

Заклад вищої освіти „Подільський державний університет”
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ»

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми навчання
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-професійної
програми «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

ЛАЗАРЮК Олексій Валерійович

Керівник професор

МИХАЙЛОВА Людмила Миколаївна

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« ____ » _____ 2023 р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2023 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Енергетичний менеджмент» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
докт. с-г. наук, канд. техн. наук, доцент

Олег ТКАЧ

м. Кам'янець-Подільський, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	11
1.1 Загальні положення.....	11
1.2 Методи та засоби діагностування електромеханічних систем.....	16
1.3 Класифікація методів діагностування електромеханічних систем з асинхронними двигунами.....	25
Висновки до розділу	28
2 ЗАВДАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.....	29
2.1 Фактори впливу на енергоефективність і технічний стан електромеханічних систем з асинхронними двигунами	29
2.2 Вплив якості напруги живлення на електромеханічні системи з синхронними двигунами.....	41
2.3 Завдання моніторингу та функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем	47
Висновки до розділу	52
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ.....	53
3.1 Аварійні режими асинхронних двигунів	53
3.2 Методичні рекомендації щодо визначення аварійних режимів асинхронних двигунів	56
3.3 Визначення технічного стану електромеханічних систем з асинхронними двигунами.....	60
3.4 Визначення енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами.....	68
Висновки до розділу	70

4 ЗАСОБИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.....	71
4.1 Схемно-технічні рішення функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем	71
4.2 Алгоритм функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами	80
4.3 Програмне забезпечення функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами.....	84
4.4 Алгоритми теплового і струмового захисту асинхронних двигунів для засобів функціонального діагностування електромеханічних систем.....	91
Висновки до розділу	102
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

ВСТУП

Енергозбереження стоїть перед нами як одне з ключових завдань сучасності. Підвищення ефективності використання енергії - це актуальне завдання. Значні можливості для збереження енергії мають електромеханічні системи (ЕМС) з електроприводом, оскільки обладнання, що працює на них, є одними з найбільших споживачів електроенергії (більше 60% виробленої у світі електроенергії споживається ЕМС).

Близько 80% ЕМС обладнані асинхронними електродвигунами (АД). Регульовані асинхронні електроприводи (АЕП) з комплексним технологічним процесом складають лише малу частку від загальної кількості. Більшість ЕМС прості, зазвичай нерегульовані масові АД, що приводять в рух вентилятори, насоси, конвеєри, підйомні механізми та інше. Ці ЕМС з АД є основними споживачами електроенергії, де можливе реальне збереження енергії.

Більшість промислових установок і механізмів на підприємствах України експлуатуються понад встановлений термін служби, що веде до їхньої високої аварійності та виходу з ладу АЕП. Наприклад, близько 80% установок і механізмів гірничовидобувних підприємств в Україні експлуатуються понад встановлений термін служби, а середній термін служби АЕП в цій галузі не перевищує 5 років.

Кожен рік виходить з ладу до 30% АД у гірничовидобувній, 20% - у машинобудівній, 15% - у металургійній, 55% - у будівництві, 15-25% - у сільському господарстві, 25% - у промисловості будівельних матеріалів, 25% - у харчовій промисловості, 10-15% - у хімічній, 20% - у машинобудуванні. Більшість двигунів може бути відремонтована 3-4 рази, але після ремонту часто не працює навіть рік, а третина з них - навіть не три місяці.

Правильна експлуатація АЕП забезпечує високу енергоефективність та надійність. Використання АЕП у незадовільному технічному стані призводить до збільшення фінансових витрат (до 10%), оскільки збільшується електроспоживання через зростання втрат в агрегатах. Крім того, матеріали

конструкції старіють, що призводить до зростання втрат у сталі та міді, а також зниження навантажувальної здатності АЕП. Некоректне перетворення енергії супроводжується додатковим нагріванням та вібрацією обладнання, збільшенням реактивної потужності тощо.

Одним із головних причин низької енергоефективності ЕМС та виникнення аварій є недостатній рівень експлуатації, неправильне врахування впливу якості живлення та режиму навантаження, обмежений обсяг інформації про технічний стан обладнання, відсутність ефективного безперервного захисту двигунів, несвоєчасне виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісний ремонт тощо.

Однією з перешкод для широкого впровадження енергозбереження є відсутність управління раціональним використанням енергії на рівні конкретного технологічного споживача - ЕМС. Часто оцінка енергоефективності проводиться несистематично, наприклад, під час проведення енергетичного аудиту. Перспективним підходом може стати впровадження постійного моніторингу та діагностування енергоефективності й технічного стану ЕМС для оперативного реагування на погіршення їх стану та порушення технологічного режиму.

Ефективність заходів з енергозбереження в значній мірі залежить від енергоефективності ЕМС, яка наразі залишається низькою. Літературні джерела з проблем енергоефективності ЕМС пропонують проекти з енергозбереження, але їх реалізація потребує значних інвестицій. Використання засобів моніторингу та діагностування енергоефективності й технічного стану ЕМС може стати окремим заходом енергозбереження, при цьому витрати на них значно нижчі порівняно з витратами на реалізацію проектів енергозбереження.

ВИСНОВКИ

Однією з головних проблем, яка стоїть перед підвищенням конкурентоздатності вітчизняної продукції на світовому ринку, є зменшення енергетичної складової у її собівартості. Витрати на електроенергію, яку використовує електромеханічне обладнання з асинхронними електродвигунами протягом їхнього життєвого циклу (строку експлуатації), значно перевищують вартість самого устаткування і витрати на його обслуговування.

Недостатня якість перетворення енергії в електричній машині призводить до того, що частина енергії витрачається не на корисну роботу, а на додаткове нагрівання та вібрацію. У таких машинах навіть симетрична номінальна напруга може призвести до насичення сталі, зменшення потужності, а в подальшому - перегрівання та виходу з ладу.

Аналіз існуючих методів діагностування асинхронних електроприводів показує, що зараз контроль за їхнім технічним станом в основному проводиться під час планових ремонтів за допомогою тестувального діагностування. Це не дозволяє виявити дефекти, які зароджуються, та запобігти ушкодженню асинхронних електроприводів до того, як виникне аварійна ситуація.

Після ремонту параметри та характеристики машин значно відрізняються від заводських, і, по суті, відремонтований двигун - це інша електрична машина. Така машина потребує іншого підходу до її оцінки з точки зору якості перетворення енергії. Зменшення якості електричної машини - це відхилення параметрів та характеристик, що передбачені проектом: несиметрія електричних параметрів, зміна геометрії, ушкодження сталі статора та ротора, фізичне старіння елементів, низькі показники енергоефективності, коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності.

Річний економічний ефект від зменшення витрат під час експлуатації системи технічного діагностування на потоковій технологічній лінії, розрахований на один електродвигун потужністю 5 кВт, становить 100 у.о., а строк окупності пристрою - 3 роки.

Завданнями моніторингу та функціонального діагностування енергоефективності асинхронних електроприводів є: контроль первинних діагностичних параметрів; моделювання генераторів електричної енергії та вибір кроку дискретизації; діагностування та оцінка; захист (струмовий, тепловий тощо) асинхронних електроприводів від аварійних ситуацій; формування протоколів діагностування та створення історії стану та поведінки системи.

Використання функціонального діагностування енергоефективності асинхронних електроприводів дозволить знизити споживання активної енергії на 10%, реактивної - на 30%, підвищити залишковий ресурс до паспортного значення в 1,5 рази, ефективність - на 8%, коефіцієнт потужності - на 9%, знизити втрати на 33%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей –
2. Лісовський В.С. Автоматизація виробничих процесів у гірничій промисловості: Навч. Посіб. Для проф.-техн. Навч. Закл. / В.С. Лісовський, О.М. Закладний, М.Г. Борисюк та ін. – К.: Факт, 2001. – 164 с.
3. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних двигунів/ О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // Праці ТДАТУ. – 2010. - № 10, Т4. - С. 39-46.
4. Прокопенко В.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. / В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний. – К.: Освіта України, 2009. – 438 с.
5. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов: Монография / [А.П. Черный, А.И. Гладырь, Ю.Г. Осадчук и др.]. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2006. – 280 с.
6. Энергосбережение. Системы электропривода. Методы анализа и выбора: ДСТУ 3886-99. – [Чинний від 1999-06-18]. – К.: Госстандарт України, 2000. – 55 с. – (Національний стандарт України).
7. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України. / [Праховник А.В., Дешко В.І., Закладний О.М. та ін.]. – Луганськ: вид-во "Місячне сяйво", 2010. - 696 с.
8. Энергоэффективность та відновлювальні джерела енергії / [За заг. ред. А. К. Шидловського]. — К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. –512 с.
9. Соркин М.А. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы [Електронний ресурс] / М.А. Соркин // Новости электротехники. - 2005. - №2(32). – Режим доступу до журн.: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/32/12.php>.
10. Закладний О.М. Застосування новітніх силових електронних компонентів у регульованому електроприводі/ О.М. Закладний, О.О. Закладний

// Энергетика: экономика, технологии, экология. - 2006. - №2. - С. 47-53.

11. Закладний О.М. Сучасні методи регулювання якості електроенергії / О.М. Закладний, О.О. Закладний // Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. - 2007. - №2. - С. 25-30.

12. Праховник А.В. Контроль та аналіз в реальному часі режимів енерговикористання промислових електроприводів / А.В. Праховник, О.М. Закладний, О.О. Закладний // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». - 2007. С. 151-155.

13. Праховник А.В. Функціональне діагностування енергетичної ефективності асинхронного електропривода промислових установок і механізмів протягом життєвого циклу / А.В. Праховник, О.М. Закладний, О.О. Закладний // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». - 2010. - № 28. - С. 495-497.

14. Закладний О.М. Універсальний діагностувальний комплекс для прискорених випробувань електродвигунів / О.М. Закладний, О.О. Закладний // Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. - 2007. - №4. - С. 35-39.

15. Каргапольцев В.П. Энергосбережение с применением защитного мониторинга электродвигателей / В.П. Каргапольцев, И.Я. Симахин // Контроль. Диагностика №8, 2007. С. 46-47.

16. Уварова В.А. Системы мониторинга технологических и производственных процессов промышленных предприятий / В.А. Уварова, Хлыст С.В., Роженок Р.М. и др. // «Измерительная техника» №5, 2007. С. 59-61.

17. Закладний О.М. Захист як складник системи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів / О.М. Закладний, Т.В. Гребенюк, О.О. Закладний // Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. - 2010. - №4. - С. 36-41.

18. Ермолаев С.А. Эксплуатация энергооборудования в сельском хозяйстве: Учебник / С.А. Ермолаев, Е.П. Масюткин, В.Ф. Яковлев. – К.: Фирма –Инкос|, 2005. – 670 с.

19. О технико-экономической целесообразности работы асинхронных двигателей в сетях с некачественной электроэнергией [Электронный ресурс] / [Ю.Г. Качан, А.В. Николенко, В.В. Кузнецов, В.Б. Траппер] // Гірнична електромеханіка та автоматика. Збірник наукових праць. - 2008. - №80. – Режим доступу http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Geta/2008_80/11.pdf.

20. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко. – [3-е изд.]. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.

21. Закладний О.М. Електропривод: навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «Освіта України», 2009. – 316 с.

22. Праховник А.В. Функціональне діагностування енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами / А.В. Праховник, О.М. Закладний, О.О. Закладний // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2011. №1. С. 66-72.

23. Муравлева О.О. Особенности проектирования асинхронных двигателей в современных условиях / О.О. Муравлева, П.В. Тютёва // Проблемы энергетики. – 2008. - №7. – С.173-183.

24. Пахомов А.И. Диагностика асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве / А.И. Пахомов. – Краснодар, 2008. – 241 с.

25. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. / Д.И. Родькин. – М.: Недра, 1992. – 236 с.

26. Закладной А.Н. Энергоэффективный электропривод с вентильными двигателями: Монография / А.Н. Закладной, О.А. Закладной – К.: Издательство «Либра», 2012. – 185 с.

27. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины / - М: Энергия, 1980. – 928 с.

28. Макаричев Ю.А. Синхронные машины: учеб.пособ. / Ю.А. Макаричев, В.Н. Овсянников. – Самара. Самар.гос.техн.ун-т, 2010. - 156с.: ил.

29. Гадай А.В. Дослідження математичної моделі синхронного двигуна при несинусоїдній напрузі живлення /- Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2007, № 2. – 56-60 с.

30. Аракелян В.Г. Цели, понятия и общие принципы дигностического контроля высоковольтного электротехнического оборудования / В.Г. Аракелян // Электротехника. - 2002. - №5. - С.23-27.

31. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / В.В. Овчаров. – К.: Изд-во УСХА, 1990. -110 с.

32. Ширман А. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Ширман, А. Соловьев. – М.: 1996. - 252 с.

33. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. – М.: Машиностроение, 1999.- 344 с.

34. Костюков В.Н. Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия / В.Н. Костюков, А.П. Наumenko // Контроль.