

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

ШВЕЦЬ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 625.151.32 + 519.711.2

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ПАРКІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ
ЗАСОБАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних інформаційних технологій Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Скалозуб Владислав Васильович,

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Чепцов Михайло Миколайович,

Донецький інститут залізничного транспорту
Української державної академії залізничного транспорту
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук, доцент

Маловичко Володимир Володимирович,

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Захист відбудеться «8» червня 2012 р. об 11:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий «8» травня 2012 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Гарантія безпеки є однією з основних вимог до залізничних перевезень. Відповідальними об'єктами системи залізничного транспорту є стрілочні переводи (СП) з електродвигунами (ЕД) постійного струму. В Укрзалізниці (УЗ) експлуатується понад 30 тис. ЕД, з них на Придніпровській залізниці – 8 тис. Завдання із забезпечення безвідмовної роботи, а також скорочення витрат на експлуатацію та ремонт парків ЕД є актуальним.

В даний час електродвигуни постійного струму широко використовуються в промисловості і на залізничному транспорті, де обслуговування і ремонт ЕД стрілочних переводів виконується за планово-попереджувальним методом. При цьому проводиться виключення ЕД з експлуатації, що вимагає значних коштів та ресурсів часу. Ремонт та заміна стрілочних приводів відбувається згідно з прийнятими в УЗ нормативами, що часто веде до передчасного капітального ремонту двигуна з невикористаним ресурсом. Для парків ЕД важливим і все більш актуальним завданням є перехід до обслуговування з урахуванням поточного технічного стану ЕД. Для автоматизованого вирішення цього завдання необхідно розробити ефективну технологію, відповідні моделі і методи, а також створити програмно-технічні засоби для експлуатації парків ЕД. При цьому треба забезпечити своєчасну оцінку фактичного стану двигунів, в разі вичерпання технічних ресурсів – вказати на необхідність їх заміни, або визначити черговість ремонтів ЕД в умовах обмежених часових та інших ресурсів.

Моніторинг і своєчасна діагностика ЕД дозволяють значно скоротити витрати на експлуатацію і ремонт. Виявлення в умовах експлуатації несправностей задовго до повної відмови ЕД дає можливість підвищити безпеку та знизити витрати, викликані простоем та обслуговуванням відповідних приводів. У дисертації розроблено метод та інформаційну технологію автоматизованого моніторингу та діагностування парку ЕД залізничних стрілочних приводів без їх вилучення з експлуатації. Технологія заснована на формуванні засобами інтелектуальних систем індивідуальних моделей процесів експлуатації ЕД стрілочних переводів. За рахунок аналізу робочих струмів ЕД виявляється більше несправностей, ніж при застосовуванні інших методів діагностування, а також визначаються приховані несправності ЕД задовго до відмови.

Розробка сучасних методів і засобів, що забезпечують можливість експлуатації парків ЕД на основі параметрів їх поточного стану, є актуальною для залізниць України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з основними напрямками розвитку залізничного транспорту: «Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р № 1555-у). Обраний напрям досліджень пов'язаний з виконанням наступних робіт в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна:

– науково-дослідна робота № ПР/НТО – 071423/НЮ 46.18.07.09 «Розробка експериментального програмно-апаратного комплексу з дистанційної діаг-

ностики електродвигунів постійного струму стрілочних переводів» від 11 червня 2007 р, № держреєстрації 0109U000482;

- науково-дослідна робота «Організація системи ремонту локомотивів з урахуванням результатів діагностування», № держреєстрації 0105U001799;

- науково-дослідна робота «Розробка адаптивних методів, інформаційних технологій та уніфікованих інформаційних процедур багатокритеріального ієрархічного і нечіткого управління в умовах невизначеності», номер держреєстрації 0109U002989).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є підвищення ефективності процесів експлуатації парків електродвигунів постійного струму залізничних СП з урахуванням параметрів поточного технічного стану на основі використання методів інтелектуальних систем (ИС). Розроблені методики дають можливість виявлення несправностей задовго до повної відмови ЕД без вилучення з експлуатації, що підвищує безпеку СП, істотно знижує витрати, викликані простоем приводів, скорочує експлуатаційні витрати для парків ЕД СП.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні завдання:

- удосконалено методи діагностування електродвигунів постійного струму без вилучення їх з експлуатації, використовуючи спектральний аналіз робочого струму двигуна і моделі штучних нейронних мереж;

- розроблено моделі діагностування ЕД СП, засновані на нечітко-статистичній експертній системі, що дозволяє враховувати як експертну, так і статистичну інформацію про процеси експлуатації ЕД;

- розроблено методи планування процесів експлуатації парків ЕД на основі індивідуальних моделей технічних систем з використанням мереж Кохонена;

- розроблено багаторівневі моделі процесів експлуатації «по поточному стану» парків електродвигунів постійного струму на основі індивідуальних моделей технічних систем;

- розроблено модель розподілу ресурсів для вирішення задачі планування процесів експлуатації парків ЕД, яка враховує поточний і прогнозований стани технічних систем, що визначаються індивідуальними моделями об'єктів;

- розроблено АРМ станційного електромеханіка для автоматизованого вирішення завдань діагностування електродвигунів постійного струму в умовах робочого навантаження.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є процеси експлуатації парків електродвигунів постійного струму залізничних стрілочних приводів.

Предмет дослідження – моніторинг та експлуатація парків електродвигунів постійного струму стрілочних приводів на основі діагностики параметрів поточного стану без вилучення двигуна із експлуатації.

Методи досліджень. Результати дисертації отримані за допомогою методів системного аналізу складних об'єктів і процесів, моніторингу технічного стану електродвигунів постійного струму залізничних стрілочних переводів, спектрального аналізу робочого струму двигунів, діагностування та моделювання об'єктів на основі штучних нейронних мереж, математичної статистики і теорії нечітких величин, експертних систем, моделей нечітко-статистичної кла-

сифікації об'єктів, комплексних нейронно-нечітких і нейронно-мережових моделей процесів експлуатації парків технічних об'єктів.

Моніторинг технічного стану електродвигунів реалізовано за допомогою спектрального аналізу на основі дискретизації робочого струму двигуна і алгоритму швидкого перетворення Фур'є. Моделі штучних нейронних мереж, на основі багат шарових персептронів, радіальних базисних функцій та мереж Кохонена, були використані для виявлення несправностей в ЕД. Методи теорії нечітких величин застосовувалися для створення нечітких моделей діагностики станів електродвигунів. Методи експертних систем – використані при створенні експертної системи діагностування ЕД. Модель нечітко-статистичної класифікації об'єктів застосовувалася для формування бази нечітко-статистичних правил діагностування ЕД за даними частотного спектра робочого струму двигуна. Дворівневі нейронно-мережові моделі використані для формування моделі парку електродвигунів на основі індивідуальних моделей окремих ЕД та прогнозування технічного стану двигунів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

У дисертації розроблені і розвинені моделі та методи інтелектуальних систем, застосовані для автоматизованого вирішення комплексу завдань із удосконалення моніторингу, ефективного планування та управління експлуатацією парків ЕД залізничних стрілочних переводів. При цьому

вперше:

- вирішено завдання діагностування електродвигунів стрілочних переводів засобами нечітко-статистичних експертних систем, що дозволяє врахувати як експертну, так і статистичну інформацію про функціонування технічних систем і підвищує точність оцінки їх стану без виключення з експлуатації;
- для парку електродвигунів постійного струму на основі нейронних мереж Кохонена розроблена багаторівнева модель індивідуальних процесів їх експлуатації «по поточному стану», яка забезпечує управління процесами моніторингу і планування ремонтів двигунів;
- сформульовано завдання щодо вибору оптимальної черговості ремонтів для парку електродвигунів стрілочних переводів, яке враховує поточні та очікувані стани пристроїв, визначені за індивідуальними моделями процесів їх експлуатації;

удосконалено:

- моделі діагностування електродвигунів постійного струму без їх вилучення з експлуатації, за рахунок застосування швидкого перетворення Фур'є і штучних нейронних мереж при спектральному аналізі робочого струму, що забезпечує підвищення точності діагностування поточного стану двигунів і прогнозування можливих відмов стрілочних переводів.

Практичне значення отриманих результатів визначається наступним:

- в дисертації отримано нове рішення задачі щодо підвищення ефективності процесів експлуатації за технічним станом парків електродвигунів постійного струму залізничних стрілочних переводів;

- запропоновані методики і розроблена технологія дають можливість визначати технічний стан електродвигунів залізничних стрілочних переводів без їх вилучення з приводу, задовго до їх відмови;

- отримані в дисертації результати і висновки використані в науково-дослідній роботі «Розробка експериментального програмно-апаратного комплексу з дистанційної діагностики електродвигунів постійного струму стрілочних переводів» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, що виконувалася за завданням Укрзалізниці;

- застосування розроблених у дисертації методів і засобів дозволило встановити раціональні параметри та режими діагностування ЕД постійного струму моделей ДП-0,18, ДП-0,25, МСП-0,15 і МСП-0,25;

- отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технологій експлуатації парків ЕД залізничних стрілочних переводів, а також впровадження на полігоні залізниць України.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведені в роботі, отримані автором особисто або безпосередньо з його участю.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному плануванні та проведенні досліджень, обробці отриманого матеріалу, формулюванні наукових положень і висновків. У публікаціях, написаних у співавторстві, автору належить:

- розробка моделей і вибір архітектури штучної нейронної мережі для вирішення задачі діагностування електродвигунів [4];

- створення бази правил експертної системи для діагностування електродвигунів постійного струму [7];

- проведення спектрального аналізу робочого струму електродвигунів та розробка нечітко-статистичної бази знань діагностики електродвигунів [6];

- розробка багаторівневої системи моделей для управління експлуатацією парку та планування черговості ремонтів електродвигунів стрілочних переводів [3];

- методика використання і розробка рекомендацій щодо підбору архітектури штучних нейронних мереж для розв'язання задачі визначення технічного стану локомотивів [5];

- розробка моделей діагностики та управління розвитком систем на основі рейтингових оцінок [8].

Роботи [1, 2] написані без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації доповідалися, обговорювалися і були схвалені на міжнародних конференціях «Проблеми економіки транспорту» (2009, 2010 р., м. Дніпропетровськ); на міжнародних конференціях «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (2007–2012 р., м. Дніпропетровськ); на V Міжнародній науково-практичній конференції: «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (2010 р., м. Яремча); на науковому семінарі кафедри комп'ютерних інформаційних технологій ДПТУ (2007–2012 р., м. Дніпропетровськ).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 18 наукових працях, у тому числі 8 статей у фахових збірниках наукових праць, 10 публікацій – у тезах доповідей міжнародних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Загальний зміст дисертації складає 160 сторінок, з них обсяг основного тексту – 120 сторінок. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури (124 джерела), 4 додатків, 54 рисунків, 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета та завдання дослідження. Розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Відображена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про апробації та публікації результатів досліджень.

У першому розділі виконано аналіз даних про відмови залізничних стрілочних переводів при експлуатації, виявлено причини відмов і досліджені можливості діагностування стрілочних електроприводів, визначена значимість процесів експлуатації парків ЕД стрілочних електроприводів для забезпечення безпеки залізничного транспорту, сформульовані цілі і завдання досліджень.

Питання підвищення ефективності експлуатації ЕД СП були і залишаються в центрі уваги багатьох дослідників. СП знаходяться на другому місці (після рейкових кіл) в ряду відмов базових елементів електричної централізації. У рішення задачі діагностування залізничних СП значний внесок внесли вчені: Бойник А. Б., Гаврилюк В. І., Дмитренко І. Е., Загарий Г. І., Переборов А. С., Перникис Б. Д., Разгонов А. П., Резников Ю. М., Чиликин М. Г., Ягудин Р. Ш. Подальше удосконалення методів виявлення несправностей в електродвигунах залізничних стрілочних переводів стало можливим завдяки роботам наступних вчених: Бальтет Л. І., Грила А. І., Маловичко В. В., Парфенов В. І., Руденко А. Б., Семьянских А. І., Унтеров С. Н. Рішення проблем моніторингу, діагностування та експлуатації парку ЕД з урахуванням поточного стану вимагає використання моделей інтелектуальних систем: штучних нейронних мереж, нечітких і нечітко-статистичних моделей, експертних систем. Вклад у розвиток моделей інтелектуальних систем внесли вчені: Дилигенский Н. В., Заде Л., Рутковская Д., Скалозуб В. В., Хайкин С. та ін.

Застосовувані сьогодні на УЗ методи, а також системи контролю та діагностування ЕД залізничних СП не дозволяють виявляти багато несправностей. У використовуваних статичних методах діагностування ЕД (омметра, мегомметра, трансформатора, імпульсний) вимірювання проводяться на вимкненому двигуні, що не дозволяє визначити багато несправностей, що притаманні тільки номінальному робочому навантаженні ЕД. Робочий струм двигуна також може досліджуватися методом осцилографа-самописця, однак він має низьку роздільну здатність і вимагає висококваліфікованого розшифровувача. Для моніторингу та більш ефективного діагностування ЕД СП запропоновано використовувати автоматизовану систему виявлення несправностей на основі спектрального аналізу робочого струму двигуна. В силу нерівномірної витрати ресурсів ЕД СП їх обслуговування та заміна згідно періодичності, встановленої прийня-

тими на УЗ нормативами, веде до небажаного передчасного капітального ремонту двигуна, часто з невикористаним ресурсом. У дисертації розроблена технологія експлуатації, яка дозволяє визначати технічний стан двигуна за його поточним станом, без вилучення зі стрілочного переводу, виявляючи несправність задовго до повної відмови двигуна.

У другому розділі вирішена задача підвищення ефективності процесів експлуатації ЕД СП за рахунок автоматизації моніторингу та діагностування двигунів без вилучення ЕД з експлуатації.

Загальна схема розробленої автоматизованої системи управління експлуатацією (АСУЕ) парку електродвигунів (ПЕД) представлена на рис. 1. Тут показано, що кабелі, які живлять стрілочні двигуни, зводяться в релейну. При знятті кривої струму ЕД в релейній реалізується постійний контроль технічного стану всіх стрілочних електродвигунів на станції без вилучення ЕД з процесу експлуатації. Автоматизована технологія заснована на аналізі частотного спектру робочого струму двигуна. Дискретизація струму ЕД реалізується в блоці аналого-цифрового перетворювача (АЦП), отримання спектральних характеристик струму ЕД реалізовано за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

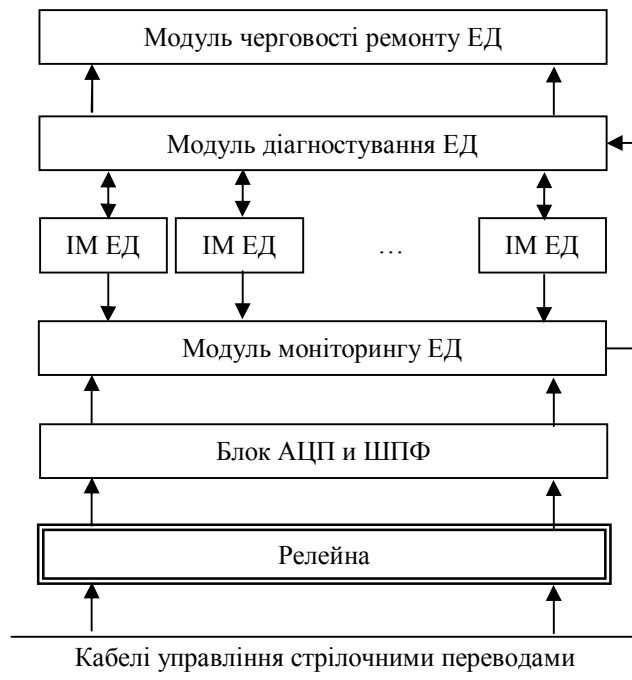


Рисунок 1 – Схема автоматизованої системи управління експлуатацією парку електродвигунів стрілочних переводів

Вхідними даними модуля моніторингу ЕД є частотний спектр струму, розрахований в блоці ШПФ. Для кожного ЕД формується індивідуальна модель (ІМ), яка зберігає в тому числі і спектральні характеристики справного стану двигуна. Модуль моніторингу порівнює спектр, отриманий з блоку ШПФ, зі спектром справного стану з відповідної ІМ ЕД. При виявленні суттєвих відмінностей спектрів модуль моніторингу передає спектральні характеристики аналізованого ЕД в модуль діагностування. На виході модуля діагностування отримують оцінки достовірностей виявлених несправностей ЕД. Ці оцінки зберіга-

ються в ІМ ЕД, формуючи часовий ряд, який використовується для прогнозування технічного стану електродвигуна. Поточний і прогнозований технічний стан кожного ЕД з модуля діагностування передається в модуль черговості ремонту електродвигунів, який розраховує рекомендації про порядок ремонту ЕД.

Розроблена АСУЕ ПЕД проводить вимірювання характеристик двигуна, що знаходиться під впливом номінальних, робочих значень напруги, струму, магнітного поля і відцентрових сил. Це дозволяє виявляти більше несправностей, ніж при використанні статичних методів діагностики, і робить можливим заміну електродвигуна до його повного виходу з ладу. Розроблені моделі діагностування можуть бути автоматично налаштовані на виявлення нових видів несправностей. Для цього необхідно задати еталони струму двигунів з несправностями. Істотно, що застосування АСУЕ ПЕД не вимагає висококваліфікованого інженера електромеханіка як для настройки, так і для експлуатації.

Діагностування ЕД проводиться шляхом аналізу частотного спектру робочого струму електродвигуна, так як кожна несправність призводить до появи в спектрі струму двигуна нових гармонік певної частоти та інтенсивності. Приклади спектрів струмів ЕД СП моделі МСП-0,25 з різними несправностями представлені на рис. 2.

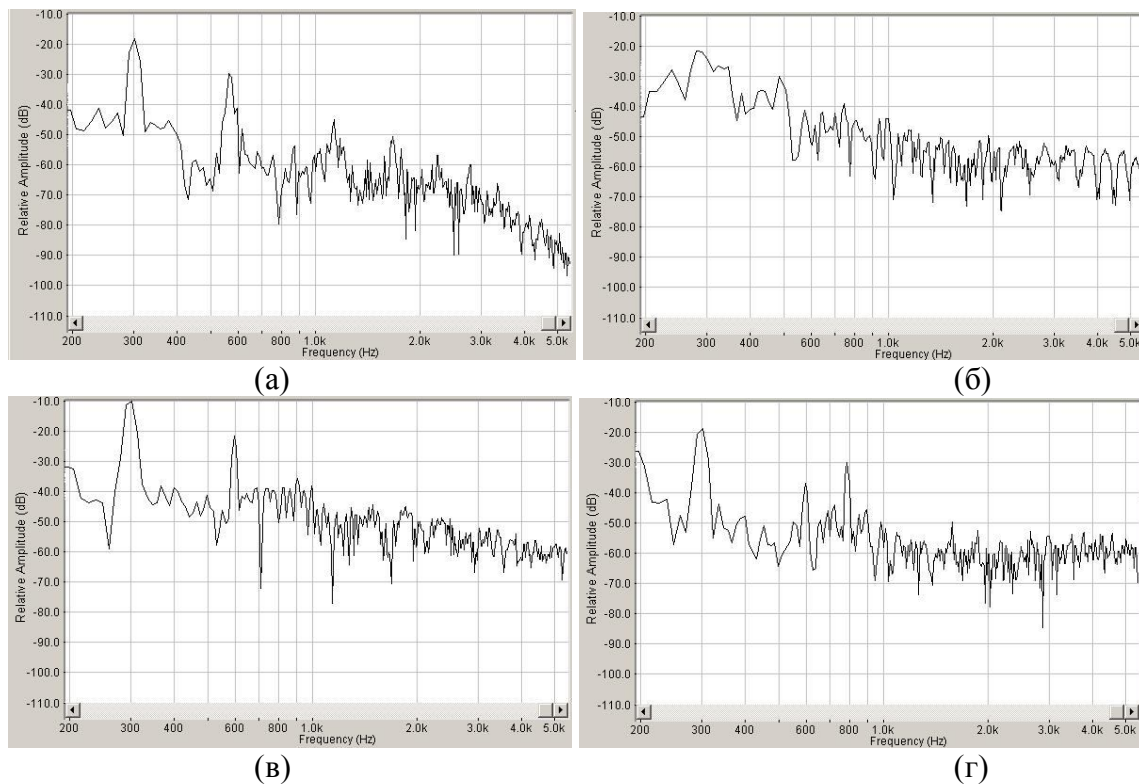


Рисунок 2 – Спектри струмів двигуна моделі МСП-0,25 для наступних типів несправностей: а) коротке замикання пластин колектора; б) коротке замикання секції якоря; в) круговий вогонь по колектору; г) обрив секції якоря

Для отримання спектра робочий струм двигуна був дискретизован, розрядність вибірки становила 16 біт, частота дискретизації $f_d = 11025$ Гц. Отримана послідовність дискретних значень записувалася в wav-файли, що відповідають стандарту файлів uncompressed Microsoft PCM audio. Згідно теоремі Найквіста-

Котельникова максимальна частота спектра $f_{\max}$ після дискретизації аналогового сигналу склала $f_{\max} = 0,5 \cdot f_d = 5512,5$ Гц, що, як показали дослідження, достатньо для відображення фізичних процесів в двигуні.

При отриманні частотного спектра струму двигуна розмір блоку ШПФ F_s дорівнював $F_s = 512$, струм двигуна представлено $N_h = 0,5 \cdot F_s = 256$ гармоніками перетворення Фур'є. Роздільна здатність гармонік спектру при цьому становить $\Delta f = \frac{f_{\max}}{N_h} \approx 21,5$ Гц. Кожна гармоніка в отриманій множині гармонік $\{f_i\}$ має частоту, рівну

$$f_i = \Delta f \cdot i \text{ Гц, } i = \overline{1, N_h}, \quad (1)$$

і представлена парою коефіцієнтів $(\text{Re}_i, \text{Im}_i)$, $i = \overline{1, N_h}$. Для кожної гармоніки перетворення Фур'є обчислюється інтенсивність частоти I_i :

$$I_i = \sqrt{\text{Re}_i^2 + \text{Im}_i^2}, \quad i = \overline{1, N_h}. \quad (2)$$

Отримані значення інтенсивностей гармонік перетворення Фур'є робочого струму ЕД використовуються для виявлення несправностей у двигунах залізничних СП.

В третьому розділі розроблені моделі та методи технічної експлуатації за поточним станом парків ЕД СП, використовуючи засоби ІС. Задача виявлення несправностей в ЕД залізничних СП вирішується за допомогою моделей штучних нейронних мереж, експертних систем та нечітко-статистичних моделей.

Запропонований метод автоматизованої діагностики ЕД використовує нейронні мережі (НМ) наступних архітектур: багатошаровий персептрон (MLP), радіальна базисна функція (RBF), мережа Кохонена (SOFM). При виявленні несправностей в ЕД використовується один і той же формат вхідних та вихідних даних для НМ різних архітектур. На вхід НМ подається вектор, що містить величини інтенсивностей гармонік згідно (2). На виході нейронної мережі отримують оцінку технічного стану ЕД. В роботі представлені результати діагностування ЕД постійного струму залізничних СП моделі МСП-0,25. При виявленні несправностей в двигуні визначається його належність до наступних класів технічного стану: справний, коротке замикання обмотки, коротке замикання пластин колектора, круговий вогонь по колектору, обрив секції якоря. Для визначення технічного стану ЕД на виході НМ використовується кодування 1-із-N.

Вибір конфігурації багатошарового персептрону проводився засобами стандартного статистичного підходу перехресної перевірки (cross-validation). Для визначення технічного стану ЕД найкращі результати показали багатошарові персептрони, архітектура яких представлена в табл. 1. У стовпці "Мережа" представлена структура MLP, зазначено кількість нейронів у вхідному, прихованому і вихідному шарах. Наступні три стовпці показують відсоток вірно класифікованих зразків на підмножинах оцінювання, перевірки і на тестовій множині. Якість діагностування ЕД мережами MLP визначалася за допомогою мат-

риці неточностей. Одним з недоліків використання багат шарових персептронів при визначенні технічного стану ЕД є нездатність MLP з великою кількістю зв'язків якісно навчатися при малій кількості вхідних зразків.

Таблиця 1 – Діагностування електродвигунів постійного струму за допомогою багат шарових персептронів

Мережа	Оцінювання %	Тест %	Перевірка %	Алгоритм навчання, N епох	Функція помилки	Активація прихованого шару	Активація вихідного шару
MLP 256-64-5	92,23	93,10	96,55	BFGS 17	SOS	Logistic	Logistic
MLP 256-74-5	94,66	93,10	94,83	BFGS 7	SOS	Tanh	Logistic
MLP 256-69-5	94,66	93,10	96,55	BFGS 21	SOS	Exponential	Logistic

Мережі RBF показали низький відсоток (приблизно 30%) вірно класифікованих несправностей в ЕД СП для набору вхідних даних, використаного в експериментах.

Для розпізнавання кластерів в спектральних характеристиках ЕД використана мережа Кохонена. Виявлення кластерів дозволяє зіставити з ними класи технічного стану електродвигунів і використовувати SOFM мережу для класифікації несправностей. Аналіз взаємного розташування кластерів на топологічній карті дозволяє виявляти подібності або відмінності між різними класами несправностей. Використання мережі Кохонена робить можливим виявлення нових несправностей, при цьому вхідні зразки будуть розміщені на топологічній карті поза відомих кластерів.

Вхідний шар мережі Кохонена складається з 256 елементів, на кожен з яких подаються величини інтенсивності гармоніки перетворення Фур'є струму електродвигуна згідно (2). Вихідний шар мережі представляє собою топологічну карту. В результаті багатьох експериментів найкращу здатність до кластеризації показала топологічна карта розмірністю 3 на 5 елементів. Мережа SOFM відображає простір входів розмірністю 256 в двовимірний простір топологічної карти. Радіус круга для нейрона переможця при навчанні мережі зменшувався лінійно від 3 до 0. Топологічна карта для кластеризації спектральних характеристик електродвигунів представлена на рис. 3.

На топологічній карті показані приблизні межі кластерів технічного стану двигуна. Знаками «+» позначено положення вхідних зразків на мапі, їх близькість до центрів нейронів і один одному. Кластера позначені таким чином: справний – 1, коротке замикання обмотки – 2, коротке замикання пластин колектора – 3, обрив секції якоря – 4, круговий вогонь по колектору – 5. Вхідні зразки, які відповідні справному двигуну, добре локалізовані, повністю відповідають одному нейрону топологічної карти. Кластера інших типів несправностей мають невеликі перекриття.

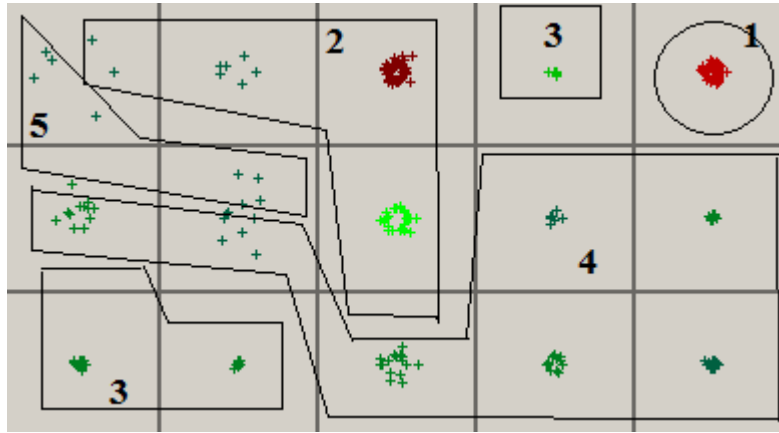


Рисунок 3 – Топологічна карта для кластеризації спектральних характеристик електродвигунів

Запропоновано експертну систему (ЕС) класифікації об'єктів за даними їх частотного спектру. Основою ЕС є база нечітко-статистичних правил (БНСП) і метод нечіткого управління. Нечітка компонента БНСП відображає суб'єктивні знання експерта про частотні спектри об'єктів. Статистична складова БНСП відображає фактичний частотний спектр еталонних об'єктів класифікації і формується автоматично в процесі адаптації ЕС.

Завдання класифікації сформульовано таким чином. Задані множини досліджуваних об'єктів $B = \{b_j\}, j = \overline{1, N_B}$ і класів досліджуваних об'єктів $C = \{c_l\}, l = \overline{1, N_C}$. Методами ЕС потрібно визначити ступінь належності об'єкта до кожного з класів. Позначимо через $S_j^l \in [0, 1]$ ступінь належності об'єкта b_j класу c_l . Для формування бази нечітких правил використовується множина навчальних об'єктів $P = \{p_a\}, a = \overline{1, N_P}, P \subset B$. Об'єкт b_j може бути використаний в якості навчального об'єкта p_a , якщо експерт встановив, що його ступінь належності до одного з класів $c_l, l = g$ дорівнює одиниці, а до решти класів – нуль:

$$S_j^l = \begin{cases} 1, l = g \\ 0, l \neq g \end{cases}. \text{ Належність навчального об'єкта } p_a \text{ до класу } c_l \text{ позначимо через}$$

$$p_a := c_l.$$

На рис. 4 представлена структура експертної системи нечітко-статистичної класифікації об'єктів по частотному спектру.

Знятий з об'єкту сигнал подається на АЦП для дискретизації. Частотний спектр сигналу об'єкта визначається за допомогою ШПФ. Результатом ШПФ є представлення об'єкта множиною гармонік. Для кожної гармоніки перетворення Фур'є обчислюється інтенсивність частоти I_i згідно (2).

Для побудови бази правил ЕС був використаний метод нечіткого управління Такагі-Сугено і метод нечітко-статистичного управління (НСУ). В рамках методу НСУ для обчислення належності вхідний величини нечіткій множині використовується функція щільності ν , побудована на основі обробки статистичних даних вхідної величини.

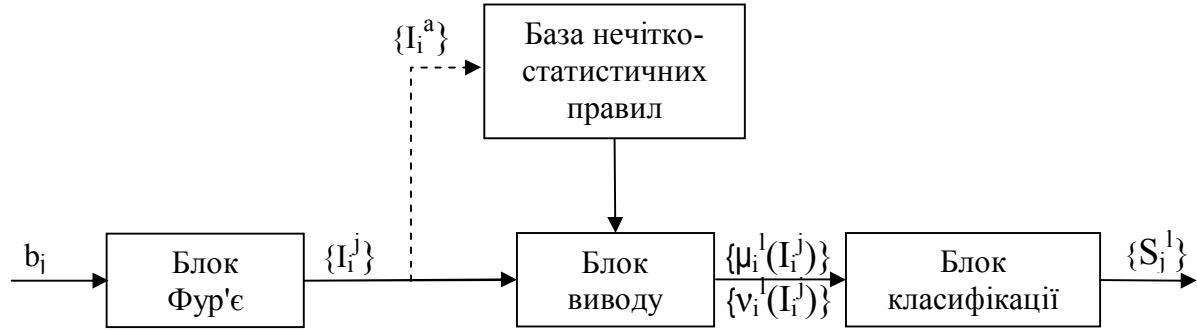


Рисунок 4 – Структура експертної системи класифікації об'єктів по частотному спектру на основі адаптивної бази нечітко-статистичних правил

Для кожного класу c_l існує своє правило, що визначає ступінь належності об'єкта b_j до класу c_l . Правила представлені в наступному вигляді:

$$R^{(l)} : IF \left((I_1^j \text{ is } I_1^l) AND (I_2^j \text{ is } I_2^l) \dots AND (I_{N_H}^j \text{ is } I_{N_H}^l) \right) \\ THEN S_j^l = f^{(l)} \left(\left\{ \mu_i^l(I_i^j) \right\}, \left\{ v_i^l(I_i^j) \right\} \right), \quad i = \overline{1, N_H} \quad (3)$$

де I_i^l – нечітка множина інтенсивності i -ої гармоніки l -го класу об'єктів, яка представлена функцією належності μ_i^l і функцією щільності v_i^l ; $f^{(l)}$ – функція обчислення значення ступеня належності S_j^l об'єкта b_j до класу c_l .

Для формування БНСП необхідно задати функції μ_i^l та v_i^l $l = \overline{1, N_C}, i = \overline{1, N_H}$. Функції μ_i^l визначаються експертом суб'єктивно на підставі його знань про частотний спектр досліджуваних об'єктів. Для визначення функцій v_i^l ЕС навчається на множині об'єктів P . Частотний спектр кожного навчального об'єкта p_a представляється множиною інтенсивностей гармонік $\{I_i^a\}, i = \overline{1, N_H}$. Діапазон фактичних значень I_i^a розбивається на N_T^l рівних інтервалів. Кожен навчальний об'єкт p_a належить деякому класу об'єктів c_l . У свою чергу, кожному c_l відповідає своє значення числа інтервалів $N_T^l, l = \overline{1, N_C}$. Крок розбиття значень i -ої інтенсивності гармонік I_i^a для класу об'єктів c_l позначимо ΔT_i^l і будемо обчислювати згідно

$$\Delta T_i^l = \frac{\left(\max_a(I_i^a) - \min_a(I_i^a) \right)}{N_T^l}, (i = \overline{1, N_H}; l = \overline{1, N_C}; \forall a, p_a := c_l). \quad (4)$$

Позначимо через $T_{i,q}^l$ q -ий інтервал значень i -ої гармоніки l -го класу об'єктів згідно

$$T_{i,q}^l = \left((q-1) * \Delta T_i^l ; q * \Delta T_i^l \right], q = \overline{1, N_T^l}. \quad (5)$$

Щільність значень i -ої гармоніки класу c_l задається за допомогою функції щільності $v_i^l(I_i^j): R_+ \rightarrow [0,1]$, де I_i^j – величина інтенсивності i -ої гармоніки об'єкта b_j . Форма функції v_i^l задається в процесі «навчання» експертної системи на множині $P = \{p_a\}, a = \overline{1, N_P}$. Значення функції v_i^l визначаються наступним чином:

$$v_i^l(I_i) = \frac{\sum_a W_{i,q}^l(I_i^a)}{\max_q \sum_a W_{i,q}^l(I_i^a)}, \quad (6)$$

де q вибирається з умови $I_i \in T_{i,q}^l$; $W_{i,q}^l(I_i)$ – функція належності інтенсивності I_i^a до інтервалу $T_{i,q}^l$. $W_{i,q}^l$ визначається згідно

$$W_{i,q}^l(I_i) = \begin{cases} 1, I_i \in T_{i,q}^l \\ 0, I_i \notin T_{i,q}^l \end{cases}. \quad (7)$$

На вхід блоку виводу подається множина інтенсивностей гармонік $\{I_i^j\}$ об'єкта b_j . Процес вивода використовує БНСП, що дозволяє враховувати як суб'єктивну експертну оцінку (функції μ_i^l) так і накопичені в процесі навчання ЕС дані статистики (функції v_i^l). Ступінь належності i -ої гармоніки об'єкта b_j l -му класу визначається при обчисленні значень функцій належності $\mu_i^l(I_i^j)$ і функцій щільності $v_i^l(I_i^j)$, $l = \overline{1, N_C}, i = \overline{1, N_H}$.

Завданням блоку класифікації є обчислення значень ступенів належності S_j^l об'єкта b_j до кожного з класів c_l . В якості вхідних даних для цього використовуються множини значень $\{\mu_i^l(I_i^j)\}$ та $\{v_i^l(I_i^j)\}$. При обчисленні S_j^l також використовується множина $\{G_i^l\}$, де G_i^l – значення центру інтенсивності i -ої гармоніки l -го класу об'єктів, обчислене згідно

$$G_i^l = (q - 0,5) * \Delta T_i^l, \quad (8)$$

де значення q вибирається з умови $\sum_a W_{i,q}^l(I_i^a) \rightarrow \max$. Значення ступенів належності S_j^l обчислюються згідно

$$S_j^l = \frac{\sum_i \mu_i^l(I_i^j) * v_i^l(I_i^j) * G_i^l}{\sum_i G_i^l}. \quad (9)$$

Розроблена ЕС класифікації об'єктів по частотному спектру на основі адаптивної БНСП була використана для створення програмно-апаратного комплексу діагностування електродвигунів. Проводилось діагностування ЕД постійного струму залізничних стрілочних переводів моделей ДП-0,18, ДП-0,25, МСП-0,15 та МСП-0,25. Дослідження запропонованих моделей дозволили встановити їх адекватність та можливість використання в компонентах автоматизованих систем.

В четвертому розділі представлена багаторівнева модель для управління експлуатацією парку ЕД залізничних СП за поточним станом. При управлінні парком вирішується одне з основних завдань експлуатації ЕД залізничних СП – визначення черговості ремонтів тих електродвигунів, для яких при діагностуванні встановлені різні приховані типи несправностей. Завдання встановлення черговості ремонтів виникає при обмеженості ресурсів, до яких віднесені час ремонту, персонал, запасні частини, грошові кошти та ін.

У роботі для визначення черговості ремонту ЕД запропоновано показник і відповідний критерій – «вартість відмови електродвигуна». Оцінка вартості відмови електродвигуна C визначається в наступному вигляді

$$C = f(R, F, Z), \quad (10)$$

де R – вартість ремонту електродвигуна; F – прогнозована вартість ремонту електродвигуна; Z – витрати, викликані затримкою поїздів у разі відмови електродвигуна та припинення роботи стрілочного переводу та ін.

У простому випадку оцінка вартості відмови ЕД залізничного СП обчислюється, як

$$C = Z + \frac{1}{2}(R + F). \quad (11)$$

Якщо в якості d_i використовується значення ймовірності несправностей деякого виду, які вважаються незалежними, то оцінка очікуваної вартості ремонту електродвигуна R обчислюється наступним чином:

$$R = \sum_{i=1}^N d_i c_i, \quad (12)$$

де d_i – достовірність i -ої несправності, $d_i \in [0;1]$; c_i – вартість ремонту i -ої несправності; N – число несправностей, що виявляються системою діагностування ЕД.

У розробленій інформаційної технології автоматизованої експлуатації ЕД значення достовірності i -ої несправності d_i обчислюється системою діагностування електродвигунів по поточному стану. Зокрема, якщо для виявлення несправностей в ЕД використовуються штучні нейронні мережі, то значення достовірності i -ої несправності d_i визначається значенням нейрона вихідного шару багат шарового персептрону. Якщо для виявлення несправностей в електродвигунах використовується експертна система класифікації об'єктів по час-

тотному спектру на основі адаптивної бази нечітко-статистичних правил, то значення достовірності i -ої несправності d_i визначається згідно (9).

Прогнозована вартість ремонту електродвигуна F обчислюється як

$$F = \sum_{i=1}^N d_i^F c_i, \quad (13)$$

де d_i^F - прогнозоване значення достовірності i -ої несправності, $d_i^F \in [0;1]$.

В роботі отримана методика автоматизованої експлуатації парків ЕД залізничних СП, що заснована на аналізі значень достовірностей несправностей, які обчислюються системою діагностування ЕД. Система діагностування здійснює постійний контроль технічного стану електродвигунів, який реалізується наступним чином: оцінка поточного технічного стану ЕД відбувається без його вилучення з стрілочного приводу. Моніторинг технічного стану ЕД реалізується шляхом періодичного пошуку несправностей в ЕД. Моніторинг технічного стану конкретного двигуна дозволяє отримати часовий ряд оцінок достовірностей для кожної i -ої несправності d_i :

$$D_i = \{d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^k, d_i^{k+1}, \dots, d_i^L\}, (i = \overline{1, N}). \quad (14)$$

При роботі електродвигуна його елементи зношуються, тому припускаємо, що з плином часу кожне наступне значення d_i^{k+1} достовірності i -ої несправності часового ряду (14) буде не менше попереднього d_i^k : $d_i^k \leq d_i^{k+1}, (i = \overline{1, N})$.

При обчисленні прогнозованої вартості ремонту електродвигуна F (13) для кожної оцінки достовірності i -ої несправності прогнозується значення d_i^F , використовуючи ІМ та карти Кохонена, а також дані часового ряду (14), що відповідає i -ої несправності.

Для знаходження прогнозних значень d_i^F використовуються методи екстраполяції, в простому випадку – параболічна екстраполяція.

Витрати Z , викликані затримкою поїздів у разі відмови електродвигуна та припинення роботи стрілочного перевodu, оцінені як

$$Z = N_p T_v C_z P_z, \quad (15)$$

де N_p – середнє число поїздів, що проходять через стрілочний перевід за годину; T_v – час, необхідний для відновлення роботи стрілочного перевodu; C_z – вартість затримки одного поїзда на одну годину; P_z – ймовірність відмови СП.

Якщо не враховуються взаємні впливи різних типів несправностей ЕД, ймовірність відмови стрілочного перевodu P_z може бути оцінена на підставі достовірностей несправностей ЕД СП згідно $P_z = \max_i (d_i)$.

Завдання автоматизації управління процесом експлуатації парку ЕД вирішене засобами дворівневої нейронно-мережевої моделі, заснованої на картах Кохонена. Моніторинг станів ЕД та аналіз їх динаміки реалізується в рамках

ІМ. Одночасно з використанням моделі парку (МП) контролюються стани, що відповідають виникненню різних типів несправностей. Початковий стан ЕД приймається справним (рис. 5, рис. 6). На рис. 5 справному стану відповідає кластер 5 ІМ; в кластері 4 технічний стан погіршується. Кластери 1 та 2 ІМ відповідають короткому замиканню обмотки. На моделі парку ЕД (рис. 6) показано перехід двигуна з справного стану (кластер 2) в стан короткого замикання обмотки (кластер 3).

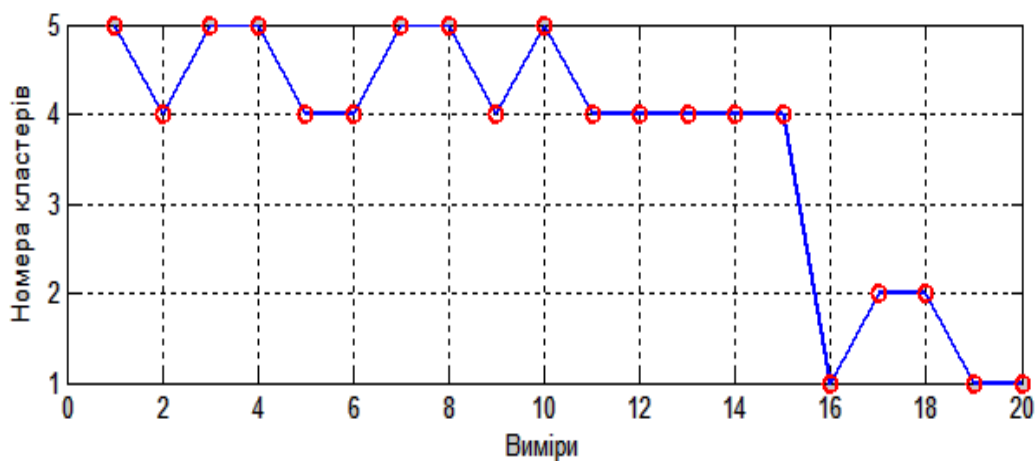


Рисунок 5 – Представлення процесу експлуатації ЕД як переміщення станів по кластерам ІМ

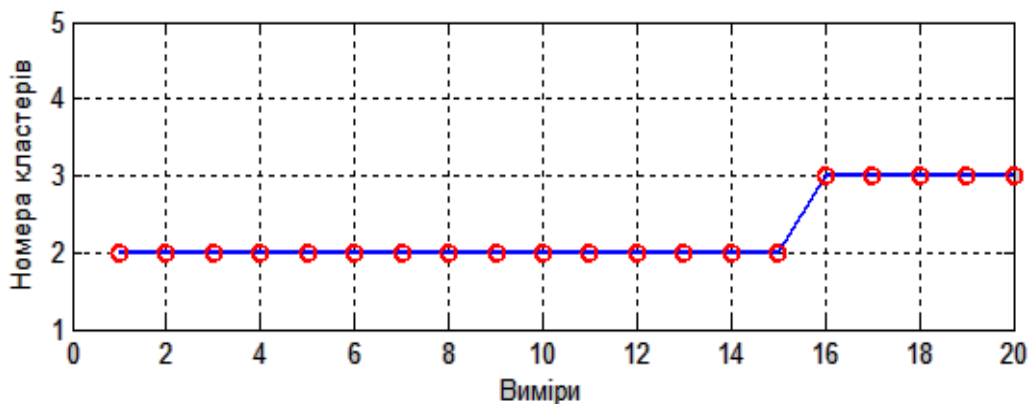


Рисунок 6 – Переміщення станів ЕД по кластерам МП з часом

В дисертації розроблено програмний комплекс для управління експлуатацією парку ЕД, який реалізує методи (3) – (15).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язане наукове завдання з удосконалення методів експлуатації за поточним технічним станом парків електродвигунів залізничних стрілочних переводів. При цьому розроблені методи і засоби діагностики ЕД СП, що використовують моделі ІС. Розроблені засоби дозволяють виявляти більше несправностей ЕД, ніж методи, що застосовуються на залізницях України. Діагностика ЕД може проводитися як на стенді під час планового огляду, так і без вилучення двигуна зі стрілочного приводу. Виконані дослідження і розробки дозволяють перейти від планово-попереджувальної заміни

двигунів до обслуговування двигунів за їх фактичним технічним станом. При цьому здійснюється прогнозування технічного стану двигуна.

Основні наукові результати дисертації полягають в наступному:

- з використанням методів інтелектуальних систем і формуванням індивідуальних моделей ЕД розроблена автоматизована технологія експлуатації парків електродвигунів постійного струму залізничних стрілочних переводів, яка використовує спектральний аналіз робочого струму ЕД і враховує його поточний стан;
- отримано нове рішення задачі діагностування електродвигунів засобами нечітко-статистичних експертних систем, які враховують як експертну, так і статистичну інформацію про процеси експлуатації технічних систем, підвищуючи точність діагностування станів ЕД;
- удосконалено моделі штучних нейронних мереж типу багат шаровий персептрон для діагностування ЕД постійного струму залізничних СП, що дозволило підвищити число несправностей, які виявляються;
- запропоновані методики і технологія дають можливість діагностувати електродвигуни залізничних стрілочних переводів без їх вилучення з приводу, а також реалізовувати моніторинг технічного стану двигунів під час експлуатації;
- на основі мереж Кохонена вирішено завдання із планування експлуатації парку електродвигунів, створено багаторівневі нейронної-мережеві моделі процесів експлуатації парків електродвигунів постійного струму за поточним технічним станом індивідуальних об'єктів;
- розроблено та впроваджено в експлуатацію апаратно-програмний комплекс діагностики електродвигунів постійного струму залізничних стрілочних переводів, що виявляє несправності в електродвигунах постійного струму моделей ДП-0,18, ДП-0,25, МСП-0,15 і МСП-0,25. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку технологій експлуатації парків електродвигунів стрілочних переводів на залізницях України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні роботи:

1. Швець О. М. Діагностика електродвигунів стрілкових переводів на основі нейроно-мережевого моделювання даних спектрального розкладання струмів / О. М. Швець // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 29. – С. 184–189.
2. Швець О. М. Классификация объектов по частотному спектру на основе адаптивной базы нечетко-статистических правил / О. М. Швець // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (68). – Дніпропетровськ, 2010. – С. 133–139.
3. Скалозуб В. В. Автоматизация мониторинга и управления эксплуатацией парка электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов на основе параметров текущего технического состояния / В. В. Скалозуб, О. М. Швець // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 60–64.

4. Скалозуб В. В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока / В. В. Скалозуб, О. М. Швец // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 7–11.
5. Боднар Б. Е. Применение нейронных сетей для определения технического состояния локомотивов / Б. Е. Боднар, А. Б. Очкасов, О. М. Швец // Локомотив-информ. – Харьков, 2009. – № 9–10. – С. 4–6.
6. Ивченко Ю. Н. Методы автоматизированного управления парком электродвигателей железнодорожных стрелочных приводов «по текущему состоянию» / Ю. Н. Ивченко, О. М. Швец, М. В. Скалозуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 4. – С. 96–102.
7. Разгонов А. П. Автоматизация процессов диагностики электродвигателей стрелочных переводов в условиях эксплуатации / А. П. Разгонов, А. Б. Руденко, В. В. Скалозуб, О. М. Швец // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 6. – С. 20–22.
8. Скалозуб В. В. Информационная технология диагностики, прогнозирования и управления устойчивым развитием сложных систем на основе рейтинговых оценок / В. В. Скалозуб, В. А. Андриященко, С. Ю. Разумов, М. В. Скалозуб, К. С. Фокша, О. М. Швец // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5 (76). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 178–185.

Праці апробаційного характеру:

9. Швец О. М. Автоматизация разработки систем нейросетевого моделирования с использованием компонентов MATLAB / О. М. Швец // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : междунар. науч.-практ. конф., 14–15 мая 2007 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2007. – С. 81.
10. Скалозуб В. В. Диагностика электродвигателей постоянного тока методами спектрального анализа и экспертных систем / В. В. Скалозуб, О. М. Швец, А. Б. Руденко // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : междунар. науч.-практ. конф., 15–16 мая 2008 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2008. – С. 78.
11. Швец О. М. Ресурсосберегающие методы автоматизированной диагностики электродвигателей постоянного тока железнодорожных стрелочных приводов / О. М. Швец, А. Б. Руденко // Проблемы экономики транспорта : VIII междунар. науч. конф., 16–17 апр. 2009 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2009. – С. 153.
12. Швец О. М. Автоматизированная технология мониторинга электродвигателей железнодорожных стрелочных приводов методами искусственных нейронных сетей / О. М. Швец // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : междунар. науч.-практ. конф., 14–15 мая 2009 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2009. – С. 68.
13. Боднар Б. Є. Удосконалення системи обліку інформації бортової системи діагностування електровозів ДЕ1 / Б. Є. Боднар, О. І. Гилевич, О. Б. Очкасов, О. М. Швець // Современные информационные технологии на транспорте, в

- промышленности и образовании : междунар. науч.-практ. конф., 14–15 мая 2009 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2009. – С. 39.
14. Боднар Б. Є. Дослідження технічного стану вузлів локомотива з використанням нейронних мереж / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, О. М. Швець // Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта : 69 междунар. науч.-практ. конф., 21–22 мая 2009 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2009. – С. 8–9.
 15. Швець О. М. Технологическо-экономические задачи эксплуатации электродвигателей стрелочных приводов железнодорожных станций / О. М. Швець // Проблемы экономики транспорта : IX междунар. науч. конф., 22–23 апр. 2010 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2010. – С. 119.
 16. Швець О. М. Информационная технология и нечетко-статистическая экспертная система диагностики электродвигателей в условиях рабочей нагрузки / О. М. Швець // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : междунар. науч.-практ. конф., 13–14 мая 2010 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2010. – С. 72.
 17. Швець О. М. Модели и методы повышения эффективности эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных приводов «по текущему состоянию» / О. М. Швець // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте : V междунар. научн.-практ. конф., 24–26 ноября 2010 г., г. Яремче : тезисы докл. – Днепропетровск, 2010. – С. 189.
 18. Швець О. М. Методы эксплуатации «по текущему состоянию» парков электродвигателей железнодорожных стрелочных приводов / О. М. Швець // Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании : междунар. науч.-практ. конф., 12–13 мая 2011 г. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2011. – С. 81.

АНОТАЦІЯ

Швець О. М. Удосконалення методів експлуатації парків електродвигунів залізничних стрілочних переводів засобами інтелектуальних систем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2012.

У роботі отримано нове рішення комплексного завдання щодо удосконалення методів експлуатації парків електродвигунів (ЕД) залізничних стрілочних переводів засобами інтелектуальних систем. Розроблені методики та автоматизована технологія забезпечують експлуатацію парку електродвигунів на основі параметрів поточного технічного стану, без їх вилучення з приводу, за рахунок спектрального аналізу робочого струму ЕД. Сформульовано завдання щодо вибору оптимальної черговості ремонтів для парку ЕД стрілочних переводів, що враховує поточні та очікувані стани пристроїв.

Удосконалено методи моніторингу та діагностування ЕД, що використовують моделі інтелектуальних систем. Отримано нове рішення задачі діагнос-

тування електродвигунів засобами нечітко-статистичних експертних систем, які враховують як експертну, так і статистичну інформацію про процеси експлуатації технічних систем. Удосконалено моделі штучних нейронних мереж типу багатосаровий персептрон для діагностування ЕД постійного струму. На основі мереж Кохонена вирішено завдання із планування експлуатації парку електродвигунів, створено багаторівневі нейронної-мережеві моделі процесів експлуатації парків ЕД.

Ключові слова: парк електродвигунів, моніторинг, діагностування, нечітко-статистична експертна система, штучна нейронна мережа, експлуатація за поточним станом, оптимальне планування.

АННОТАЦИЯ

Швец О. М. Усовершенствование методов эксплуатации парков электродвигателей железнодорожных стрелочных переводов средствами интеллектуальных систем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, Днепропетровск, 2012.

В работе получено новое решение задачи усовершенствования методов эксплуатации парков электродвигателей (ЭД) железнодорожных стрелочных переводов (СП) средствами интеллектуальных систем. Разработанные методики и автоматизированная технология обеспечивают эксплуатацию парка ЭД на основе параметров текущего технического состояния, без извлечения электродвигателей из привода. Сформулирована задача выбора оптимальной очередности ремонтов для парка электродвигателей стрелочных переводов, которая учитывает текущие и прогнозируемые технические состояния устройств, определенные по индивидуальным моделям процессов их эксплуатации. Выполненные исследования и разработки позволяют перейти от планово-предупредительной замены двигателей к обслуживанию двигателей по их фактическому техническому состоянию.

Мониторинг технического состояния электродвигателей реализован за счет спектрального анализа рабочего тока ЭД. Для каждого ЭД формируется индивидуальная модель, которая хранит в том числе и спектральные характеристики исправного состояния двигателя. Процедура мониторинга сравнивает текущий спектр двигателя со спектром исправного состояния из соответствующей индивидуальной модели ЭД. При обнаружении существенных различий спектров запускается процедура диагностирования, на выходе которой получают оценки достоверностей выявляемых неисправностей ЭД. Эти оценки сохраняются в индивидуальной модели ЭД, формируя временной ряд, который используется для прогнозирования технического состояния электродвигателя.

Усовершенствованы методы диагностики ЭД СП, использующие модели интеллектуальных систем. Разработанные средства позволяют выявлять большее число неисправностей ЭД, чем методы, применяемые на железных дорогах Украины.

В работе получено новое решение задачи диагностирования электродвигателей средствами нечетко-статистических экспертных систем, которые учитывают как экспертную, так и статистическую информацию о процессах эксплуатации технических систем, повышая точность диагностирования состояний ЭД.

Усовершенствованы модели искусственных нейронных сетей типа многослойный перцептрон для диагностирования ЭД постоянного тока железнодорожных СП, что позволило повысить число выявляемых неисправностей.

На основе сетей Кохонена решена задача планирования эксплуатации парка электродвигателей, созданы многоуровневые нейронно-сетевые модели процессов эксплуатации парков ЭД постоянного тока по текущему техническому состоянию индивидуальных объектов.

Разработан и внедрен в эксплуатацию аппаратно-программный комплекс диагностики электродвигателей постоянного тока железнодорожных стрелочных переводов, выявляющий неисправности в электродвигателях постоянного тока моделей ДП-0,18, ДП-0,25, МСП-0,15 и МСП-0,25. Произведен расчет оценки экономического эффекта от внедрения аппаратно-программного комплекса диагностики электродвигателей постоянного тока стрелочных переводов. Ожидаемый суммарный годовой экономический эффект от внедрения комплекса по дистанции дороги достигнет 65500 грн.

Ключевые слова: парк электродвигателей, мониторинг, диагностирование, нечетко-статистическая экспертная система, искусственная нейронная сеть, эксплуатация по текущему состоянию, оптимальное планирование.

ANNOTATION

Shvets O. M. Improvement of exploitation methods of pointwork electric motor parks by means of intelligent systems. – The manuscript.

Thesis for candidate of technical science academic degree competition at 05.22.20 – vehicles exploitation and repair specialty. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2012.

In this paper, pointwork electric motor park exploitation methods are improved by means of intelligent systems. Developed procedures and automated technology provide electric motor (EM) park exploitation based on the parameters of the current technical state without removing EM from the drive by means of EM current spectral analysis. The task of choosing the optimal sequence of repairs to the EM park, taking into account current and expected states of devices, is formulated.

EM monitoring and diagnosis methods are improved based on the intelligent system models. Fuzzy-statistical expert systems that take into account both expert and statistical information about the system technical state were used for EM diagnosis problem solution. Artificial neural network models like multilayer perceptron were improved to diagnose direct current motors. Based on Kohonen networks multilayer neural network models were developed for EM park exploitation planning.

Keywords: electric motor park, monitoring, diagnosis, fuzzy-statistical expert system, artificial neural network, current state exploitation, optimal planning.

ШВЕЦЬ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ПАРКІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ
ЗАСОБАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку «27» квітня 2012 р. Формат 60х84 1/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим.
Замовлення №

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003.

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.