

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

ОСОВИК ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ

У ДК 625.151.32 + 519.711.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ
ЗАЛІЗНИЧНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ З УРАХУВАННЯМ
СТАНУ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
СКАЛОЗУБ Владислав Васильович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
декан факультету «Технічна кібернетика»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
БОЙНИК Анатолій Борисович,
Український державний університет залізничного транспорту,
завідувач кафедри «Автоматика і комп'ютерне
телекерування рухом поїздів»

кандидат технічних наук, доцент
БАЛАХОНЦЕВ Олександр Васильович,
Національний гірничий університет, доцент кафедри
«Електропривод»

Захист відбудеться «22» січня 2016 р. об 11 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

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

Автореферат розісланий « 19 » грудня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Характерними рисами та вимогами до сучасних залізничних перевезень являються підвищення їх ефективності, безпеки руху поїздів і процесів експлуатації технічних систем, збільшення пропускної спроможності перегонів і станцій, а також зниження впливу транспорту на навколишнє середовище. Важливим фактором забезпечення стійкості процесів залізничних перевезень являється підвищення надійності технічних засобів залізничної інфраструктури. Підвищення ефективності процесів експлуатації, зменшення експлуатаційних витрат не можливе без розвитку комунікаційних та інформаційних технологій, формування комплексних систем автоматизації у сфері експлуатації парків технічних систем, зокрема удосконалення експлуатації парків електродвигунів (ЕД) залізничних стрілочних переводів (СП).

Актуальність теми. В теперішній період в Укрзалізниці (УЗ) на основі планово-попереджувального методу експлуатується близько 30 тис. ЕД, з них на Південно-Західній залізниці – понад 6800, експлуатація яких здійснюється шляхом нормування. При цьому дані про параметри ЕД не систематизуються, не використовуються при плануванні наступних процесів обслуговування, автоматизація технологій експлуатації - недостатня. Як цілісний специфічний об'єкт управління парки ЕД в діючих інструктивних документах і системах автоматизації процесів експлуатації представлені обмеженим чином.

В дослідженнях проблеми експлуатації парків ЕД в останні роки отримані певні результати, призначені для створення елементів автоматизованих систем управління на основі дистанційного моніторингу і діагностування параметрів поточного стану ЕД (АЕПЕД). В них визначені фактори складності створення АЕПЕД і встановлюється, що сучасне вирішення завдання із підвищення ефективності експлуатації парків стрілочних електродвигунів вимагає формування багатокритеріального управління експлуатацією парків ЕД на основі аналізу робочих струмів, а також обліку невизначеності стану ЕД та інфраструктури процесів перевезень, враховуючи обмежені ресурси. При цьому в системі АЕПЕД необхідно прогнозувати стани та встановити раціональну черговість оглядів та ремонту ЕД, розподілити роботи з обслуговування між виконавцями тощо. Автоматизоване вирішення комплексу таких нових завдань визначає сутність організаційно-технічних заходів підвищення ефективності експлуатації парків стрілочних електродвигунів.

Таким чином у теперішній час підвищення ефективності процесів багатокритеріальної автоматизованої експлуатації парків електродвигунів стрілочних переводів на основі оцінок їх поточного і прогнозованого стану, а також умов невизначеності параметрів інфраструктури процесу перевезень, являється актуальним науково-практичним завданням залізничного транспорту України.

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

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки (затверджена Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259), Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р.

Обраний напрямок досліджень пов'язаний з виконанням науково-дослідних робіт в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Робота виконувалась в рамках держбюджетної науково-дослідної теми «Інформаційно-аналітичні технології управління в інтелектуальних транспортних системах багатокритеріальними і багатопродуктовими потоками в умовах неоднорідної невизначеності параметрів процесів» (номер держреєстрації 0113U000695), де автор був співвиконавцем. Також він приймав участь у виконанні проекту «CITISET» програми TEMPUS «Комунікаційні і інформаційні технології для забезпечення безпеки та ефективності транспортних потоків: Європейсько-Російсько-Українська магістерська і докторська PhD програми по інтелектуальним транспортним системам» (№ 517374-TEMPUS -1-2011-1-RU-TEMPUS-JPCR).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-практичного завдання щодо підвищення ефективності процесів експлуатації парків стрілочних електричних двигунів шляхом удосконалення систем автоматизованого дистанційного моніторингу та діагностування їх поточного стану, а також урахування стану інфраструктури при плануванні технічного обслуговування та ремонтів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- провести аналіз методів і засобів експлуатації парків стрілочних електродвигунів, в тому числі на основі процедур дистанційного діагностування і обслуговування, визначити шляхи їх удосконалення;
- дослідити питання достовірності інформаційного та ефективності організаційного забезпечення процесів технічної експлуатації парків стрілочних електричних двигунів, а також критерії ефективності діючих процесів управління;
- розробити удосконалену структуру системи автоматизованого багатокритеріального управління експлуатацією парків стрілочних електродвигунів, яка враховує невизначеність станів ЕД та інфраструктури у виробничих процесах, сформулювати комплекс науково-технічних завдань що забезпечують її реалізацію;
- розробити систему індивідуальних інтелектуальних моделей, які забезпечують автоматизацію завдань експлуатації парків електричних двигунів за параметрами поточного стану, з урахуванням діючих технологічних процесів;
- розробити багатокритеріальні моделі і процедури для автоматизації розрахунків черговості діагностування, обслуговування та ремонту парку електричних двигунів, які ураховують різну форму невизначеності даних про стан парку та інфраструктури процесів перевезень;
- сформулювати моделі управління процесами експлуатації парків стрілочних електричних двигунів з урахуванням статистичних і нечітких вихідних даних;
- розробити нечіткі моделі планування розподілу електричних двигунів парку між ремонтними базами з урахуванням спеціалізації та кооперації;
- обґрунтувати та дослідити технолого-економічну ефективність впровадження системи автоматизованої експлуатації парків стрілочних електричних двигунів.

Об'єкт дослідження – процеси експлуатації парків технічних систем залізниць.

Предмет дослідження – процедури експлуатації парків стрілочних електричних двигунів на основі оцінок параметрів поточного стану за умов невизначеності параметрів інфраструктури перевезень.

Методи дослідження. Результати дисертації отримані за допомогою прикладних методів системного аналізу та теорії оптимізації, методів моніторингу та спектрального аналізу робочого струму електродвигунів, нейронного та нечіткого моделювання та управління, методів математичної статистики і процедур прогнозування. Завдання моніторингу технічного стану електродвигунів реалізовано методами спектрального аналізу на основі швидкого перетворення Фур'є. Нейронні мережі Кохонена використані для діагностування несправностей електродвигунів, а також формування загальних моделей експлуатації парку ЕД. Методами теорії нечітких величин вирішувались завдання формування моделей діагностики станів електродвигунів, автоматизованого планування процесів діагностування і обслуговування парку ЕД. Методом аналізу ієрархій визначено пріоритети об'єктів інфраструктури. Методи векторної оптимізації застосовані для формування багатокритеріального управління експлуатації парку електродвигунів. Прогнозування оцінок параметрів стану двигунів виконано методами екстраполяції та класифікації. Перевірка адекватності розроблених моделей виконана методами математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у новому вирішенні науково-прикладного завдання щодо підвищення ефективності експлуатації парків електричних двигунів стрілочних переводів на основі оцінки їх поточного стану в умовах невизначеності параметрів інфраструктури перевезень. При цьому

вперше:

- визначені відмінності та специфіка комплексу завдань багатокритеріального управління експлуатацією парків стрілочних електричних двигунів в умовах невизначеності параметрів інфраструктури перевезень;
- розроблено векторну модель управління технічною експлуатацією парків стрілочних електродвигунів «по поточному стану» без вилучення із технологічних процесів, яка базується на комплексі індивідуальних інтелектуальних моделей окремих технічних систем і загальній моделі парку, що забезпечує раціональний розподіл ресурсів при експлуатації парку;

удосконалено:

- нейронно мережеву модель Кохонена, призначену для класифікації окремих індивідуальних процесів експлуатації електродвигунів «по поточному стану», що забезпечує прогнозування розвитку несправностей і підвищує точність та ефективність управління процесами моніторингу, діагностування і планування ремонтів двигунів;
- індивідуальні моделі окремих процесів експлуатації (діагностування, ремонт ін.) парків стрілочних електродвигунів, призначені для визначення черговості технічного обслуговування, які враховують поточні та очікувані стани як окремих, так і груп систем (станція ін.), що підвищує ефективність порядку обслуговування;
- метод визначення пріоритетів стрілочних переводів (двигунів) в завданнях технічного обслуговування, який відзначається формуванням комплексних оцінок поїздоділянок з використанням процедур аналітичних ієрархій та кластеризації, що забезпечує багатокритеріальну оцінку інфраструктури перевезень;

- двохетапні статистичні моделі оптимізації та нечіткого управління процесами експлуатації парків на основі процедур прогнозування та діагностування стрілочних електродвигунів засобами інтелектуальних (метод Такагі – Сугено) і експертних систем, що дозволяє підвищити точність оцінки їх стану та виконувати розрахунки параметрів керувань при нечітких поточних і апріорних даних;

знайшла подальший розвиток:

- модель планування розподілу ремонтів електродвигунів у залежності від виявлених несправностей з урахуванням спеціалізації виконавців робіт, а також формування компромісу для кооперації виконавців робіт щодо процесів експлуатації, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати для парку електродвигунів.

Практичне значення одержаних результатів. Результати розробок представляють нове вирішення завдання із підвищення ефективності експлуатації парків стрілочних електродвигунів на основі оцінки їх технічного стану та урахування параметрів інфраструктури залізничних перевезень. Автоматизована технологія і система експлуатації парків ЕД АЕПЕД дозволяє перейти до обслуговування парку ЕД по фактичному та прогнозованому технічному стану. Перевагами системи АЕПЕД являються: моніторинг і діагностика технічного стану двигуна в режимі робочого навантаження, багатокритеріальне управління експлуатацією парків ЕД, забезпечення прогнозування типу несправності і періоду до можливої відмови, що підвищує ефективність технічного обслуговування.

Отримані результати і висновки використані в підрозділах Південно-Західної залізниці, в науково-дослідних роботах ДНУЗТ, що виконувалися для УЗ.

Результати роботи використовуються для підготовки магістрів за міжнародними TEMPUS-програмами з інтелектуальних транспортних систем та з інтероперабельності, сертифікації і безпеки на транспорті.

Практичне значення результатів підтверджується актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертації отримані особисто автором або за його безпосередньої участі. В написаних у співавторстві публікаціях здобувачеві належать: [1] – розд. 9, 10; [2] – кооперативна векторна модель планування робіт кількох виконавців що узагальнює модель задачі «цілерозподілу»; [6] – формування інтелектуальних моделей для окремих процесів експлуатації електродвигунів (діагностування, ремонт); [8] – векторна модель автоматизованого управління процесами експлуатації парків електродвигунів; [9] – двохетапна нечітка модель управління процесами експлуатації парків електродвигунів. Роботи [3 – 5, 7] написані одноосібно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися, обговорювалися і схвалені на науково-технічних конференціях:

На 74, 75 Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» - 2014, 2015, ДНУЗТ., - м. Дніпропетровськ.

На 27, 28 Міжнародних конференціях «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». –2014, 2015, УкрДУЗТ. – м. Харків.

На XII Міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту», – 2014, ДНУЗТ. – м. Дніпропетровськ.

На III Міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта». 27.01-31.01.2014 р., ДНУЗТ. – м. Дніпропетровськ.

На Міжнародній конференції «Коммуникационные и информационные технологии для обеспечения безопасности и эффективности транспортных потоков», TEMPUS-проект CITISET. МИИТ, - 2014. – м. Москва, Росія.

На Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» – 2015. ДВЗ УДХТУ, - м. Дніпропетровськ.

Дисертацію в повному обсязі розглянуто та схвалено на розширеному засіданні кафедри «Комп'ютерні інформаційні технології» ДНУЗТ.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 17 наукових праць, з яких 1 монографія, 7 статей (з них 3 без співавторів), що опубліковані у фахових виданнях затверджених Міністерством освіти і науки України (2 статті включені до міжнародних наукометричних баз, одна опублікована за кордоном – Республіка Білорусь), 1 стаття додаткова; отримане свідоцтво про реєстрацію авторського права; 8 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Повний обсяг роботи становить 178 сторінок, обсяг основного тексту складає 143 сторінок друкованого тексту, 37 ілюстрацій, 11 таблиць, список використаних джерел інформації складається з 105 найменувань, в роботі також 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми, мету і основні завдання досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача у виконаній дисертаційній роботі. Наведено інформацію про структуру дисертації, публікації та апробацію роботи.

В першому розділі проведено комплексний аналіз проблеми, технологій та завдань експлуатації парків стрілочних електродвигунів з урахуванням невизначеності і оцінок параметрів поточного стану та інфраструктури, а також завдань із підвищення стійкості та безпеки залізничних перевезень на основі засобів автоматизації. Зазначено, що завдання підвищення ефективності експлуатації залізничної автоматики, в тому числі стрілочних ЕД, залишаються актуальними, а СП знаходяться на другому місці за відмовами елементів електричної централізації (ЕЦ). Значний внесок у вирішення завдання діагностики залізничних СП внесли багато вчених: Бойнік А.Б., Гаврилюк В.І., Дмитренко І.Є., Загарій Г.І., Переборов А.С., Пернікіс Б.Д., Разгонов А.П., Резніков Ю.М., Чилікін М.Г., Ягудін Р.Ш.. Розвиток методів виявлення несправностей в ЕД отримано в роботах Бальтета Л.І., Буряка С.Ю., Гриль А.І., Маловічка В.В., Парфьонова В.І., Руденка А.Б., Семьянських А.І., Скалосуза В.В., Унтерова С.Н., Швеця О.М. ін.

У розділі розглянуто основні види відмов, діючі технології і засоби діагностування параметрів стрілочних ЕД у процесах експлуатації, завдання автоматизації процесів експлуатації парків ЕД на основі параметрів поточного стану. Встановлено, що засоби із удосконалення *експлуатації парків* ЕД мають суттєві відмінності, на сьогодні вони досліджені недостатньо. Зокрема в діючих інструктивних документах відсутнє поняття «парк технічних систем» як цілісний об'єкт, відсутні його специфічні ознаки, функції та головні завдання щодо ефективної експлуатації.

У **другому розділі** отримано розвиток автоматизованої інтелектуальної технології управління процесами експлуатації парків стрілочних електродвигунів на основі оцінок параметрів поточного стану та інфраструктури. При цьому визначені характеристики і подано постановку завдання із автоматизованої експлуатації парків стрілочних електродвигунів, розроблено технологію моніторингу та діагностування, критерії ефективності, основні завдання, структуру та функції системи АЕПЕД автоматизованої експлуатації парків зазначених ЕД. В табл. 1 наведено головні завдання, а на рис. 1 – структуру запропонованої моделі експлуатації парків ЕД.

Узагальнена схема експлуатації парків електродвигунів, представлена через вирішення завдань табл. 1 та рис. 1, складається із наступних етапів:

1. Формування індивідуальних моделей процесів експлуатації стрілочних електродвигунів, а також загальної моделі експлуатації парку.
2. Вимірювання, дистанційний моніторинг, спектральний аналіз робочого струму, діагностування поточного стану ЕД.
3. Визначення параметрів і стану інфраструктури, прогнозованих характеристик парку ЕД,
4. Багатокритеріальний вибір черговості обслуговування парку ЕД, розподіл робіт між виконавцями з урахуванням спеціалізації та кооперації.
5. Реалізація завдань етапу «т», облік робіт із експлуатації парку ЕД.
6. Корегування індивідуальних моделей ЕД та моделі парку; до п. 2.

В системі експлуатації АЕПЕД передбачена побудова на основі індивідуальних моделей ЕД загальної моделі процесів експлуатації парку, як нейронної карти ознак Кохонена, SOM. Відповідно SOM за інформацією про контрольовані об'єкти, можна з достатнім ступенем достовірності прогнозувати поведінку інших ЕД. Зміна розташування відображення поточного стану ЕД на карті SOM характеризує динаміку процесів експлуатації, а саме – вироблення ресурсу та розвиток типових несправностей ЕД, необхідність проведення певного ремонту.

Зміст окремих модулів моделі АЕПЕД рис. 1, наступний. Модуль «Стан інфраструктури..» забезпечує отримання даних про поточний стан системи перевезень і кожного ЕД на етапі (t) експлуатації парку. Поточний стан представляє вектор $\bar{X}_p(t)$, а оптимальне керування експлуатацією парку ЕД (модуль «Формування багатокритеріального управління..») – вектор $\bar{u}_p(t)$:

$$\bar{X}_p(t) = (X_{in}(t), X_d(t), X_r(t)); \quad \bar{u}_p(t) = (u_d(t), u_r(t)); \quad (1)$$

складові значень (1): $X_{in}(t)$ – параметри інфраструктури, $X_d(t)$ – параметри діагностування ЕД, $X_r(t)$ – ремонти; складові $\bar{u}_p(t)$: $u_d(t)$ – упорядковані послідовності проведення процедур діагностування ЕД. $u_r(t)$ – ремонтів.



Рисунок 1 – Структура моделі автоматизованого управління парками ЕД

Реалізації $\bar{Y}_p(t)$ управління $\bar{u}_p(t)$ – в модулі «Реалізація управління ..», рис. 1.

$$\bar{Y}_p(t) = \Phi(\bar{X}_p(t), \bar{u}_p(t)). \quad (2)$$

Стрілки рисунку показують, що при виконанні процедур управління з оператором $\Phi(\bar{X}_p(t), \bar{u}_p(t))$ вибірково, а також в установленому порядку $u_d(t)$ ведеться діагностування ЕД, а результати використовуються для формування індивідуальних моделей (ІМ) етапів $(t+1)$ управління парками ЕД.

Сукупність процедур перетворення ІМ та ін. представляє модуль «Коректування.. моделей..» (БКМ). В результаті чого отримують моделі експлуатації етапів $\{M(t+1)\}$, $IMD(t+1)$, $IMP(t+1)$, $MKK(t+1)$, $MPI(t+1)$ – рис. 1. Моделі представляють наступне: процеси діагностування, ремонтів, карти SOM, модель парку, відповідно.

При аналізі нових даних або ЕД належність їх параметрів при SOM класифікації до певної зони визначає очікувані властивості. У моделі парку (МП)

Таблиця 1 – Критерії та основні задачі автоматизованої експлуатації парків стрілочних електродвигунів

№	Найменування задачі	Проблема	Ресурс реалізації	Результат
1	Багатокритеріальне управління експлуатацією парку ЕД	Складність об'єкта, Компромісний вибір	Властивості показників ефективності	Єдиний ефективний розв'язок
2	Упорядкування обслуговування ЕД на основі їх поточного і прогностичного стану	Неоднорідність парку та умов експлуатації	Індивідуальні моделі ЕД, відбір «подібних» систем	Вибір раціонального порядку обслуговування ЕД парку
3	Скорочення експлуатаційних витрат за рахунок спеціалізації і кооперації	Різна ефективність обслуговування ЕД парку	Урахування спеціалізації і кооперації при плануванні робіт	Скорочення експлуатаційних витрат
4	Прогнозування процесів експлуатації ЕД парку	Обмеженість, невизначеність даних	Відбір «подібних» ЕД, адаптація, екстраполяція	Оцінки очікуваних характеристик ЕД, корекція планів
5	Урахування неоднорідності умов експлуатації ЕД, їх значимості для мережі	Оцінка важливості окремих ЕД для мережі	Кластеризація ЕД, облік вектора властивостей мережі	Встановлено пріоритет кожного ЕД парку
6	Урахування невизначеності характеристик станів інфраструктури перевезень, ЕД, відмінність типів даних	Множинність типів (ймовірність, нечіткість ін.)	Комбіновані методи оцінки, експертизи	Повнота моделей, підвищення точності результатів
7	Формування та адаптація індивідуальних моделей процесів експлуатації ЕД	Облік процесів, завдання управління парком, адаптація	Структури даних, процедури обробки, вибір представлення	Забезпечення завдань управління експлуатацією парку ЕД
8	Моделі експлуатації парку ЕД	Множинність складових	Нейромережі, Експертні Системи	Вибір раціональних управлінь

передбачене наочне відображення динаміки експлуатації шляхом «розфарбування». Встановлено ознаки зміни станів, які відповідають контрольованим типам відмов:

$fail_r^{(s)}$ – відмова типу (r) для підрозділу (s) ; $h_r^{(s)}(t)$; $h_r^{(s)}(t-1)$ – число ЕД з

відмовами (r) на етапах $(t), (t-1)$; $cond_r^{(s)}(t)$ – критичне значення для відображення зміною кольору $colour^{(s)}(t)$; $percent^{(s)}(t)$ – відсоток ЕД від критичного, для «фарбування» та заповнення частини області певного типу відмови. Ознаки відмов парку формуються і відображаються для окремих виконавців (s), з урахуванням спеціалізації робіт та кооперації.

У **третьому розділі** удосконалено формалізовані засоби для реалізації базових принципів і завдань розд. 2 щодо інтелектуального автоматизованого управління експлуатацією парку стрілочних ЕД на основі оцінок параметрів поточного стану та інфраструктури з урахуванням невизначеності (багатокритеріальність, нечіткість, стохастичність). При цьому сформована структура і процедури інтелектуальних ІМ процесів експлуатації ЕД; удосконалені моделі із розрахунку черговості діагностування, обслуговування та ремонту парку ЕД, а також багатокритеріального управління експлуатацією на основі методів стохастичного і нечіткого управління, екстраполяції та експертних систем, які ураховують ступінь повноти даних.

В системі АЕПЕД для кожного ЕД утворено спеціалізовані ІМ, що відповідають процесам експлуатації (моніторинг, діагностування, ремонт). а також встановлюються їх зв'язки з моделями парку, із сукупністю інших. Ієрархічна система інтелектуальних ІМ експлуатації ЕД побудована за функціональними ознаками, зберігає спектри $\{Sp_k(t)\}, Sp_k(t_0^k)$ від моменту (t_0^k) , k – номер двигуна, виду

$$((\{Sp_k(t)\}, Sp_k(t_0^k), (t_0^k). (t \geq t_0^k)), k = 1, 2, \dots, N_e, \quad (3)$$

де в (3) спектр ЕД номеру k на етапі (t_0^k) прийнято за еталон для $(t \geq t_0^k)$, N_e – число ЕД в парку. Рівень ІМ-(1) забезпечує даними процедури визначення поточного стану парку ЕД на основі вимірювань та спектрального аналізу робочого струму (швидке перетворення Фур'є, ШПФ), а також містить дані обслуговування СП електромеханіком за нормативами проведення різних видів перевірок ЕД.

Моделі рівня ІМ-(2) на основі кластеризації і подальшої класифікації даних про спектри ЕД (3) забезпечують визначення несправностей, які виникли в пристроях, а також ще приховані але мають тенденцію до розвитку. Виявлені за ІМ-(2) основні несправності (також потенційні) аналізують моделями прогнозування і планування процесів експлуатації, рівень ІМ-(3). Результати моделей рівня ІМ-(3) на основі процедур прогнозування використовують для вирішення багатокритеріальних завдань із визначення черговості діагностування та ремонтів ЕД ін. Також складовими ІМ на кроці (t) виступають набори виду (3) інших ЕД парку з «подібними» характеристиками, для яких вже відомі дані наступних етапів.

Для ефективного керування парками ЕД в роботі побудовано удосконалені моделі, які ураховують неоднорідність (технічну та технологічну) окремих об'єктів через нерівноцінність зв'язків з рештою інфраструктури (за призначенням, відповідальністю, інтенсивністю функціонування, наявними ресурсами), що впливає на визначення раціональної черговості діагностування, ремонтів ЕД тощо. В АЕПЕД неоднорідність ЕД (поїздоділянок) визначається методами аналітичних ієрархій

(MAI), а також кластеризації. При визначенні важливості окремої ділянки (відповідних ЕД) урахується її вплив на пропускну спроможність мережі, види перевезень (вантажні, пасажирські, місцеві ін.), напруженість та відповідальність (число поїздів, напрямок слідування), період року, місце знаходження тощо.

Багатопараметричні оцінки $L_i = \{h_i^1, h_i^2, \dots, h_i^k, \dots, h_i^K\}, (i = 1, \dots, L)$ важливості окремих ЕД розраховуються на основі процедури MAI, де h_i^k - відносна значимість k -ого параметру i -ої технологічної ділянки.

Структура моделі MAI (MI) для оцінки показників важливості h_i^k , представлена за рахунок вкладання вузлів, має такий вигляд:

$$MI = (P(S1, S2, S3, S4, S5), G(S1, S2, S3, S4, S5), PM(S1, S2, S3, S4, S5)), \quad (4)$$

де MI – ієрархічна модель. Вузли першого рівня P, G, PM визначають пасажирські, вантажні та приміські перевезення, відповідно; їх підвузли другого рівня ієрархії S1, S2, S3, S4, S5 значать наступне: категорія поїзда, період, місце знаходження (місця простою: перегін, станція), напруженість ділянки, період необхідний для відновлення транспортної мережі. За допомогою (4) визначають важливість окремих категорій ділянок h_i , через них розраховують інші ділянки залізничної мережі, які також застосовуються для визначення черговості діагностування та ремонтів ЕД.

Ефективне управління експлуатацією парків ЕД реалізується на основі моделей векторної оптимізації (ВО) з наступними частковими показниками: E - експлуатаційні витрати – $f_1(x)$, P - рівень надійності системи – $f_2(x)$, DZ - додаткові витрати при відмовах – $f_3(x)$. Для реалізації завдання ВО використовується аксіоматичний метод скаляризації, який полягає у виборі узагальненого максимінного критерію оптимальності, виду

$$\lambda^0 = \max_{x \in D} \min_{k \in N} \{\lambda_k^1 = (\lambda_k / \alpha_k) = \alpha_k^{-1} ((f_k(x) - f_k^-) / (f_k^+ - f_k^-))\}, \quad (5)$$

що гарантує отримання рішення задачі ВО з такими властивостями: єдиний компроміс, задовольняє вимогам оптимальності по Парето, а також умовам симетрії (незалежність значення від індексу показника) у вигляді

$$\lambda_p(x_c^0) \alpha_p^{-1} = \lambda_q(x_c^0) \alpha_q^{-1}, \quad \forall p, q \in N, \quad (6)$$

де f_k^-, f_k^+ - мінімальні і максимальні оцінки показників при $x \in D_x$ α_k - коефіцієнт важливості. Виконання умов (6) рішення x_c^0 (5) забезпечується через взаємно компромісний характер відношень показників ефективності (E, P, DZ), що встановлено у роботі, служить підставою для застосування моделі (5).

Зазначене управління (5) в АЕПЕД реалізується на основі інтелектуальних методів та експертних систем (ЕС). При цьому виконано формування баз правил (БП) нечітких ЕС, призначених для класифікації об'єктів за даними їх частотного спектру, а також для прогнозування станів стрілочних ЕД у процесах експлуатації.

При формуванні БП був отриманий та досліджений частотний спектр зразків ЕД постійного струму, що мають різний технічний стан (справні, коротке замикання обмотки та пластин колектора, обрив секції якоря ін.). Спектр струму представлено 256 інтенсивностями гармонік ШПФ. У БП діагностування виду (7), (8) через $M(i; k)$ позначене середнє арифметичне інтенсивності гармонік з індексами від i до k ($i < k$).

Узагальнені, нечіткі правила для діагностування зразків ЕД моделі МСП-0.25 різних категорій несправності мають вигляд:

$$\begin{aligned} \text{IF } (M(1; 64) \text{ is } \textit{Less90}) \quad & \text{THEN } \textit{IsOK}; \\ \text{IF } (M(1; 64) \text{ is } \textit{More70}) \quad & \text{THEN } \textit{Is-Round-Light}. \end{aligned} \quad (7)$$

Моделі виду (8) являються правилами у формі Мамдані або Такагі-Сугено, поданими у спрощеній формі, що відповідає досліджуваним процесам. В (8) $\textit{Less90}$, $\textit{More70}$, \textit{IsOK} , ін. – нечіткі величини інтенсивності гармонік спектру.

Зазначена методика автоматизованої діагностики ЕД засобами нечітких ЕС дозволила вірно визначати всі типи несправностей за правилами виду

$$\begin{aligned} \text{IF } ([M(26; 30) \text{ is } \textit{More60}] \text{ AND } [M(26; 30) \text{ is } \textit{Less90}]) \\ \text{THEN } \textit{Is-K30} \text{ «Коротке замикання обмотки»}; \\ \text{IF } ([M(26; 30) \text{ is } \textit{More30}] \text{ AND } [M(26; 30) \text{ is } \textit{Less20}]) \\ \text{THEN } \textit{Is-K3PK} \text{ «Коротке замикання пластин колектора»}; \\ \text{IF } ([M(26; 30) \text{ is } \textit{More20}] \text{ AND } [M(26; 30) \text{ is } \textit{Less43}]) \\ \text{THEN } \textit{Is-O3Ya} \text{ «Обрив секції якоря»}. \end{aligned} \quad (8)$$

Підвищення достовірності нечітких правил виду (8) у порівнянні із детермінованими демонструє рис. 2. Так при детермінованих моделях діагностування область (430; 600) інтенсивності гармонік $M(26; 30)$ не відповідає жодному типу несправності (стан ЕД «справний», рис. 2 – (а)). При нечітких моделях (8), рис. 2 – (б), в ЕД «розвиваються» процеси пошкодження («Коротке замикання обмотки» або «Обрив секції якоря»).

Отримав розвиток метод управління Такагі-Сугено (Т-СУ) на основі індексів достовірності, що ураховує нелінійну модель агрегування результатів окремих правил і процедури екстраполяції на основі аналізу «подібних» екземплярів парку ЕД. При цьому в якості моделі вибору управління, що узагальнює результати окремих правил, використовується аксіоматика компромісу «відносна поступка», тоді як у схемі Т-СУ застосовується лінійна модель - «абсолютна поступка». У модулі Т-СУ база правил має вигляд:

$$R^{(k)} : \text{IF}(x_1 \text{ is } D_1^k \text{ AND } x_2 \text{ is } D_2^k \dots \text{AND } x_n \text{ is } D_n^k) \text{ THEN } y_k = f^{(k)}(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (9)$$

де $R^{(k)}$ – окремі правила; D_s – узагальнені форми недетермінованих (нечітких, нечітко-статистичних ін.) множин. Функції у правих частинах (9) відповідають вхідним «сигналам» x_j . Для управління на основі (9) необхідно обчислити y_k та розрахувати «активність» правил $R^{(k)}$. У модифікованому методі типу Т-СУ

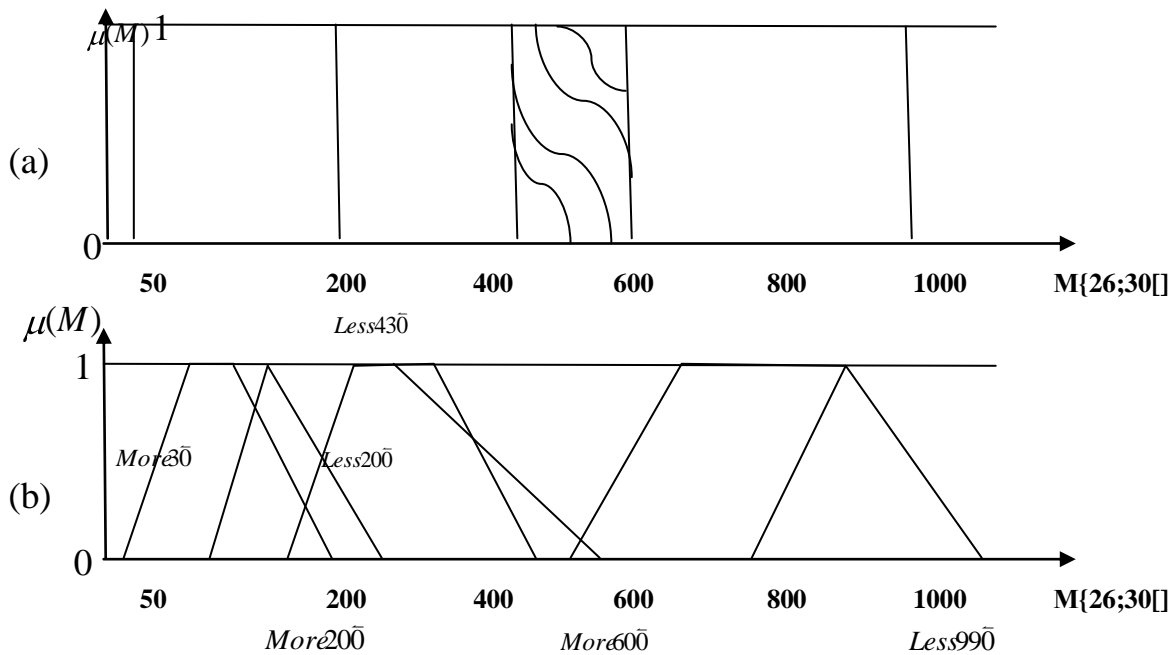


Рисунок 2 – Представлення детермінованих (а) і нечітких (б) правил бази знань експертної системи діагностування несправностей ЕД

нелінійної апроксимації правил (9) вихідна характеристика дорівнює:

$$Y = \prod_{i=1}^n y_i^{\omega_i}, \quad (10)$$

де n – число, y_i – вихідні функції, ω_i – ступінь активності правила « i » (9).

В моделі АЕПЕД рис. 1 процедури діагностування на етапі (t) застосовують для ЕД, спектральні характеристики струму яких за прогнозними оцінками станів знаходяться у зонах типових несправностей (7), (8), або діагностування ЕД є обов'язковим. За даними діагностування корегують ІМ двигунів, визначають необхідності ремонтів, а також упорядковують черги їх виконання.

Вирішення завдань оцінки прогнозних величин певних характеристик (термін до виникнення несправності, очікувана вартість відмови СП ін.) отримане методом Такагі – Сугено, коли функції $f^{(k)}(\bar{x})$ (9) розраховують на основі багатовимірної лінійної екстраполяції (БЛЕ). Для цього використовуються не лише дані ІМ конкретного ЕД (3), а всіх «подібних» систем парку на різних етапах експлуатації. Множини «подібних» ЕД також визначаються правилами з посиланнями виду (9), що утворює розрахункову базу прогнозування за БЛЕ.

При формуванні моделей Т-СУ виду (9) ураховуються наступні вхідні $\{X_k\}$ та вихідні $\{Y_j\}$ параметри експлуатації ЕД. Вхідні параметри: X_1 – період після обслуговування електромеханіком; X_2 – період після останнього діагностування; X_3 – висота щіток; X_4, X_5 – характеристики спектру на кроках $(t-1)$ та $(t-2)$; X_6, X_7 – інтенсивності поїздопотоків для $(t-2), (t-1)$; X_8, X_9, \dots – достовірності типових видів несправностей ЕД. Вихідні параметри: Y_1 – очікуваний період до відмови ЕД; $Y_2 Y_3$ – очікувана величина вартості ремонту ЕД, або відмови СП; $Y_4 Y_5, \dots$ – достовірності визначення станів ЕД.

В табл. 2 представлено типові правила для прогнозування $\{Y_j\}$ ЕД постійного струму МСП-0.25, де в стовпцях – змінні множини $\{X_k\}$ і один з параметрів $\{Y_j\}$, який розраховують за методом багатовимірної лінійної екстраполяції.

Таблиця 2 – Структура правил прогнозування параметрів станів ЕД для нелінійної моделі управління типу Такагі-Сугено

N_{rule}	Y_{oute}	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_8
1	$Y_5(OK)$		$+(4\bar{0})$		$+(3\bar{0})$	$+(5\bar{5})$		
2	$Y_4(KZO)$	$+(8\bar{0})$			$+(7\bar{3}\bar{0})$	$+(8\bar{2}\bar{0})$	$+(3\bar{0})$	
3	$Y_5(OCЯ)$	$+(7\bar{0})$	$+(2\bar{0})$		$+(3\bar{6}\bar{0})$			$+(0.8\bar{0})$
4	$Y_1(KЗПК) \approx 2\bar{0}$		$+(3\bar{0})$	$+(4\bar{0})$	$+(1\bar{2}\bar{5})$	$+(7\bar{5})$		$+(0.9\bar{0})$
5	$Y_2(Рем) \approx 220\bar{0}$		$+(1\bar{0})$	$+(3\bar{0})$			$+(4\bar{0})$	$+(0.9\bar{5})$
6	$Y_3(Відм) \approx 3000\bar{0}$	$+(6\bar{0})$	$+(3\bar{0})$	$+(3\bar{5})$			$+(3\bar{0})$	$+(0.9\bar{0})$

Відповідне правило для рядка «6» має вид

$$R^{(6)} : IF(x_1 is 6\bar{0} AND x_2 is 3\bar{0} ... AVD x_8 is 0.\bar{9}) THEN Y_5(Відмова) = f_{БЛЕ}^{(6)}(x_1, x_2, \dots, x_8), \quad (11)$$

в якому права частина (очікувана вартість відмови СП) розраховується процедурою БЛЕ-екстраполяції, на основі даних відібраних прецедентів. У табл. 2 знак «+» указує на входження змінної до правила, в дужках записані нечіткі множини, як приклади типових областей значень параметрів.

Процедуру з оцінки адекватності моделей екстраполяційного БЛЕ-прогнозування на основі моделей (10). (11) складають етапи: - відбір за даними ІМ (3) для контрольованого ЕД множини «подібних» $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$; - формування на основі $\{\bar{X}_{ЕДk}\}$ множини варіантів для визначення статистичних параметрів прогнозування за БЛЕ; - побудова регресійної моделі (МРГ) $\Delta Y(\bar{X}) = F(Y_{МЛЕ}(\bar{X}))$ залежності відхилень параметрів станів ЕД від прогнозів на основі методу БЛЕ, рис. 3, точності якої відповідають прогнози (11).

За критерієм Фішера на рівні значущості $\alpha = 0,05$ підтверджено адекватність розробленої моделі регресії виду

$$\Delta Y(\bar{X}) = 15,56 - 0,9 * Y_{МЛЕ}(\bar{X}), \quad (12)$$

яка зв'язує відхилення вихідного параметру $\Delta Y(\bar{X})$ з розрахунками за БЛЕ $Y_{МЛЕ}(\bar{X})$, виконаними на основі «подібних» ЕД. МРГ із довірчими інтервалами застосовані для прогнозування і подальшого планування процесів експлуатації парків ЕД.

З метою підвищення ефективності завдань експлуатації парків ЕД в АЕПЕД створено засоби для планування обслуговування (ремонтів, діагностування ін.) об'єктів парку ЕД з урахуванням розподілу робіт на основі спеціалізації виконавців,

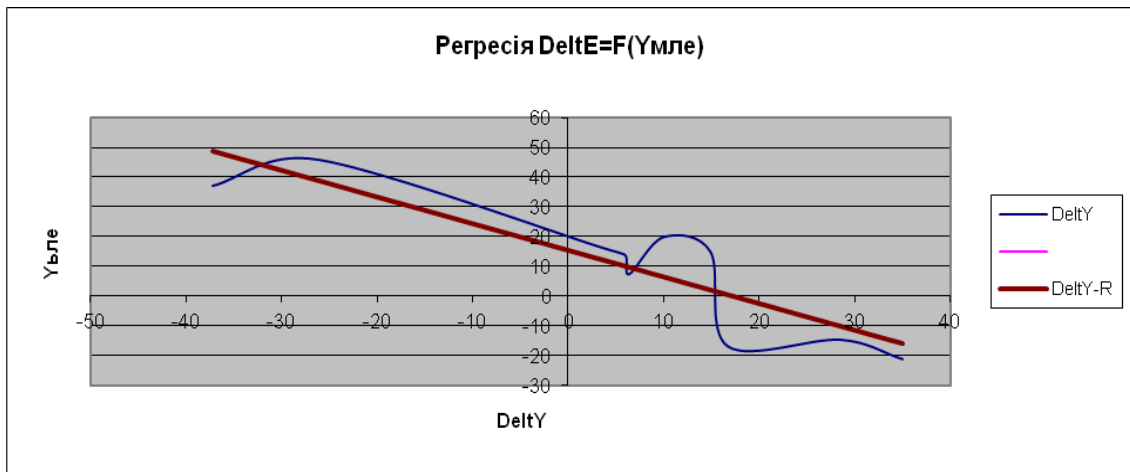


Рисунок 3 – Графіки залежності відхилень параметрів станів ЕД від прогнозів на основі моделі екстраполяції за (11)

що виконується засобами модифікованої відкритої нечіткої моделі транспортної задачі про «цілерозподіл» з обмеженими пропускними здатностями, виду

$$R(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{C}_{ij} X_{ij} \rightarrow \max_{\{X_{ij}\}}; \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq N_i, \quad j = 1, \dots, n; \quad \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq \tilde{d}_i^{(t)}, \quad i = 1, \dots, m; \quad (14)$$

$$X_{ij} \leq \tilde{d}_{ij}, \quad i = 1, \dots, m; \quad X_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (15)$$

в якій коефіцієнти матриці питомих вартостей представлено нечіткими величинами. В (13) - (15) позначено: X_{ij} - число заявок (ЕД) типу «і», які обслуговує спеціалізована система типу «j»; \tilde{C}_{ij} - матриця нечітких оцінок питомої ефективності обслуговування; $\tilde{d}_{ij}^{(t)}$ - нечітке число заявок типу «і» в період «t». Рішення задачі зводиться до низки завдань лінійного програмування (ЛП), шляхом введення дискретних α -рівнів для нечітких величин, тоді нечіткі обмеження приймають інтервальний вигляд. При цьому кількість обмежень збільшується в два рази, а отримане завдання вирішується симплексним методом. Для кожного α -рівня вибираються граничні значення за правилами інтервальної арифметики. Якщо X_0 - рішення задачі ЛП на множині рівня α , тоді α вважають його ступенем приналежності для множини рішень (13) - (15).

В роботі вперше сформована модель кооперативної взаємодії виконавців при плануванні процесів експлуатації парку ЕД, як узагальнення детермінованої моделі (13) - (15). представлена як компроміс нерівноправних партнерів (компанії з обслуговування – ОК). При обліку нерівнозначності ОК ваговими коефіцієнтами модель векторної розподільної задачі (13) - (15) має вигляд

$$R(\{\Psi_k(X)\}) = \sum_{(k)} \alpha_k \left(\sum_{i \in M(k)} \sum_{j \in N(k)} \tilde{C}_{ij}^{(k)} X_{ij}^{(k)} \right) \rightarrow \max_{\{X_{ij}\}}. \quad (16)$$

В (16) система обмежень у цілому відповідає (13) – (15), а елементи k – вказують на деякі ОК; множини $M(k), N(k)$ визначають число замовлень (ЕД) типу «і», які обслуговує виробнича система типу «j», відповідно.

На рис. 4 наведено приклад формування області компромісно-оптимального вибору для ОК1 та ОК2 на основі (16), а також методу добутку показників ОК, що характеризує кооперативну взаємодію як узгоджений розподіл ремонтів ЕД.

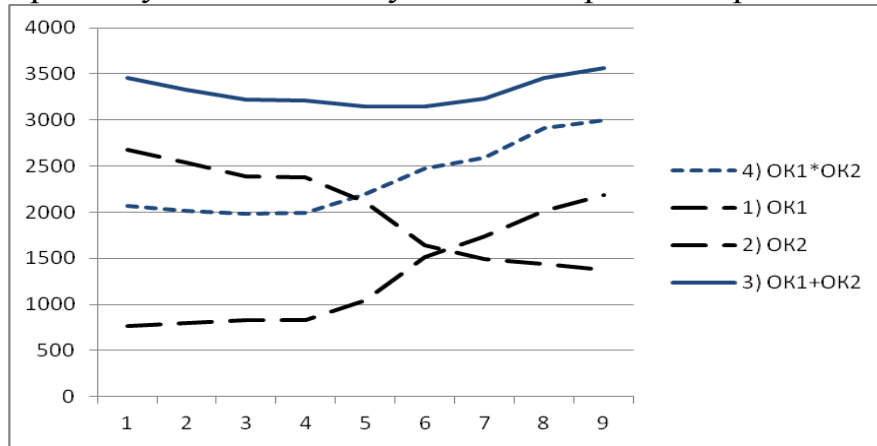


Рисунок 4 – Графічне представлення множини компромісно-оптимальних рішень лінійної (лінія 3) і нелінійної (4) моделі кооперативного планування

На рис. 4 лінії ОК1 і ОК2 відповідають величинам обсягів робіт (витратам) окремих операторів, лінія (3) ОК1+ОК2 являє лінійний (16), а (лінія 4) – компроміс відносної поступки, модель добутку для різних значень вагових коефіцієнтів α_k .

Для забезпечення стійкості залізничних перевезень в умовах збурень, можливих «збоїв» у реалізації графіку руху поїздів, в роботі сформовані двохетапні моделі оптимального планування, які містять фактори ризику або нечіткості даних, базуються на трикутних нечітких числах та ймовірнісних величинах. В них при плануванні черговості ремонтів (діагностування) стрілочних переводів ураховують пріоритети поїздоділянок (4): визначається апріорна інформація – сценарії (шаблони) відмов у вигляді можливих послідовностей «збоїв». Шаблони також містять оцінки параметрів невизначеності (ймовірнісні або нечіткі) та відповідні додаткові витрати на компенсацію збурень. На основі ІМ експлуатації ЕД (3), а також пріоритетів поїздоділянок, задаються (генеруються) вектори послідовностей обслуговування парку ЕД, серед яких визначається оптимальний.

При ймовірнісних оцінках факторів невизначеності збурень сформовано стохастичну (СДМОП), а для нечітких – нечітку двохетапну модель планування черговості обслуговування (НДМОП). В НДМОП розраховується вектор черговості $X^*(X_{kj^*})$ за умов відомих нечітких факторів «збурень» $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s)$, що характеризує шаблон $Sh(k)(V_k, H_k, \mu_k)$. Стани μ_i визначають детерміновані $[d_i^1, d_i^2]$ або нечіткі $[\hat{d}_i^1, \hat{d}_i^2]$ діапазони відхилень графіка руху через «відмови» СП:

$$\mu_i = \langle [\mu_i^1, \mu_i^2], h_i(\mu_i), \mu(\mu_i) \rangle; \quad \mu_i = \langle [\hat{\mu}_i^1, \hat{\mu}_i^2], \hat{h}_i(\mu_i), \mu(\mu_i) \rangle, \quad (17)$$

де $h_i(\mu_i)$, $\hat{h}_i(\mu_i)$ – питомі оцінки (детерміновані або нечіткі) додаткових витрат \bar{H}_k в умовах (V_k, μ_{ki}) . НДМОП вибору черговості обслуговування $X(X_{kj})$ має вигляд

$$\{\Phi(X) = \hat{B}(X) + \hat{E}[\hat{f}(X, Y(X, \mu), \mu)]\} \Rightarrow \min_{X \in G_X}. \quad (18)$$

В (18) позначено: детермінована $B(X)$ або нечітка функція $\hat{B}(X)$ – вартісна оцінка вектора послідовностей ремонтів ЕД X_{kj} при виконанні графіка руху, $\hat{f}_h(*)$ – функція додаткових витрат в умовах μ , $Y(X^{(t)}, \mu)$ (17), $\hat{E}[*]$ – знак операції нечіткого висновку відповідно величин $\hat{f}_h(*)$, G_X – область допустимих значень параметрів рішень на етапі планування t , $X^{(t)}$.

Для реалізації (18) використовується арифметика трикутних нечітких чисел. При цьому схематично алгоритм розрахунку $\Phi(X)$ можна представити у вигляді:

$$X \rightarrow \{\hat{f}_k(X)\},$$

$$\hat{B}(X) \rightarrow \{f_k^n(X) = \hat{f}_k(X) \otimes \mu(\mu_k)\} \rightarrow \Phi(X) = \hat{B}(X) \oplus \hat{E}[f_k^n(X)]. \quad (19)$$

В (19) знаки $\{\otimes, \oplus\}$ являють операції добутку і суми зазначеної арифметики. Значення $\Phi(X)$ (18) використовують у НДМОП для знаходження X^* (X_{kj}^*) в умовах (17). В роботі виконано порівняльний аналіз двохетапних стохастичних і нечітких моделей розрахунку оптимальної черговості обслуговування при експлуатації парку стрілочних ЕД.

В четвертому розділі розглянуті питання щодо техніко-економічної ефективності системи АЕПЕД. Розроблена методика і виконана оцінка зазначеної та інвестиційної ефективності автоматизованої експлуатації парків ЕД. Методика ураховує декілька складових: технічну, технологічну, економічну, організаційну, ефективність супроводу системи, можливості застосування сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та взаємодії з іншими АСУ залізниць ін. Вона також містить рекомендації країн Євросоюзу щодо фінансування проектів інфраструктурного типу (Регламент № 1083/ 2006, стаття 40). Запропоновано процедуру оцінки ефективності АЕПЕД з урахуванням розвитку та поетапного впровадження проекту. За даними Південно-Західної залізниці економічна ефективність системи АЕПЕД понад 1.5 млн. грн. на рік, окупність – менше 1 року.

У додатках наведено інформацію щодо впровадження дисертаційної роботи, організації планово-попереджувальної експлуатації парків ЕД, спектрограми робочих струмів ЕД постійного струму з різними видами несправностей, розрахунки щодо пріоритетів ЕД та адекватності моделей екстраполяційного прогнозування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене науково-прикладне завдання із підвищення ефективності процесів багатокритеріальної автоматизованої експлуатації парків стрілочних електродвигунів на основі оцінок їх поточного стану, а також з урахуванням невизначеності стану інфраструктури і процесу перевезень. Виконані

дослідження і розробки дозволяють перейти від планово-попереджувального методу до автоматизованої експлуатації зазначених парків по їх фактичному технічному стану. Отримані у дисертації результати та висновки полягають у наступному.

1. Проведений аналіз діючих методів і засобів експлуатації стрілочних електродвигунів дозволив визначити суттєві відмінності комплексу завдань автоматизованої експлуатації парків. На основі аналізу інформаційного та ефективності організаційного забезпечення процесів технічної експлуатації встановлені завдання щодо удосконалення експлуатації парків електродвигунів.

2. Розроблено удосконалену структуру системи автоматизованої багатокритеріальної експлуатації парків стрілочних електродвигунів, яка враховує оцінки їх поточних станів та інфраструктури. Сформульовано комплекс нових наукових завдань що забезпечують реалізацію системи експлуатації парків.

3. Розроблено удосконалену систему індивідуальних інтелектуальних моделей процесів експлуатації, які забезпечують актуальність, повноту та достовірність даних стосовно завдань експлуатації парків електричних двигунів за параметрами поточного стану в умовах діючих технологічних процесів експлуатації.

4. Розроблено систему багатокритеріальних моделей і двохетапних процедур для автоматизації розрахунків раціональної черговості діагностування та ремонту парку електричних двигунів, які ураховують статистичну і нечітку форми даних про стани парку та інфраструктури перевезень.

5. Удосконалено процедуру Такагі-Сугено для екстраполяційного прогнозування станів і планування експлуатації парків стрілочних двигунів.

6. Удосконалено моделі розподілу двигунів парку між ремонтними базами на основі спеціалізації та кооперації, які використовують нечіткі оцінки параметрів завдань планування та компромісно-оптимальний характер ефективних рішень.

7. Розроблено методику оцінки технолого-економічної та інвестиційної ефективності пропонуваніх засобів автоматизованої експлуатації парків стрілочних електродвигунів, яка прийнята до впровадження у Південно-Західній залізниці. Очікувана економічна ефективність залежно від ступеня застосування системи АЕПЕД складає від 300 тис. до 1.5 млн. грн. на рік, період окупності –1 рік.

8. На рівні значущості $\alpha = 0,05$ за критерієм Фішера підтверджена адекватність запропонованих моделей експлуатації парку, в тому числі процедур прогнозування станів стрілочних електродвигунів і планування ремонтів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці

1. Ейтутіс Г.Д. Економіка залізниці: історія, сьогодення, перспективи розвитку:[монографія]/ Г.Д. Ейтутіс, О.М. Кривопішин, І.П. Федорко, В.М. Осовик, М.С. Семенюк; за ред. Г.Д. Ейтутіса, О.М. Кривопішина. - Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект - Поліграф", 2014. – 292 с.

2. Скалозуб В. В. Методы интеллектуальных транспортных систем в задачах управления парками объектов железнодорожного транспорта по текущему состоянию [Текст] / В.В. Скалозуб, О.М. Швец, В.Н. Осовик. //Зб. наук. пр. ДНУ ім. О. Гончара «Питання прикладної математики і математичного моделювання», -

Дніпропетровськ: Вид-во «Ліра», 2014. – С. 229 – 242.

3. Осовик В.М. Удосконалення методів автоматизованого управління процесами експлуатації парків залізничних технічних систем [Текст] / В.М. Осовик // Системні технології, 5 (100), 2015. – С. 19-30,

4. Осовик В.М. Питання забезпечення стійкості процесів залізничних перевезень на основі підвищення надійності стрілочних переводів [Текст] / В.М. Осовик // Транспортні системи та технології перевезень /Зб. наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, №9. 2015. – С. 57 – 64.

5. Осовик В. М. Розвиток методів інтелектуальної автоматизованої експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів на базі оцінки параметрів поточного стану [Текст] // Свідоцтво № 62670 про реєстрацію авторського права, 2015

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

6. Скалозуб В.В., Индивидуальные интеллектуальные модели для эксплуатации парка однородных железнодорожных технических систем на основе параметров текущего состояния [Текст] /В.В. Скалозуб, В.Н. Осовик // "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті", №6, 2014. – С. 8 – 12.

7. Осовик В.М. Векторна модель автоматизованого управління процесами експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів [Текст] /В.М. Осовик //В зб. "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті", №5, 2015. – С. 39 – 43.

Публікації у закордонних виданнях:

8. Скалозуб В.В. Автоматизированное нечеткое интеллектуальное управление эксплуатацией парков железнодорожных технических систем на основе параметров текущего состояния [Текст] / В.В. Скалозуб, В.Н. Осовик //Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. № 2 (30), 2015. – С. 34-36.

Додаткові праці що відображають наукові результати дисертації

9. Скалозуб В. В. Економіко-технологічні моделі аналізу і управління експлуатацією парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів [Текст] / В.В. Скалозуб, В.М. Осовик, І.В. Клименко //В зб. «Проблеми економіки транспорту», вип. 9, 2015. – С. 129 – 137.

Праці апробаційного характеру:

10. Скалозуб В.В. Индивидуальные интеллектуальные модели процессов эксплуатации парка технических систем железнодорожного транспорта на основе текущего состояния / В.В. Скалозуб, В.М. Осовик // Материалы 27 Международной научно-техн. конф. «Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте », № 4 (приложение). Харьков, УкрДУЗТ, 2014. – С. 10 – 11.

11. Skalozub V.V. Intelligent models for monitoring and operation on the set of

railway technical systems based on the parameters of the current state /V.V. Skalozub, V.N. Osovik //Материалы конф. “Интеллектуальные транспортные системы” проекта «CITISSET» (№ 517374-TEMPUS-1-2011). – Москва, МИИТ, 2014. – С. 45 – 47.

12. Осовик В.Н. О процедурах взаимодействия объектов в интеллектуальных системах транспорта // III Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта». 27.01-31.01.2014 р. – Днепропетровск: ДНУЗТ. - С. 49 – 50.

13. Скалозуб В.В. Экономико-математическое моделирование процессов эксплуатации парков сложных технических систем железнодорожного транспорта /В.В. Скалозуб, В.Н. Осовик //Тез. доп. XII Міжнародна наукова конференція «Проблеми економіки транспорту».. 2014 р. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ. – С. 213.

14. Скалозуб В.В. Автоматизація прогнозування параметрів інвестиційних проектів методами нечіткого управління / В.В. Скалозуб, О.П. Іванов, В.М. Осовик //Тез. доп. 74 Міжнарод. науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», 2014 р. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ. – С. 210.

15. Скалозуб В.В. Проблеми автоматизації процесів управління експлуатацією парків залізничних технічних систем на базі оцінки параметрів поточного стану / В.В. Скалозуб, В.М. Осовик. Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 75 Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.) – Д.: ДИИТ, 2015. – С. 203.

16. Скалозуб В.В. Інтелектуальні моделі управління експлуатацією парків залізничних технічних систем за параметрами поточного стану/ В.В. Скалозуб, В.М. Осовик // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп’ютерне моделювання та оптимізація складних систем». – Дніпропетровськ, УДХТУ, 2015. – С. 83 – 87.

17. Осовик В.М. Питання розвитку автоматизованого управління процесами експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів / В.М. Осовик // Материалы 28 Международной научно-технической конф. «Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте », № 4 (приложение). Харьков, УкрДУЗТ– 2015. – С. 8.

АНОТАЦІЯ

Осовик В.М. Підвищення ефективності експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів з урахуванням стану інфраструктури.
– 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 МОН України, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичного завдання щодо підвищення ефективності експлуатації парків стрілочних електричних двигунів шляхом удосконалення систем автоматизованого дистанційного моніторингу, спектрального аналізу робочого струму, діагностування та прогнозу їх стану, а також врахування невизначеності параметрів інфраструктури у виробничих

процесах. В роботі розроблено удосконалену структуру системи автоматизованого управління, систему індивідуальних моделей процесів експлуатації парків електродвигунів, багатокритеріальні моделі та двохетапні процедури управління, призначені для розрахунків раціональної черговості діагностування та ремонту. Удосконалено модель розподілу ремонтів з урахуванням спеціалізації та кооперації виконавців робіт, а також метод Такагі–Сугено, використаний для прогнозування станів і планування процесів експлуатації. Встановлена адекватність запропонованих моделей експлуатації парку електричних двигунів. Розроблена методика і виконана оцінка техніко-економічної та інвестиційної ефективності запропонованої системи. За даними Південно-Західної залізниці термін її окупності становить 1 рік.

Ключові слова: стрілочні переводи, електричні двигуни, експлуатація парку систем, поточний стан, робочий струм, спектральний аналіз, інфраструктура, умови невизначеності, нейронні мережі, нечіткі моделі управління, експертні системи, векторна оптимізація, екстраполяція, черговість обслуговування.

АННОТАЦІЯ

Осовик В.Н. Повышение эффективности эксплуатации парков электрических двигателей железнодорожных стрелочных переводов с учетом состояния инфраструктуры. – 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 академика В. Лазаряна МОН Украины, Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи повышения эффективности эксплуатации парков стрелочных электродвигателей путем развития систем автоматизированного дистанционного мониторинга, спектрального анализа рабочего тока, диагностирования и прогнозов их состояния, а также учета неопределенности параметров инфраструктуры в производственных процессах.

В работе определены отличия и сформулированы новые научно-технические задачи эксплуатации парков стрелочных электродвигателей, разработаны усовершенствованная структура и модели системы автоматизированного управления эксплуатацией. Сформированы усовершенствованная система индивидуальных моделей процессов эксплуатации парков электродвигателей, многокритериальные модели и двухэтапные процедуры управления, предназначенные для расчетов рациональной очередности диагностики и ремонта. Выполнен сравнительный анализ двухэтапных стохастических и нечетких моделей выбора оптимальной очередности обслуживания, учитывающих возможности отказа объектов инфраструктуры.

Интеллектуальные модели процессов эксплуатации накапливают спектры, полученные для рабочих токов электродвигателей, полученные на основе быстрого преобразования Фурье, а также результаты различных видов их обслуживания. Векторная модель управления эксплуатацией парка учитывает показатели эксплуатационных затрат, надежности, дополнительных затрат при «отказах». Для ее реализации использован аксиоматический метод формирования компомисса.

Усовершенствован метод Такаги–Сугено за счет формирования нелинейной, мультипликативной, свертки для обобщения результатов отдельных правил. Метод использован для экстраполяционного прогнозирования состояний и планирования процессов эксплуатации парка. Усовершенствована модель распределения ремонтов с учетом специализации и кооперации исполнителей работ, реализованная на основе модифицированной нечеткой модели транспортной задачи о «целераспределении» с ограниченными пропускными способностями.

Установлена адекватность предложенных моделей и средств эксплуатации парка стрелочных электродвигателей. Разработана методика и выполнена оценка технико-экономической и инвестиционной эффективности предложенной системы. По данным Юго-Западной железной дороги срок ее окупаемости составляет 1 год.

Ключевые слова: стрелочные переводы, электрические двигатели, эксплуатация парка систем, текущее состояние, рабочий ток, спектральный анализ, инфраструктура, условия неопределенности, нейронные сети, нечеткие модели управления, экспертные системы, векторная оптимизация, экстраполяция, очередность обслуживания.

SUMMARY

Osovyk V.M. Improving of the exploitation efficiency of rail turnouts electric motor parks taking into account the infrastructure condition. – The manuscript.

Dissertation for the Candidate of Sciences' degree, specialty 05.22.20 – transport exploitation and repair. - Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2015.

The dissertation is devoted to solve scientific and practical task to improve the operational exploitation efficiency of electric motor parks by improving automated remote monitoring, spectral analysis of current amperage and diagnosis of their real condition, taking into account uncertainty of infrastructure parameters in production processes.

The dissertation describes the features of rail turnouts electric motor parks exploitation tasks, formulates new scientific and technological challenges and represents a new improved structure of automated control operation system. Also were developed: an improved system of individual models of electric motor exploitation parks, multicriteria models and two-stage management procedures, designed for rational priority of diagnostics and repair. The method of Takagi - Sugeno was improved and used for extrapolation state forecasting and exploitation planning. The model for repair allocation was improved considering specialization and cooperation of contractors. The models, developed for the park exploitation, are adequate.

In the dissertation was developed a method and was estimated the technical, economic and investment efficiency of the proposed system. According to the South-Western Railway data payback period of development will be 1 year.

Keywords: railway turnouts, electric motors, exploitation of the systems' park, the current state, operating amperage, spectral analysis, infrastructure, conditions of the uncertainty, neural networks, fuzzy control models, expert systems, vector optimization, extrapolation, order of the service.

ОСОВИК ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ
ЗАЛІЗНИЧНИХ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ З УРАХУВАННЯМ
СТАНУ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 17.12.2015 р. Формат паперу 60x84 1/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. л. 1,0.
Замовлення № 624. Тираж 100 прим.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

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