

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Башкетов Олександр Михайлович

УДК 62-83

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ В УМОВАХ ДІЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат магістерської роботи

Краматорськ 2019

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, доцент
Шеремет Олексій Іванович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, завідувач кафедри
«Електромеханічні системи
автоматизації».

Рецензент:

Захист відбудеться «___» грудня 2019 р. о ____ годині на засіданні державної екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Діагностування режимів роботи асинхронних двигунів здійснюється за наступними параметрами:

- за струмом (максимальним, прямої, зворотної та нульової послідовності, кутку зсуву фаз споживаних струмів і тепловій дії струму);
- напрузі (мінімальній, нульовій і зворотній послідовностей);
- температурі (обмоток статора, сталі статору і корпусу).

Виходячи із завдань і принципів організації робіт, при діагностуванні електрообладнання застосовуються прилади та пристрої. Досить широке застосування отримують пристрої для діагностування електрообладнання, які можуть здійснювати постійний або періодичний автоматичний контроль за технічним станом і сигналізувати про настання передаварійного стану. Такі пристрої не дозволяють автоматично або вручну вмикати та вимикати електрообладнання з мережі при загрозі виникнення несправностей. Перспективи широкого застосування пристроїв для діагностування пояснюються тим, що електрообладнанням, на відміну від інших машин і механізмів, порівняно легко можна керувати завдяки наявності апаратури управління та схем автоматизації його роботи. Природно, що автоматичні діагностичні пристрої, в першу чергу, доцільно встановлювати для контролю за електрообладнанням, відмови якого призводять до великого збитку, а також за електрообладнанням, доступ до якого важкий або взагалі неможливий. Слід зазначити, що один пристрій може контролювати групу електрообладнання, наприклад, електродвигуни однієї потокової технологічної лінії.

Засоби для діагностування за принципом дії на об'єкт діагностування поділяються на дві групи: тестову і функціональну. За допомогою засобів тестової групи при діагностуванні в контрольоване електрообладнання надсилаються сигнали (тестові впливи), при цьому вимірюють необхідні параметри, що характеризують реакцію електрообладнання на сигнали, і по цих параметрах оцінюється його технічний стан. Засобами діагностування функціональної групи визначається технічний стан електрообладнання під час роботи, причому ніяких зовнішніх впливів, що відбиваються на функціонуванні електрообладнання, не проводиться. При розробці засобів, в першу чергу, проводиться класифікація діагностичних параметрів, за

допомогою яких визначається технічний стан електрообладнання, а також встановлюються межі зміни цих параметрів.

Досвід розробки та впровадження діагностування в практику експлуатації електрообладнання показує, що засоби діагностування доцільно розділити за наступним принципом.

1. Прості засоби для діагностування по обмеженому числу узагальнених діагностичних параметрів, що дозволяють визначати загальний технічний стан електроустаткування. Ці засоби призначаються для визначення технічного стану електрообладнання при технічному обслуговуванні, а також для виявлення найпростіших несправностей. До таких засобів належать прості переносні прилади.

2. Засоби для проведення повного діагностування і прогнозування, що дозволяють визначати технічний стан всіх елементів, що обмежують ресурс роботи або працездатність електрообладнання. Ці засоби призначені для проведення планового діагностування та пошуку несправностей електрообладнання.

3. Засоби для проведення доремонтного і післяремонтного діагностування, призначені для застосування в спеціалізованих електроремонтних підприємствах або ділянках з метою визначення номенклатури підлягають ремонту вузлів та деталей і якості ремонту електроустаткування за параметрами, які характеризують післяремонтний ресурс. У залежності від призначення засоби для діагностування можуть розроблятися переносними, пересувними і стаціонарними. Важливим показником засобів для діагностування є ступінь їх автоматизації. Умовно засоби для діагностування поділяють на автоматизовані, автоматичні і ручного управління. Оптимальний вибір діагностичних засобів повинен забезпечувати мінімальну вартість перевірки елементів, мінімум витрат від похибки перевірки елементів, а також максимальну економічну ефективність застосування засобів. Слід зазначити, що економічна ефективність застосування засобу, що розробляється, тим вища, чим більшу кількість електроустаткування можна продіагностувати з його допомогою, тобто чим вища його продуктивність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Вибір напряму досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змінам до цього закону від 09.09.2010 р. № 2519-VI (2519-17), а також постанови Президії Національної Академії Наук України від

22.10.2010 р. № 294 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року».

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри «Електромеханічні системи автоматизації» ДДМА, «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації».

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є дослідження методів та засобів технічного діагностування енергетичних та електромеханічних характеристик електроприводів в умовах дії експлуатаційних впливів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- електропривод розглянуто з точки зору системного підходу, виділено та проаналізовано окремі структурні елементи електроприводу, виконана класифікація електроприводів;
- проаналізовано існуючі методи технічного діагностування, визначено їх недоліки та переваги;
- проаналізовано перспективи використання СМАРТ-технологій у розробці сучасних методів технічного діагностування електроприводів;
- визначено основні фактори, що впливають на енергоефективність і технічний стан електромеханічних систем;
- запропонована класифікація методів діагностування електроприводів з асинхронними двигунами;
- розроблено методику використання швидкості теплового зносу ізоляції як одного з об'єктивних параметрів діагностування електроприводів;
- виконано дослідження теплової моделі асинхронних двигунів з урахуванням впливу якості напруги живлення.
- представлено залежність ковзання електродвигуна від несиметрії напруги в якості одного з діагностичних параметрів електроприводів з асинхронними двигунами.

Об'єктом дослідження є енергетичні та електромеханічні характеристики електроприводів.

Предметом є методи та технічні засоби для здійснення діагностування електромеханічних характеристик електроприводів в умовах дії експлуатаційних впливів.

Методи досліджень – загальні положення та методи теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, лінійної алгебри, числові методи розв’язання диференціальних рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблена сучасна методика функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем та реалізована у вигляді структурної схеми підсистеми функціонального діагностування.

2. Запропонована оновлена теплова модель асинхронного двигуна, що здатна враховувати вплив якості напруги живлення та може використовуватись у системі діагностування.

3. Представлена модель швидкості теплового зносу ізоляції в якості одного з об’єктивних параметрів діагностування експлуатаційної надійності сучасних електромеханічних систем.

Практичне значення отриманих результатів:

За результатами виконаних досліджень в перспективі можна розробити та реалізувати програмно математичну модель теплових процесів в асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором при глибокій несиметрії напруг мережі при різному завантаженні робочих машин в залежності від їх механічних характеристик.

Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні методів та засобів технічного діагностування енергетичних та електромеханічних характеристик електроприводів в умовах дії експлуатаційних впливів; проведенні розрахунків та математичного моделювання

Апробація результатів магістерської роботи. Результати досліджень обговорювались на щорічній науковій конференції студентів ДДМА, м. Краматорськ, 2019 р.

Публікація результатів наукових досліджень.

Матеріали магістерської роботи опубліковано в науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 120 сторінок (108 сторінок основної частини), 18 рисунків, 17 таблиці. Список використаних джерел містить 29 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дослідження, її основну мету, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** здійснено аналіз сучасних методів і засобів технічного діагностування електроприводів та електрообладнання.

Технічне діагностування (контроль технічного стану) – визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю.

Об'єкт технічного діагностування (контролю технічного стану) – виріб і (або) його складові частини, що підлягають (піддаються) діагностуванню (контролю).

Засіб технічного діагностування (контролю технічного стану) – апаратура та програми, за допомогою яких здійснюється діагностування (контроль).

Система технічного діагностування (контролю технічного стану) – сукупність засобів, об'єкта та виконавців, необхідна для проведення діагностування (контролю) за правилами, встановленими технічною документацією.

Завдання технічного діагностування:

- визначення (розпізнання, оцінка) технічного стану, у якому перебуває об'єкт на момент діагностування;

- оцінка відповідності чи невідповідності технічного стану об'єкта діагностування та у разі невідповідності — визначення причини невідповідності: несправності, дефекту, граничного ступеню зношеності, відхилення від регулювань тощо;

- виявлення ушкоджень чи дефектів на початковій стадії їх розвитку, ви-явлення конкретних дефектних вузлів чи деталей, визначення і усунення причин, що викликали дефект;

- оцінка допустимості та доцільності подальшої експлуатації обладнання з урахуванням прогнозування його технічного стану при виявленні дефекту, оптимізація режимів експлуатації, що дозволяє безпечно експлуатувати агрегат з виявленими дефектами до моменту його виводу у плановий ремонт;

- організація обслуговування та ремонту обладнання за технічним станом (замість регламентного обслуговування і ремонту), забезпечення підготовки та виконання якісних ремонтів.

У **другому розділі** виконується аналіз сучасних наукових методів досліджень.

Теоретичні дослідження ставлять собі за мету виділення в процесі синтезу знань істотних зв'язків між досліджуваним об'єктом і навколишнім середовищем, пояснення і узагальнення результатів емпіричного дослідження, виявлення загальних закономірностей і їх формалізації.

Теорія – це вчення, система наукових принципів, ідей, які узагальнюють практичний досвід і відображають закономірності природи, суспільства, мислення. Це також сукупність узагальнених положень, що утворюють науку або розділ який науки.

Теоретичні методи необхідні для визначення проблем, формулювання гіпотез і для оцінки зібраних фактів. Теоретичні методи пов'язані з вивченням літератури – робіт класиків, загальних і спеціальних робіт, історичних документів, періодичної преси та ін.

Методи теоретичного пізнання допомагають робити логічні висновки та висновки, Засновані на дослідженні отриманих фактів, виробляти судження і поняття. основними з них є:

а) ідеалізація – це створення уявних предметів і їх зміни відповідно до необхідними цілями проведеного дослідження;

б) синтез – це об'єднання в єдину систему всіх отриманих результатів проведеного аналізу, дозволяє розширити знання, сконструювати щось нове;

в) аналіз – це розкладання єдиної системи на складові частини і вивчення їх окремо;

г) формалізація – це відображення отриманих результатів мислення в твердження або точних поняттях;

д) рефлексія – це наукова діяльність, спрямована на вивчення конкретних явищ і самого процесу пізнання;

е) математичне моделювання – це заміна реальної системи на абстрактну, в результаті чого задача перетворюється в математичну, оскільки складається з набору конкретних математичних об'єктів;

є) індукція – це спосіб перехід знань від окремих елементів процесу до знань загального процесу;

ж) дедукція – це прагнення пізнання від абстрактного до конкретного, тобто перехід від загальних закономірностей до фактичного їх прояви.

У **третьому розділі** здійснюється аналітичний огляд факторів, що впливають на енергоефективність електромеханічних систем.

Основним інструментом енергозбереження на підприємстві є енергоменеджмент. Його основною метою є досягнення високого рівня енергоефективності виробництва, а основним завданням - забезпечення найбільш ефективного режиму роботи та складу устаткування.

Діагностування енергоефективності ЕМС поєднує завдання технічного діагностування з завданнями енергетичного менеджменту (безперервного аудиту електроенергії, що споживається), основною функцією яких є управління енергоспоживанням та технічним станом.

Засоби функціонального діагностування енергоефективності ЕМС фактично є інструментом енергетичного менеджера в його діяльності з ефективного і цілеспрямованого використання енергоресурсів. Такий підхід дозволяє оцінювати стан ЕМС на всіх етапах її життєвого циклу – від введення в експлуатацію до списання.

Мета діагностування енергоефективності ЕМС – на основі контролювання у реальному часі енергетичного і технічного стану забезпечити найефективніше використання фактичного ресурсу з мінімальним споживанням електроенергії та запобігти аварійним режимам. Головним (тактичним) завданням діагностування енергоефективності ЕМС (відповідно до ГОСТ 20911-89) є контролювання її технічного й енергетичного стану, пошук місця і визначення причини відмови, прогнозування працездатності, визначення шляхів і засобів її подовження або відновлення.

У **четвертому розділі** проведено дослідження методів та засобів технічного діагностування енергетичних та електромеханічних характеристик електроприводів в умовах дії експлуатаційних впливів.

Величини фазних струмів асинхронного двигуна залежать від несиметрії напруг мережі і коефіцієнта завантаження робочої машини. Як правило, джерело ЕРС створює симетричну систему фазних напруг, а асинхронний електродвигун є симетричним навантаженням. Несиметрія напруги на затискачах асинхронного двигуна створюється за рахунок включення в симетричне трифазне коло несиметричних однофазних електроприймачів.

При несиметрії напруги відбувається зростання температури всіх вузлів АД, проте найбільших теплових навантажень зазнає лобова частина найбільш завантаженої фази статора. При несиметрії напруги 4%, так само як і в разі зменшення напруги на 10%, термін служби АД скорочується вдвічі.

Струми зворотної послідовності викликають додаткове нагрівання, що також призводить до зниження строку служби АД.

У п'ятому розділі здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

У шостому розділі наведено результати аналізу з охорони праці, а саме аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходи щодо забезпечення безпечних умов праці і дії при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Сучасне діагностування електроприводів здійснюється шляхом вимірювання та контролю кількісних і якісних значень параметрів електроприводу, аналізом і обробкою їх результатів. Різноманітність електроприводів визначила велику кількість методів і засобів діагностування, що відрізняються способами реалізації, конструктивним виконанням і розташуванням щодо електроприводу, ступенем автоматизації і універсальності, принципами впливу на електропривод, формою обробки та подання інформації про стан об'єкта, режимами роботи і рядом інших ознак.

До апаратних засобів діагностування відносять прилади, пульти, стенди та спеціальні обчислювальні пристрої. Апаратні засоби, об'єднані з електроприводом конструктивно, називаються вбудованими. До них відносяться прилади для вимірювання струму, напруги, частоти, потужності, пристрої індикації, реле, світловипромінюючі діоди, пристрої контролю ізоляції та ін.

Зовнішні апаратні засоби виконуються окремо від електроприводу і підключаються до нього лише в процесі діагностування. Такими засобами є комбіновані прилади для вимірювання в колах постійного і змінного струму, тестери логічного стану, електронно-променеві та цифрові осцилографи, переносні вимірювальні комплекти і т.п.

Засоби діагностування називаються спеціалізованими, якщо вони призначені тільки для однотипних електроприводів, і універсальними, якщо призначені для різних по конструктивному рішенню і функціональному призначенню електроприводів. Останні технічно більш складні і включають в себе, як правило, обчислювальні машини з гнучкими пристроями керування і програмування.

Програмні засоби діагностування є програми, записані в пристрої пам'яті програмованих контролерів, мікропроцесорних систем керування електроприводами, керованих обчислювальних машин. Програми можуть забезпечувати діагностування електропривода в процесі використання його за прямим призначенням (робочі програми) або при короткочасному перериванні функціонування електроприводу (спеціальні випробувальні програми). Програмні засоби в поєднанні з апаратними утворюють програмно-апаратні засоби діагностування, які дозволяють вирішувати завдання самодіагностування електроприводу.

За ступенем автоматизації засоби можуть бути ручними, які вимагають участі оператора, автоматизованими (сигнатурні, логічні аналізатори), які вимагають участі оператора лише в підключенні їх до електроприводів і виборі режимів його діагностування, і автоматичними, вирішуючими завдання діагностування без участі оператора.

Залежно від форм обробки та подання інформації засоби діагностування можуть бути аналоговими, цифровими, аналого-цифровими.

Засоби діагностування можуть бути активними (при впливі тестового сигналу на електропривод і оцінки реакції на цей сигнал) і пасивними (виконують лише вимірювання, обробку та оцінку сигналів, що характеризують технічний стан електроприводу).

З усього різноманіття засобів діагностування найбільш перспективні і в міру впровадження в електроприводі мікропроцесорних пристроїв знаходять все більше застосування автоматичні програмно-апаратні цифрові засоби.

Сукупність засобів і об'єкта діагностування, що здійснює діагностування за правилами, встановленими відповідною нормативно-технічною документацією, являє собою систему діагностування.

АНОТАЦІЯ

Башкетов О.М. Дослідження методів та засобів технічного діагностування енергетичних та електромеханічних характеристик електроприводів в умовах дії експлуатаційних впливів.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 120 сторінок (108 сторінок основної частини), 18 рисунків, 17 таблиці. Список використаних джерел містить 29 найменувань.

Метою роботи є дослідження методів та засобів технічного діагностування енергетичних та електромеханічних характеристик електроприводів в умовах дії експлуатаційних впливів.

Основні наукові результати магістерської роботи:

1. За результатами виконаних досліджень створено математичний апарат, що дозволяє розробити математичну модель теплових процесів в асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором при глибокій несиметрії напруг мережі при різному завантаженні робочих машин в залежності від їх механічних характеристик.

2. Проведений аналітичний огляд показав, що з усього різноманіття засобів діагностування найбільш перспективними з позиції впровадження в електроприводі є мікропроцесорні автоматичні програмно-апаратні та цифрові засоби.

Ключові слова: ДІАГНОСТУВАННЯ, МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА, АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ВЕКТОРНА ДІАГРАМА

ANNOTATION

Bashketov O.M. Investigation of methods and means of technical diagnostics of energy and electromechanical characteristics of electric drives in the conditions of action of operational influences.

Master's Degree in Specialty 141 – "Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics", Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The master's thesis consists of an introduction, six sections, general conclusions, a list of sources used. The total volume of the master's thesis consists of 120 pages (108 pages of the main part), 18 figures and 17 tables. The list of sources used contains 29 items.

The purpose of this work is to study the methods and means of technical diagnostics of the energy and electromechanical characteristics of electric drives in the conditions of action of operational impacts.

The main scientific results of the master's work:

1. According to the results of the researches, a mathematical apparatus was created that allows to develop a mathematical model of thermal processes in an asynchronous motor with a short-circuited rotor with deep asymmetry of network voltages at different loading of working machines, depending on their mechanical characteristics.

2. Analytical review showed that microprocessor-based automatic software and digital tools are the most promising from the point of view of implementation in electric drive.

Keywords: DIAGNOSIS, MICROPROCESSOR SYSTEM, AUTOMATED ELECTRIC DRIVE, VECTOR DIAGRAM

Башкетов Олександр Михайлович

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ В УМОВАХ ДІЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ**

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

Умов. друк. арк. – 0,58

Тираж 1 прим.

Замовлення №

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72