		Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			32

$$\eta_{\max} = \frac{1,20 \cdot 550}{1,20 \cdot 550 + 170,1 + 1,20^2 \cdot 121,6} = 0,71.$$

3.3 Оцінка ефективності заходів по заміні недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності

Як було сказано вище, одним із способів підвищення енергоефективності нерегульованих електроприводів є заміна недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності. Проведемо кількісний аналіз ефективності такого методу з точки зору зменшення втрат в новому двигуні.

Потужність навантаження при відповідних k_n становить: при $k_n = 0,4$ $P_p = 600$ Вт; при $k_n = 0,3$ $P_p = 450$ Вт; $k_n = 0,2$ $P_p = 300$ Вт. Ці навантаження для нових двигунів становлять відповідно:

$$\text{Для двигуна 4A80A4Y3 } k_n = \frac{600}{1100} = 0,55.$$

$$\text{Для двигуна 4A71B4Y3 } k_n = \frac{450}{750} = 0,6.$$

$$\text{Для двигуна 4A71A4Y3 } k_n = \frac{300}{550} = 0,55.$$

Приймаючи, що сумарні втрати в двигуні при будь-якому k_n дорівнюють:

$$\Delta P = K + k_n^2 \cdot V_{\text{ном}}, \quad (3.12)$$

оцінимо сумарні втрати потужності в нових двигунах при відповідних значеннях коефіцієнта навантаження.

$$\text{Для двигуна 4A80A4Y3 } \Delta P = 193,1 + 0,55^2 \cdot 173,6 = 245,58 \text{ Вт.}$$

$$\text{Для двигуна 4A71B4Y3 } \Delta P = 170 + 0,6^2 \cdot 121,6 = 213,83 \text{ Вт.}$$

$$\text{Для двигуна 4A71A4Y3 } \Delta P = 135,6 + 0,55^2 \cdot 94,5 = 154,78 \text{ Вт.}$$

Порівняння отриманих результатів представлено у вигляді табл. 3.7.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						33
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.7

Показник	Навантаження k_n		
	0,2	0,3	0,4
Реальна потужність навантаження P_p , Вт	300	450	600
Втрати потужності в замінюваному двигуні, Вт	198,67	242,52	272,67
Тип двигуна для заміни	4A71A4Y3	4A71B4Y3	4A80A4Y3
Номінальна потужність нового двигуна $P_{ном}$, Вт	550	750	1100
Втрати потужності в новому двигуні при заданому навантаженні ΔP , Вт	154,78	213,83	245,58
Зниження втрат потужності при заміні двигуна $\Delta P_{екон}$, Вт	43,89	28,69	27,08

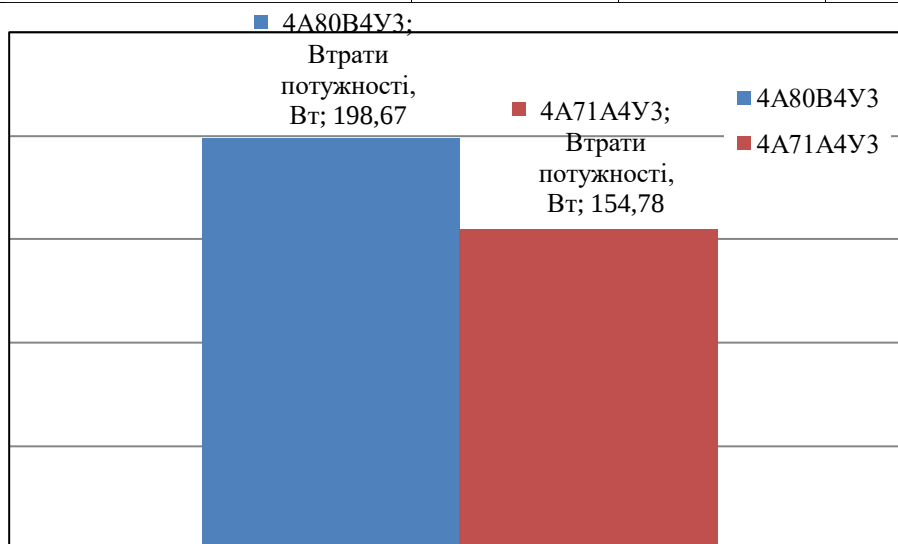


Рис. 3.5. Порівняння втрат потужності при $k_n = 0,2$ при заміні двигуна типу 4A80B4Y3 на двигун 4A71A4Y3

Як видно з табл. 3.7 та рис. 3.5, при заміні двигуна 4A80B4Y3, який працює з коефіцієнтом завантаження $k_n = 0,2$ двигуном меншої потужності типу 4A71A4Y3 зменшення втрат складе 43,89 Вт.

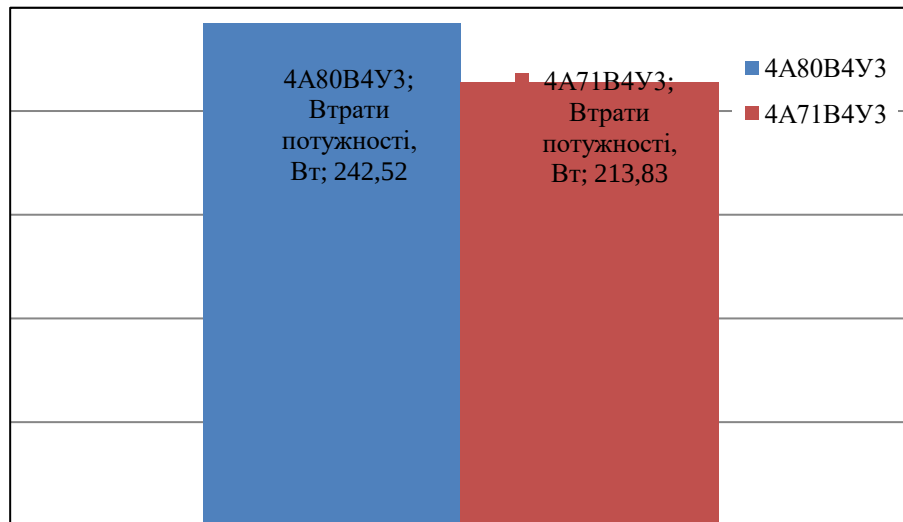


Рис. 3.6. Порівняння втрат потужності при $k_n = 0,3$ при заміні двигуна типу 4A80B4Y3 на двигун 4A71B4Y3

При заміні цього ж двигуна, який працює із $k_n = 0,3$, двигуном меншої потужності типу 4A71B4Y3 зменшення втрат становить 28,69 Вт (рис. 3.6).

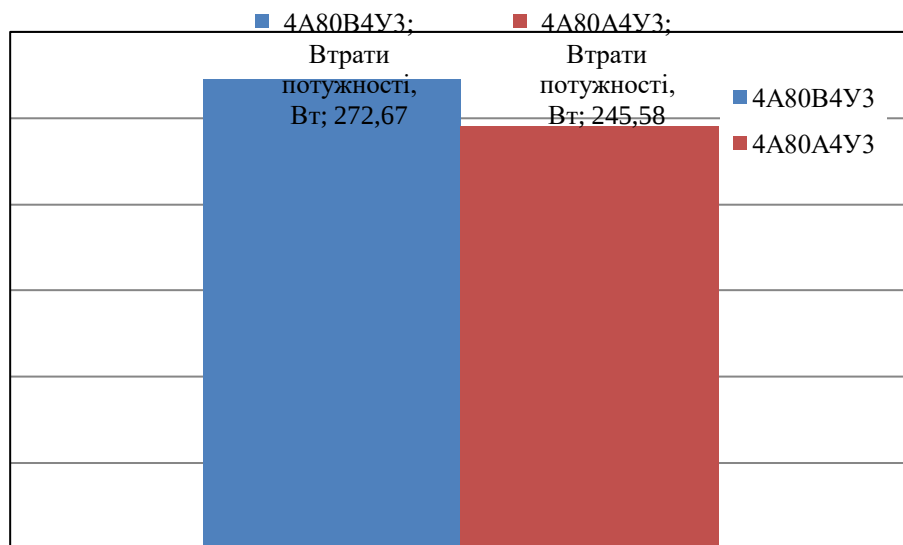


Рис. 3.7. Порівняння втрат потужності при $k_n = 0,4$ при заміні двигуна типу 4A80B4Y3 на двигун 4A80A4Y3

При заміні двигуна 4A80B4Y3, який працює із $k_n = 0,4$, на двигун меншої потужності 4A80A4Y3 зменшення втрат становить лише 27,08 Вт.

Показане зменшення втрат дає наступне відносне збільшення енергоефективності електроприводу при заміні двигуна типу 4A80B4У3 на двигуни меншої потужності в залежності від k_H (рис. 3.8):

- при $k_H = 0,4$ – 9,9 %;
- при $k_H = 0,3$ – 11,8 %;
- при $k_H = 0,2$ – 22,1 %.

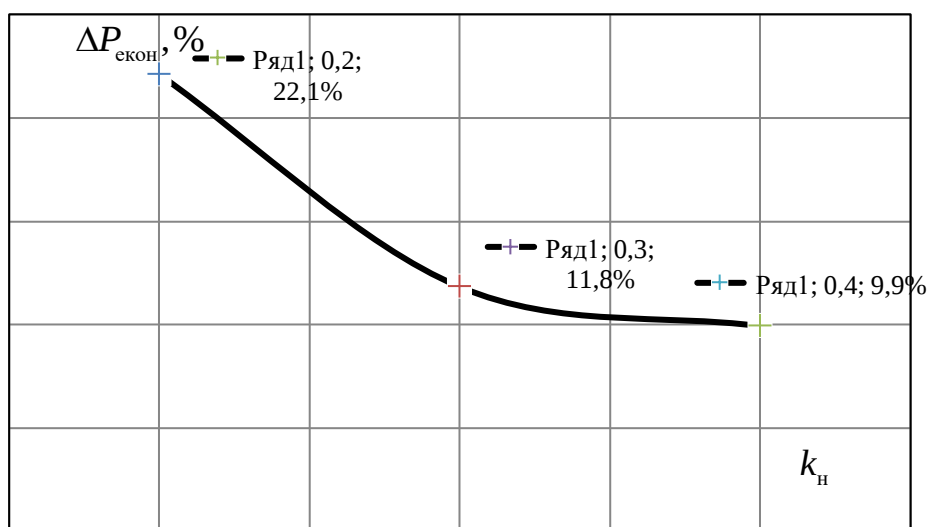


Рис. 3.8. Відносне збільшення енергоефективності за рахунок скорочення втрат при заміні встановленого недовантаженого двигуна двигунами меншої потужності

3.4 Висновки до третього розділу

Суттєвого впливу на енергоефективність з точки зору збільшення втрат в двигунах завдає такий експлуатаційний показник, як коефіцієнт навантаження двигуна. В умовах реальної експлуатації він може коливатися в широких діапазонах. Причому цілком реальним в експлуатації є випадок, коли електропривод досить тривалий час працює із коефіцієнтом навантаження нижчим за 0,5.

Проведені дослідження показали, що для двигуна типу 4A80B4Y3 доцільно проводити заміну на двигун меншої потужності, коли його коефіцієнт навантаження становить 0,4 і менше.

При $k_n = 0,4$ і при заміні двигуном типу 4A80A4Y3 зменшення втрат в новому двигуні становить 27,08 Вт. Це дає відносне збільшення енергоефективності на 9,9% у порівнянні із експлуатацією недовантаженого двигуна.

При $k_n = 0,3$ і заміні двигуном типу 4A71B4Y3 зменшення втрат в новому двигуні складає 28,69 Вт, а відносне збільшення енергоефективності при цьому спостерігається у межах 11,8%.

При $k_n = 0,2$ зменшення втрат у новому двигуні типу 4A71A4Y3 становить 43,89 Вт, що відповідає відносному збільшенню енергоефективності електропривода за рахунок зменшення втрат в двигуні на 22,1% у порівнянні із експлуатацією недовантаженого двигуна.

Таким чином можна сказати, що найбільш ефективною з точки зору зменшення втрат, є заміна двигуна на двигун меншої потужності, якщо останній завантажено на 20% і менше.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги безпеки праці під час виконання робіт по розробці і експлуатації електроприводів

Електричний двигун (електропривод) є діючою електроустановкою, тобто являє собою установку або частину її, яка перебуває під напругою, або на яку напруга може бути подана вмиканням комутаційних апаратів. При експлуатації електроприводів мають місце шкідливі і небезпечні виробничі фактори.

Шкідливий фактор – це виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах може призвести до захворювання або зниження працездатності [8]. До шкідливих виробничих факторів при експлуатації електроприводів відносять шум, вібрацію та в окремих випадках дію сильних електромагнітних полів. Гранично допустимі рівні шуму, вібрації та електромагнітних завад при роботі електропривода обумовлюються чинними нормативними документами, вимоги яких повинні бути враховані як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації електроприводу.

Небезпечний фактор – це виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми, гострого отруєння або іншого раптового різкого погіршення здоров'я або смерті [8]. Серед можливих небезпечних виробничих факторів при експлуатації електроприводів є ураження електричним струмом при дотиканні до струмоведучих частин, а також травматизація при потраплянні персоналу під дію обертових частин механізму.

Вимоги стосовно безпеки праці, зокрема в частині електробезпеки та пожежної безпеки, застосовуються до електроприводів, як на етапі їх проектування, так і під час їх промислової експлуатації. Основними нормативними документами в цій галузі є Правила улаштування електроустановок, Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

(НПАОП 40.1-1.21-98) та Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція (НАПБ В.01.056-2013/111).

4.1.1. Вимоги безпеки при проектуванні електроприводів відповідно до [9, 12].

1. Частини електродвигунів і обертові частини, які з'єднують електродвигуни з механізмами (муфти, шків), повинні мати захисні огороження від випадкових дотиків.

2. Електродвигуни та їх апарати керування і захисту треба заземлювати відповідно до вимог глави 1.7 Правил улаштування електроустановок.

3. Виконання електродвигунів та їх апаратів керування і захисту має відповідати умовам використання.

4. Електродвигуни має бути вибрано і встановлено таким чином, щоб унеможливити потрапляння на їх обмотки і струмопровідні частини води, масла, емульсії тощо, а вібрації устаткування, фундаментів і частин будівлі не перевищували допустимих значень.

5. Шум, створюваний електродвигуном спільно з механізмом, який приводиться ним, не має перевищувати рівня, допустимого санітарними нормами.

6. Проходи для обслуговування між фундаментами або корпусами електродвигунів, між машинами і частинами будівлі або устаткування має бути не меншою ніж 1 м у просвіті; допускаються місцеві звуження проходів між виступаючими частинами машин і будівельними конструкціями до 0,6 м на довжині, не більшій ніж 0,5 м.

7. Відстань у просвіті між корпусом машини і стіною будівлі, між корпусами і торцями машин, що стоять поряд (за наявності проходу з другого боку машин) має бути не меншою ніж 0,3 м за висоти машини до 1 м від рівня підлоги і не меншою 0,6 м – за висоти машини понад 1 м.

8. Електродвигуни і апарати, за винятком тих, які мають ступінь захисту, не меншу ніж IP44, резистори і реостати всіх виконань має бути встановлено на відстані, не меншій ніж 1 м від конструкцій будівель, виконаних із горючих

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалів.

9. Кабелі і проводи, які приєднують до електродвигунів, установлених на віброізолювальних основах, на ділянці між рухомою і нерухомою частинами основи повинні мати гнучкі мідні жили.

10. Для групи електродвигунів приводу однієї машини або ряду машин, які здійснюють єдиний технологічний процес, треба, як правило, застосовувати загальний апарат або комплект комутаційних апаратів, якщо це виправдовується вимогами зручності або безпеки експлуатації. У решті випадків кожен електродвигун повинен мати окремі апарати керування.

11. Апарати керування в колах електродвигунів мають вимикати від мережі одночасно всі провідники, які перебувають під напругою.

12. За наявності дистанційного або автоматичного керування електродвигуном будь-якого механізму поблизу останнього має бути встановлено апарат аварійного вимкнення, який унеможливило дистанційний або автоматичний пуск електродвигуна до примусового повернення цього апарата в початкове положення.

13. На корпусах апаратів керування і роз'єднувальних апаратах має бути нанесено чіткі знаки, які дають змогу легко розпізнавати увімкнене і вимкнене положення рукоятки керування апаратом. У випадках, коли оператор не може визначити за станом апарата керування, чи увімкнено або вимкнено головне коло електродвигуна, потрібно передбачати світлову сигналізацію.

4.1.2. Вимоги безпеки при експлуатації електродвигунів відповідно до [10, 11, 12].

1. На електродвигунах та механізмах, які вони приводять у дію, повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрямок обертання їх рухомих частин, а також написи з назвою агрегату, до якого вони належать.

2. На комутаційних апаратах (вимикачах, контакторах, магнітних пускачах, пускорегулювальних пристроях, запобіжниках тощо) повинні бути нанесені написи, що вказують, до якого електродвигуна вони належать.

3. Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зазначенням на клеймі номінальної сили струму вставки. Клеймо ставиться підприємством-виробником або електротехнічною лабораторією. Застосовувати некалібровані плавкі вставки забороняється.

4. У разі короткочасного припинення електроживлення повинен бути забезпечений самозапуск електродвигунів відповідальних механізмів після повторної подачі напруги, якщо збереження механізмів у роботі необхідне (за умов технологічного процесу) і допустиме за умов безпеки та зниження напруги електромережі.

Перелік електродвигунів відповідальних механізмів, які беруть участь у самозапуску, із зазначенням уставок захистів і допустимого часу перерви живлення затверджує особа, відповідальна за електрогосподарство.

5. Захисти елементів електричної мережі споживачів, а також технологічне блокування вузлів електричної мережі виконуються таким чином, щоб забезпечувався самозапуск електродвигунів відповідальних механізмів.

Для полегшення самозапуску відповідальних механізмів, як правило, повинен бути передбачений захист мінімальної напруги, що вимикає на час зниження (зникнення) напруги електродвигуни, які не беруть участі в процесі самозапуску.

6. Електродвигуни, що тривалий час перебувають у резерві, та пристрої автоматичного вмикання резерву (АВР) повинні оглядатись та випробуватись разом із механізмами відповідно до графіка, затвердженого особою, відповідальною за електрогосподарство. У цьому разі в електродвигунів зовнішнього розташування, які не мають обігріву, а також двигунів на напругу 6 кВ, що тривалий час перебувають у резерві, повинен бути перевірений опір ізоляції обмотки статора і коефіцієнт абсорбції.

7. Електродвигуни з короткозамкненими роторами допускається запускати з холодного стану два рази поспіль, з гарячого - один раз, якщо інструкція підприємства-виробника не передбачає більшої кількості пусків. Наступні пуски допускаються після їх охолодження протягом часу, обумовленого інструкцією підприємства-виробника для відповідного типу

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

електродвигуна.

Повторні увімкнення електродвигунів у разі їх вимкнення основними захистами допускаються після обстеження, проведення контрольних вимірів опору ізоляції і перевірки справності захистів.

Для електродвигунів відповідальних механізмів, що не мають резерву, допускається одне повторне увімкнення після дії основних захистів за результатами зовнішнього огляду двигуна.

Наступне увімкнення електродвигунів у разі дії резервних захистів до з'ясування причин вимкнення заборонене.

8. Для спостереження за пуском і роботою електродвигунів, регулювання технологічного процесу яких здійснюється за значенням сили струму, а також усіх електродвигунів змінного струму потужністю більше ніж 100 кВт на пусковому щитку чи панелі керування встановлюють амперметр, який вимірює силу струму у колі статора електродвигуна (потужністю менше 100 кВт, якщо він передбачений підприємством-виробником). Амперметр встановлюють також у колі збудження синхронних електродвигунів. На шкалі амперметра червоною рисою позначають значення допустимої сили струму (вище номінального значення сили струму електродвигуна на 5%).

На електродвигунах постійного струму, призначених для приводу відповідальних механізмів, незалежно від їх потужності необхідно контролювати силу струму якоря.

9. Для контролю наявності напруги на групових щитках і збірках електродвигунів повинні бути встановлені вольтметри або сигнальні лампи.

10. Для забезпечення нормальної роботи електродвигунів напругу на шинах необхідно підтримувати в межах від 100% до 105% від її номінального значення. За необхідності допускається робота електродвигуна з напругою 90-110% від її номінального значення. У разі зміни частоти живильної мережі в межах від мінус 2,5% до плюс 2,5% від номінального значення допускається робота електродвигунів з номінальною потужністю.

11. Вібрація, виміряна на кожному підшипнику електродвигуна,

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

осьовий зсув ротора, розмір повітряного зазору між сталлю статора та ротора, а також в підшипниках ковзання не повинні перевищувати значень, указаних у таблицях 22 та 23 додатка 1 та таблиці 43 додатка 2 до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів.

12. Постійний нагляд за навантаженням електродвигунів, щітковим апаратом, температурою елементів і охолоджувальних середовищ електродвигуна (обмотки і осердя статора, повітря, підшипників тощо), догляд за підшипниками і пристроями підведення охолоджувального повітря, води до повітроохолодників обмоток, а також операції з пуску, регулювання швидкості і зупинки здійснюють електротехнологічні працівники цеху (дільниці), які обслуговують механізм.

13. Електродвигуни, що продуваються і які встановлені в запилених приміщеннях і приміщеннях з підвищеною вологістю, повинні бути обладнані пристроями підведення чистого охолоджувального повітря, кількість якого і параметри (температура, вміст домішок тощо) повинні відповідати вимогам інструкції підприємства-виробника.

14. Щільність тракту охолодження (корпусу електродвигуна, повітропроводів, засувки) необхідно перевіряти не рідше ніж один раз на рік.

15. Індивідуальні електродвигуни зовнішніх вентиляторів охолодження повинні автоматично вмикатися і вимикатися у разі увімкнення та вимкнення основних електродвигунів.

16. Електродвигуни з водяним охолодженням статора чи ротора, а також з умонтованими водяними повітроохолодниками повинні бути обладнані пристроями, що сигналізують про появу води в корпусі. Організація експлуатації обладнання та апаратури систем водяного охолодження, якість конденсату та води повинні відповідати вимогам інструкцій підприємства-виробника.

17. Аварійні кнопки електродвигунів повинні бути опломбовані. Зривати пломби з аварійних кнопок для вимкнення електродвигуна допускається тільки в аварійних випадках. Опломбування аварійних кнопок

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

виконують працівники, визначені особою, відповідальною за електрогосподарство.

18. Періодичність капітальних і поточних ремонтів електродвигунів та технічного обслуговування, залежно від умов, у яких вони працюють, визначає особа, відповідальна за електрогосподарство. Залежно від умов поточний ремонт електродвигунів, як правило, здійснюють одночасно з ремонтом привідних механізмів, і його виконують навчені працівники споживача або підрядної організації.

19. Профілактичні випробування і вимірювання на електродвигунах повинні проводитись відповідно до таблиць 22 та 23 додатка 1 до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів [10].

20. Під час роботи, пов'язаної з доторканням до струмовідних частин електродвигуна або до частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять у рух, необхідно зупинити електродвигун і на його пусковому пристрої або ключі керування вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

21. Під час роботи на електродвигуні напругою понад 1000 В або механізмі, що приводиться ним у рух, пов'язаній з доторканням до струмовідних, або тих, що обертаються, частин, з електродвигуна має бути знята напруга згідно з вимогами пунктів 4.2.2 і 6.3.13 Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [11].

22. Під час роботи на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в розподільчому устаткуванні.

23. Під час роботи на електродвигуні напругою до 1000 В або механізмі, який приводиться ним у рух, зняття напруги і заземлення струмовідних жил кабелю слід виконувати згідно з пунктами 4.2.6, 4.2.7, 4.6.7 Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [11].

24. Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів і вентиляторів, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ними

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засувки і шибери цих механізмів, а також вжити заходів щодо гальмування роторів електродвигунів.

25. Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються, під час їх роботи.

26. Операції з вимикання і вмикання електродвигунів напругою понад 1000 В пусковою апаратурою з приводами ручного керування слід проводити з ізолювальної основи із застосуванням діелектричних рукавичок.

27. Обслуговувати щітковий апарат електродвигуна, що працює, допускається одноособово оперативному працівнику або виділеному для цього навченому працівнику з групою III. В цьому разі необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:

- працювати в головному уборі і застібнутому спецодязі, остерігаючись захоплення його частинами машини, що обертаються;
- користуватися діелектричним взуттям або гумовими килимками;
- не доторкатися руками одночасно до струмовідних частин двох полюсів або струмовідних і заземлених частин.

Кільця ротора допускається шліфувати на електродвигуні, що обертається, лише за допомогою колодок з ізоляційного матеріалу, із застосуванням захисних окулярів.

28. У багатошвидкісного електродвигуна, що працює, обмотка, яка не використовується, і кабель, що її живить, слід розглядати як такі, що перебувають під напругою.

29. Під час роботи на електродвигуні заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з розподільчим устаткуванням (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаній з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти заземлювати кабельну лінію не слід.

30. Якщо на відключеному електродвигуні роботи не провадять або їх перервано на кілька днів, то від'єднана від нього кабельна лінія має бути заземлена з боку електродвигуна. В тих випадках, коли перетин жил кабеля не

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається у електродвигунів напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником, перетином не меншим від перетину жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення і з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативному журналі нарівні з переносним заземленням.

31. На однотипових або близьких за габаритом електродвигунах, встановлених поряд з тим, на якому провадять роботи, слід вивісити плакати «Стій! Напруга» незалежно від того, перебувають вони в роботі чи у резерві.

32. Випробування електродвигуна спільно з виконавчим механізмом слід провадити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

33. Під час видавання дозволу робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а про отримання цього дозволу — в оперативному журналі цеху (дільниці), що провадить випробування.

34. Ремонт і налагоджування електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконавчим механізмом, регулювальних органів і запірної арматури можна проводити за розпорядженням. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на виведення електроприводу в ремонт, налагодження. Про це слід зробити запис під час оформлення розпорядження.

35. Вмикання електродвигуна для випробування до повного закінчення роботи здійснюється після виведення бригади з робочого місця. Після випробування провадиться повторний допуск з оформленням у наряді.

Під час виконання роботи за розпорядженням на повторний допуск розпорядження дається знову.

4.2 Дії працівників (персоналу) в аварійних (надзвичайних) ситуаціях

4.2.1 Вимоги стосовно електробезпеки при надзвичайних ситуаціях

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів [10] у разі виникнення аварійної ситуації передбачено негайне вимкнення електродвигуна персоналом.

Електродвигун (обертова машина) повинен бути негайно відключений від мережі у таких випадках:

- нещасний випадок (чи загроза) з людиною;
- поява диму, вогню або запаху горілої ізоляції з корпусу електродвигуна або його пускорегулювальної апаратури;
- вібрація понад допустимі норми, яка загрожує виходу з ладу електродвигуна або механізму;
- вихід з ладу привідного механізму;
- нагрівання підшипників або контрольованих вузлів понад допустиме значення температури, зазначене в інструкції підприємства-виробника ;
- виникнення КЗ в електричній схемі;
- значне зниження частоти обертання;
- швидке зростання температури обмоток або сталі статора.

В експлуатаційній інструкції можуть бути вказані й інші випадки, за якими електродвигуни (обертові машини) повинні бути негайно вимкнені, а також указаний порядок їх усунення [10].

4.2.2 Вимоги стосовно пожежної безпеки при надзвичайних ситуаціях

У разі виявлення ознак пожежі (горіння) на енергетичному об'єкті перша особа, яка виявила загоряння, зобов'язана негайно повідомити про це за телефоном 101, а також начальнику зміни (диспетчеру або черговому підстанції). У такому разі необхідно назвати місцезнаходження об'єкта, зазначити кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, наявність людей, обстановку на пожежі, а також повідомити своє прізвище. Після повідомлення про пожежу слід вжити (за можливості) заходів щодо евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі первинними засобами пожежогасіння та

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

збереження матеріальних цінностей, дотримуючись правил безпеки.

Зі свого боку начальник зміни (диспетчер або черговий підстанції) зобов'язаний перевірити, чи викликані підрозділи оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРСЦЗ) (за потреби продублювати повідомлення), повідомити про це керівника підприємства або особу, яка виконує його обов'язки, за потреби - викликати інші аварійно-рятувальні служби (медично-санітарні, газорятувальні, пошуково-рятувальні тощо).

Старший зміни особисто або за допомогою чергового персоналу зобов'язаний визначити місце осередку пожежі, можливі шляхи його поширення, загрозу робочому енергообладнанню, яке опинилося в зоні пожежі, організувати збір добровільної пожежної охорони (ДПО).

Після визначення місця осередку пожежі старший зміни зобов'язаний:

- особисто або за допомогою чергового персоналу перевірити ввімкнення систем протипожежного захисту (СПЗ) (за їх наявності);
- вжити заходів щодо створення безпечних умов для персоналу і підрозділів ОРСЦЗ під час гасіння пожежі, у разі загрози життю людей - негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- провести можливі операції на технологічних установках (вимкнення або перемикання на обладнанні, зняття напруги з електроустановок, та інші дії, передбачені оперативними картками та планами пожежогасіння);
- розпочати гасіння пожежі силами й засобами об'єкта;
- призначити для зустрічі підрозділів ОРСЦЗ особу, яка добре знає розташування під'їзних шляхів і джерел зовнішнього водопостачання;
- за потреби - вжити заходів для охолодження водою металевих ферм і колон будівлі від пожежних гідрантів і кран-комплектів або автоматичних систем пожежогасіння (АСПГ) з дотриманням вимог заходів безпеки.

До прибуття першого підрозділу ОРСЦЗ керівником гасіння пожежі (КГП) є старший зміни об'єкта (начальник зміни станції, начальник зміни цеху,

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

черговий диспетчер) або керівник об'єкта. КГП зобов'язаний передусім вивести з місця пожежі всіх сторонніх осіб і забезпечити виконання вимог безпеки щодо запобігання ураженню електричним струмом, інших небезпек для осіб, які перебувають поблизу місця пожежі.

При загоранні обмоток генераторів або синхронних компенсаторів з повітряним охолодженням машина повинна бути аварійно зупинена персоналом, вимкнена з мережі і введена в дію стаціонарна установка водяного пожежогасіння.

Забороняється застосування пінних і хімічних вогнегасників для гасіння пожежі всередині генераторів або синхронних компенсаторів [13].

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Визначено, що поняття енергоефективності є комплексним поняттям, яке виникає на стику декількох галузей науки і сфер суспільного життя: енергетики, економіки та державного управління.

2. Визначено коло потенційних умов підвищення енергоефективності промислових електроприводів.

3. Актуальність проведених досліджень підтверджено державною політикою у сфері енергоефективності, яка, серед іншого, задекларована в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року.

4. З метою підвищення наочності енергетичних процесів, які відбуваються в електроприводі введено і розкрито поняття силового каналу електропривода, а також розглянуто варіанти його фізичної реалізації на прикладі конкретних загальнопромислових електроприводів.

5. Розглянуто основні показники, за якими можна оцінити енергоефективність електромеханічної системи – коефіцієнт корисної дії за робочий цикл та узагальнений критерій енергоефективності. Визначено сферу використання та точність оцінювання для обох критеріїв.

6. Проаналізовано практичні способи реалізації енергоефективних заходів в загальнопромисловому обладнанні з нерегульованим електроприводом.

7. Проведено дослідження впливу коефіцієнту навантаження на енергоефективність нерегульованого електроприводу. Показано, що в реальній експлуатації цей показник може становити 0,4 і менше.

8. Аналіз результатів проведеного дослідження показав, що для двигуна типу 4A80B4Y3 доцільно проводити заміну на двигун меншої потужності, коли його коефіцієнт навантаження становить 0,4 і менше. Причому найбільш ефективною з точки зору зменшення втрат, є заміна двигуна на двигун меншої потужності, якщо останній завантажено на 20% і менше, так як при $k_n = 0,2$ зменшення втрат у новому двигуні типу 4A71A4Y3

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

становить 43,89 Вт, що відповідає відносному збільшенню енергоефективності електропривода за рахунок зменшення втрат в двигуні на 22,1% у порівнянні із експлуатацією недовантаженого двигуна.

9. Розроблено рекомендації стосовно впровадження заходів із безпеки праці при виконанні робіт під час проектування та експлуатації електроприводів, де також передбачено дії персоналу в надзвичайних ситуаціях.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закладний, О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. посібн. [текст] / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей – К: Кондар, 2005. – 408 с.

2. Балійчук, О. Ю. Підвищення коефіцієнту потужності електроприводів нестандартного обладнання підприємств з ремонту рухомого складу залізниць [текст] / О. Ю. Балійчук, Л. В. Дубинець, О. Л. Маренич, О. О. Лисенко // Електрифікація транспорту № 14. – 2017 – С. 31-36. – Бібліогр. 35 с.

3. Балійчук О. Ю. Аналіз шляхів підвищення енергетичних показників промислових електроприводів [текст] / О. Ю. Балійчук, Р. В. Краснов, Ю. О. Прудкогляд // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 81 Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 квітня 2021 р. – Д.: ДНУЗТ, 2021. – С. 56.

4. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. від 18.08.2017 [електрон. ресурс] – режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>

5. Ильинский Н. Ф. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: практ. пособ. Под. ред. В. А. Веникова [текст] / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожанковский, А. О. Горнов. – М.: Высш. шк., 1987. – 127 с.

6. Кравчик А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник [текст] / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

7. Электродвигатели 1500 об/мин. Каталог [електрон. ресурс] – режим доступу: https://xn--80a9y.com.ua/katalog_elektrodivigatelei_air/1500-ob-min/

8. ДСТУ2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять: чинний з 2015-05-01 [електрон. ресурс] – режим доступу: http://web.kpi.kharkov.ua/safetyofliving/wp-content/uploads/sites/171/2017/10/dstu_2293_2014.pdf

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

9. Правила улаштування електроустановок. Зміни та доповнення [текст] – Х.: Видавництво «Форт», 2016. – 252 с.

10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [текст] – Х.: Видавництво «Форт», 2012. – 374 с.

11. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [текст] – Х.: Видавництво «Форт», 2008. – 192 с.

12. Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція: НАПБ В.01.056-2013/111 : [затв. наказом Міненерговугілля України від 21.10.2013 № 756] [електрон. ресурс] – режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0756732-13#Text>

13. Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України: НАПБ В.01.034-2018/111 : [затв. наказом Міненерговугілля України від 26.09.2018 № 491] [електрон. ресурс] – режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-19#Text>

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

1. Силовий канал електропривода та діаграми потоків потужності.
2. Критерії енергоефективності.
3. Вплив коефіцієнта навантаження електроприводу на його енергоефективність.
4. Аналіз відносного збільшення енергоефективності за рахунок скорочення втрат при заміні недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності.

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ДОДАТОК А

					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СИЛОВИЙ КАНАЛ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТА ДІАГРАМИ ПОТОКІВ ПОТУЖНОСТІ

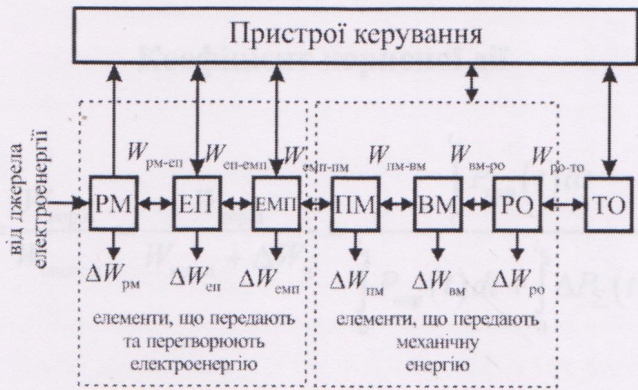


Рис. 1. Структура силового каналу електроприводу

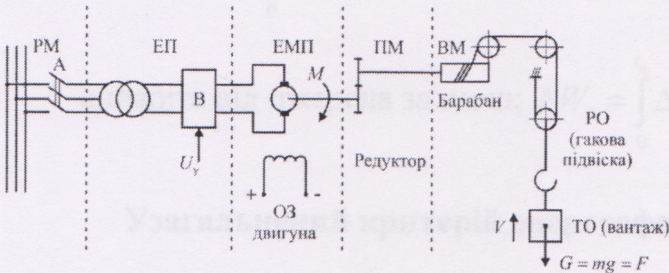


Рис. 2. Силовий канал електроприводу підйому мостового крану

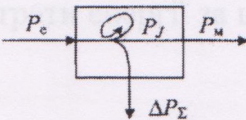


Рис. 3. Енергетична діаграма електроприводу підйому мостового крану

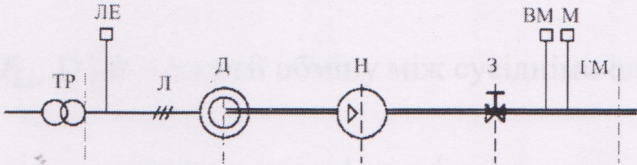


Рис. 4. Силовий канал електропривода насоса

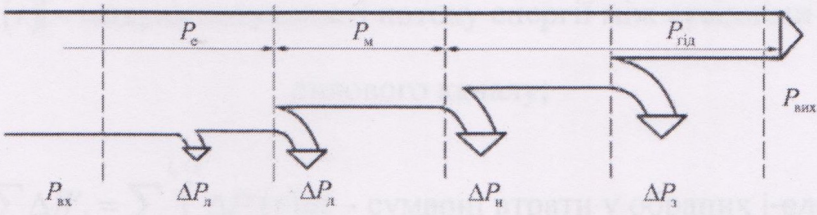


Рис. 5. Енергетична діаграма електроприводу насоса

Силовий канал електропривода та діаграми потоків потужності					Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Прудкогляд Ю.О.		20.12.21			1	1 : 1
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12.21				
Т. Контр.					Арк.	1	Аркушів	4
Реценз.					0024.DMP21.04.ПЗ			
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12.21	Український державний університет науки і технологій			
Затверд.		Муха А.М.		20.12.21	Група ЕП2021			

КРИТЕРІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{W_{\text{кор.ц}}}{W_{\text{спож.ц}}} = \frac{W_{\text{кор.ц}}}{W_{\text{кор.ц}} + \Delta W_{\text{ц}}} = \frac{\int_0^{t_{\text{ц}}} P_{\text{кор}}(t) dt}{\int_0^{t_{\text{ц}}} P_{\text{кор}}(t) dt + \int_0^{t_{\text{ц}}} \Delta P_{\Sigma}(t) dt},$$

де $W_{\text{кор.ц}} = \int_0^{t_{\text{ц}}} P_{\text{кор}}(t) dt$ - необхідна корисна енергія за цикл; $W_{\text{спож.ц}}$ - енергія спожита від джерела за цикл; $\Delta W_{\text{ц}} = \int_0^{t_{\text{ц}}} \Delta P_{\Sigma}(t) dt$ - втрати енергії за цикл.

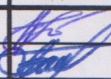
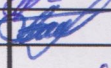
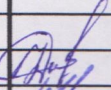
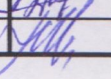
Узагальнений критерій енергоефективності силового каналу

$$H = \frac{W_{i,i+1}}{W_{i,i+1} + \sum_j \Delta W_j},$$

де $W_{i,i+1} = \int_{t_1}^{t_1+\tau} |P_{i,i+1}(t)| dt$ - енергії обміну між сусідніми елементами силового каналу за період оцінки;

$|P_{i,i+1}(t)|$ - модуль потужності потоку енергії між сусідніми елементами силового каналу;

$$\sum_j \Delta W_j = \sum_j \int_{t_1}^{t_1+\tau} \Delta P_j(t) dt$$
 - сумарні втрати у обраних j-елементах.

					Критерії енергоефективності				
					Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів	Літ.		Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				1	1 : 1
Розроб.		Прудкогляд Ю.О.		20.12					
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12					
Т. Контр.						Арк.	2	Аркушів	4
Реценз.					0024.ДМР21.04.ПЗ	Український державний університет науки і технологій Група ЕП2021			
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12					
Затверд.		Муха А.М.		20.12					

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ДВИГУНА 4А80В4УЗ

$P_{\text{ном}}$, кВт	n_1 , об/хв	$s_{\text{ном}}$	η	$\cos \varphi$	r_1 , в.од	r_2' , в.од.	$U_{1\phi}$, В	$I_{1\phi}$, А
1,5	1500	0,058	0,77	0,83	0,12	0,061	220	3,56

ЗАЛЕЖНІСТЬ $\eta = f(k_n)$ ДЛЯ ДВИГУНА 4А80В4УЗ

k_n	0	0,125	0,25	0,375	0,50	0,625	0,75	0,875	1	1,125	1,25
η	0	0,513	0,662	0,726	0,756	0,769	0,774	0,774	0,770	0,764	0,757

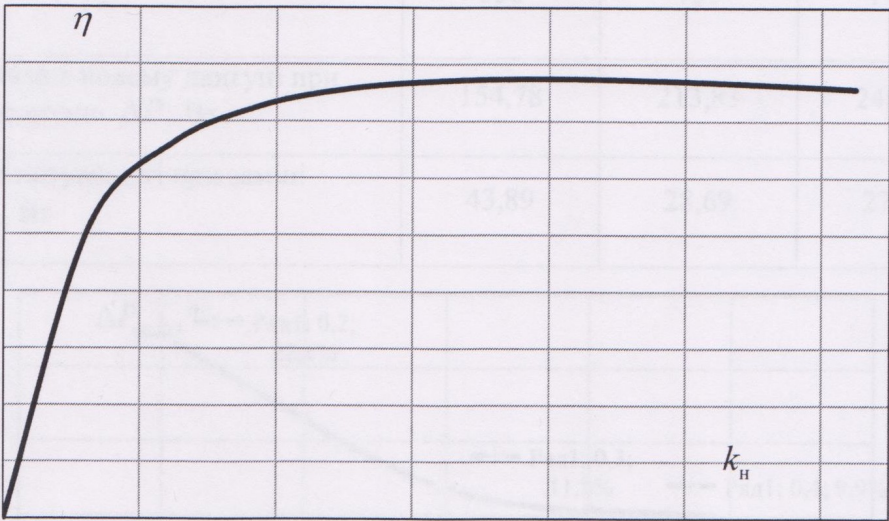
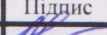
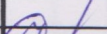


Рис.1. Характеристика $\eta = f(k_n)$ для двигуна типу 4А80В4УЗ

$$k_{n \text{ опт}} = \sqrt{K/V_{\text{ном}}} = \sqrt{174,01/274,04} = 0,8.$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{k_{n \text{ опт}} \cdot P_{\text{ном}}}{k_{n \text{ опт}} \cdot P_{\text{ном}} + K + k_{n \text{ опт}}^2 \cdot V_{\text{ном}}} = \frac{0,8 \cdot 1500}{0,8 \cdot 1500 + 174,01 + 0,8^2 \cdot 274,04} = 0,774.$$

					Вплив коефіцієнта навантаження електроприводу на його енергоефективність								
						Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів	Літ.			Маса		Масштаб	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							1		1 : 1
Розроб.		Прудкогляд Ю.О.		20.12									
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12									
Т. Контр.													
Реценз.					0024.ДМР21.04.ПЗ	Арк.			3		Аркушів 4		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12		Український державний університет науки і технологій Група ЕП2021							
Затверд.		Муха А.М.		20.12									

АНАЛІЗ ВІДНОСНОГО ЗБІЛЬШЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ЗА РАХУНОК СКОРОЧЕННЯ ВТРАТ

Оцінка ефективності заходів по заміні недовантаженого двигуна двигуном меншої потужності

Показник	Навантаження k_n		
	0,2	0,3	0,4
Реальна потужність навантаження P_p , Вт	300	450	600
Втрати потужності в замінюваному двигуні, Вт	198,67	242,52	272,67
Тип двигуна для заміни	4A71A4Y3	4A71B4Y3	4A80A4Y3
Номінальна потужність нового двигуна $P_{ном}$, Вт	550	750	1100
Втрати потужності в новому двигуні при заданому навантаженні ΔP , Вт	154,78	213,83	245,58
Зниження втрат потужності при заміні двигуна $\Delta P_{скон}$, Вт	43,89	28,69	27,08

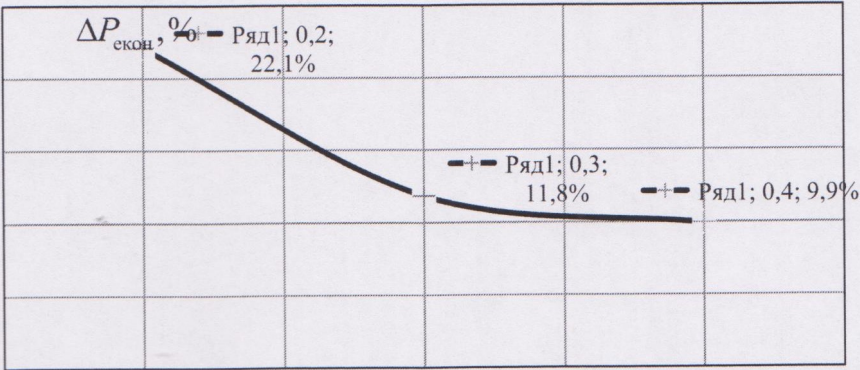


Рис. 1. Відносне збільшення енергоефективності за рахунок скорочення втрат при заміні встановленого недовантаженого двигуна двигунами меншої потужності

					Аналіз відносного збільшення енергоефективності за рахунок скорочення втрат			
					Аналіз впливу експлуатаційних показників на енергоефективність промислових електроприводів	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Прудкогляд Ю.О.		20.12			1	1 : 1
Перевір.		Балійчук О.Ю.		20.12				
Т. Контр.						Арк.	4	Аркушів 4
Реценз.					0024.ДМР21.04.ПЗ	Український державний університет науки і технологій Група ЕП2021		
Н. Контр.		Карзова О.О.		20.12				
Затверд.		Муха А.М.		20.12				