ISSN 2309-82IX (Print), ISSN 2310-2438 (Online)

Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту», 2015, вип. 9.

УДК 519.711.2

В. В. СКАЛОЗУБ[1*], В. М. ОСОВИК[2], І. В. КЛИМЕНКО[2]

[1*]Факультет «Технічна кібернетика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. (056) 373-15-35, ел. пошта skalozub_vl_v@mail.ru
[2]Каф. «Комп'ютерні та інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. (056) 373-15-35, ел. пошта skalozub_vl_v@mail.ru

ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ АНАЛІЗУ Й УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ПАРКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

Мета. Підвищення ефективності та стійкості процесів експлуатації на залізницях, зменшення експлуатаційних витрат неможливі без розвитку комплексних систем автоматизації, призначених для експлуатації парків технічних систем – АСЕП. Стаття присвячена питанням удосконалення АСЕП в частині розвитку методів аналізу й планування черговості діагностування та ремонтів електричних двигунів (ЕД) залізничних стрілочних переводів з урахуванням умов недетермінованості. Удосконалені технологічні й економічні моделі, за якими виконується автоматизоване управління АСЕП, повинні враховувати різну форму інформації про технічний стан пристроїв та умови функціонування транспортної системи (зокрема, нечітку). Також моделі повинні забезпечувати можливості адаптації параметрів і більшої результативності процедур планування з метою підвищення ефективності залізничних перевезень у цілому. **Методика**. Дослідження були здійснені з використанням процедур моніторингу та діагностування ЕД, які перебували під впливом робочих навантажень. Управління експлуатацією парків ЕД виконується на основі індивідуальних інтелектуальних моделей, а також мереж Кохонена, побудованих за спектральними характеристиками струму ЕД. При плануванні ремонтів ураховується спеціалізація виконавців. Черговість обслуговування ЕД визначається на основі нечіткої двоетапної моделі планування. Для аналізу й прогнозування параметрів недетермінованих процесів застосовуються методи хаотичної динаміки. **Результати**. Удосконалено економіко-технологічні моделі аналізу й управління автоматизованими процесами експлуатації парків ЕД при нечіткому описі параметрів та умов. Вони ураховують поточний стан технічних систем, а також можливі збої процесу перевезень. Досліджено властивості недетермінованих процесів залізничних перевезень. **Наукова новизна**. Набули розвитку економіко-технологічні моделі автоматизованого управління експлуатацією парків ЕД, які враховують умови нечіткого опису параметрів системи. Моделі призначені для планування черговості діагностування та ремонтів ЕД, також вони ураховують спеціалізацію підприємств. Досліджено властивості процедури аналізу та інтерпретації недетермінованих часових рядів вагонопотоків при агрегуванні їх рівнів. **Практична значимість**. Результати досліджень забезпечують можливість автоматизації та підвищення ефективності процесів економіко-технологічного управління експлуатацією парків ЕД стрілочних переводів за умов нечіткого визначення параметрів системи. Процедура аналізу агрегованих рядів забезпечує можливості обґрунтованої інтерпретації їх властивостей та отримання достовірних оцінок прогнозування і планування на основі часових рядів.

Ключові слова: економіко-технологічне моделювання, парки технічних систем, процеси експлуатації, поточний стан, електричні двигуни стрілочних переводів, нечіткі двоетапні моделі планування, агреговані часові ряди, константа Херста.

Вступ

Забезпечення технологічної та економічної ефективності процесів (перевезень, експлуатації, ремонтів, автоматизованого управління та ін.) є одним із загальних і першочергових завдань залізничного транспорту України. Його успішне вирішення має численні складові, зумовлені рівнем розгляду, об'єктами й предметами аналізу, засобами реалізації і т.ін. У статті досліджуються деякі питання проблеми вдосконалення процесів автоматизованої експлуатації парків складних технічних систем (ТС) залізничного транспорту (вагонів, локомотивів, стрілочних переводів, тут – електродвигунів, ін.) або їх складових [1, 2]. У цілому це завдан-

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

ня є актуальною науково-технічною та економіко-технологічною проблемою залізниць України, які налічують десятки тисяч одиниць такого роду експлуатованих систем. Конкретними об'єктами аналізу та управління є електродвигуни (ЕД), що використовуються в залізничних стрілочних переводах [1]. Зазначимо, що зараз експлуатація ЕД здійснюється на основі планово-запобіжного методу, з урахуванням нормування [3]. При цьому дані про параметри ЕД не систематизуються й не використовуються при плануванні, автоматизація процесів експлуатації є недостатньою. Резюмуючи, можна сказати, що в цілому кожен технічний об'єкт (тут ЕД) розглядається самостійно, поза зв'язком з іншими ТЗ, які лише формально, за призначенням і виділеним ресурсом, утворюють «парк». Як цілісний самостійний об'єкт управління (технічного та економічного) «парк» ТЗ у системах автоматизації представлений лише в обмеженому вигляді.

Далі подано результати досліджень зі створення елементів інтелектуальної автоматизованої системи, що обслуговує технолого-економічне управління процесами експлуатації парків ЕД на основі отримання оцінок параметрів їх поточного стану.

Постановка завдань дослідження

У роботі досліджено завдання щодо економіко-математичного моделювання та оптимального управління процесами експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів. Зазначимо відмінність запропонованих моделей і методів планування і управління, яка полягає в урахуванні умов невизначеності, які виникають на практиці. У зв'язку із обмеженою і несистематизованою інформацію про об'єкти (ЕД) та процеси їх експлуатації вважається, що умови невизначеності можливо представити у формі розмитих або нечітких величин [4–6]. Наступна особливість розв'язуваних питань економіко-математичного планування процесів експлуатації парків ЕД полягає в постановках завдань планування послідовностей обслуговування (оглядів, діагностування, ремонтів) елементів з урахуванням їх поточного стану (значень набору параметрів). Це повинно суттєво вплинути на показники надійності, технологічної та економічної ефективності експлуатації парку ЕД. На показники ефективності виконання робіт впливає спеціалізація виконавчих систем або технологій. Питання розподілу робіт між виконавцями за умов неповної інформації є важливими при плануванні процесів експлуатації парків ТС. Формалізацію цього завдання також подано в статті. Нарешті, як підсумок результатів розробок наведено методику оцінки економічної ефективності створення засобів автоматизації управління парками ЕД в умовах невизначеності.

Завдання управління «парком» ТС полягає в такому. Розглядається множина ТС однакового (подібного) призначення, а також процеси їх експлуатації. Технічний стан об'єкта на даному етапі експлуатації визначається за сигналами, що знімаються з нього, причому без вилучення систем з процесів експлуатації. Також відомі ресурси (технічні, матеріальні, трудові та ін.), необхідні або ж виділені для експлуатації парку об'єктів. Розв'язується завдання автоматизації процесів експлуатації парку об'єктів на основі створення інтелектуальної автоматизованої технології та системи управління процесами експлуатації парку ТЗ за поточним станом. При цьому потрібно визначити параметри стану компонентів системи (моніторинг технічного стану), а також забезпечити раннє виявлення прихованих несправностей. Результатом моніторингу є оцінка належності об'єкта до класу справного або до заданих несправних класів. На основі даних моніторингу об'єктів потрібно отримати прогноз можливих змін станів елементів ТС, а також встановити раціональну черговість контролю й відновлення елементів з урахуванням вимог щодо безпеки транспортної системи та обмежених ресурсів процесів експлуатації. При цьому також необхідно розподілити роботи з об'єктами, ТС між можливими виконавцями, враховуючи умови невизначеності у формі нечіткості [5, 6], що виникає при прогнозі параметрів стану, зовнішніх факторів ін.

Автоматизована технологія діагностики та управління парком

Засоби автоматизації базуються на аналізі частотного спектра робочого струму двигуна, при цьому отримання спектральних характеристик струму ЕД реалізовано за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Для кожного електродвигуна формується індивідуальна мо-

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

дель (ІМ), що зберігає поточні та характеристики справного стану двигуна. При їх зіставленні та діагностуванні отримують оцінки достовірності виявлених несправностей електродвигуна. Ці оцінки зберігаються в ІМ ЕД.

Для розпізнавання можливих несправностей ЕД використана мережа Кохонена [4]. Аналіз взаємного розташування кластерів на топологічній карті Кохонена дозволяє виявляти подібності або відмінності між різними класами несправностей. Використання мережі Кохонена дозволяє виявляти й нові види несправності ЕД [1, 2]. Поточний і прогнозований технічний стан кожного ЕД з модуля діагностування передається в модуль черговості ремонту електродвигунів, який дає рекомендації про порядок ремонту ЕД.

Планування процесів діагностування та ремонтів ЕД з урахуванням спеціалізації виконавців методами нечіткого математичного програмування

Планування ремонтів (діагностування, обслуговування та ін.) об'єктів парку ЕД з урахуванням розподілу робіт на основі спеціалізації виконавців виконаємо за допомогою модифікованої відкритої моделі транспортної задачі про «цілерозподілення» [7] з обмеженими пропускними здатностями. Відмітна особливість розробленої моделі полягає в тому, що в ній коефіцієнти матриці питомих вартостей заздалегідь не можуть бути точно обчислені, вони представлені нечіткими величинами. Економіко-математична модель планування зазначених робіт, представлена у формі нечіткого програмування (НМП) [2, 7], має такий вигляд:

$$R(X) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \hat{C}_{ij} X_{ij} \to \max_{\{X_{ij}\}} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \le N_i, \left(j = \overline{1,n}\right) \qquad \sum_{j=1}^{n} X_{ij} \le \hat{d}_i^{(t)}, \left(i = \overline{1,m}\right) \quad (2)$$

$$X_{ij} \le \hat{d}_{ij}, \left(i = \overline{1,m}\right); \quad X_{ij} \ge 0, \left(i = \overline{1,m}\right); \left(j = \overline{1,n}\right) \quad (3)$$

В (1)–(3) позначено: X_{ij} – число заявок (ЕД) типу i, які обслуговує спеціалізована система типу j; $\hat{C}_{ij}$ – матриця нечітких оцінок питомої ефективності обслуговування; $\hat{d}_{ij}^{(t)}$ – нечітке число заявок типу i в період t. Бінарна операція «+» в моделі (1)–(3) із знаходження максимуму на заданій нечіткій області позначає додавання нечітких множин. Розв'язання зазначеної задачі зводиться до вирішення низки завдань лінійного програмування шляхом введення дискретних α-рівнів для нечітких величин [5, 6]. При цьому нечіткі обмеження набувають інтервального вигляду. Для приведення (1)–(3) до вигляду звичайної задачі лінійного програмування (ЛП) тепер достатньо записати нерівності окремо по лівому і правому краях інтервалів, з урахуванням знаків нерівності [5]. При цьому кількість обмежень збільшується у два рази, а отримане завдання можна вирішити симплексним методом [3, 4].

Перебравши всілякі значення α, отримують функцію належності нечіткого розв'язку задачі (1)–(3). На основі такого нечіткого представлення далі методами нечіткого управління розраховується детермінований розв'язок (1)– (3).

Технолого-економічне управління процесами експлуатації парків електричних двигунів на основі нечіткої двоетапної моделі планування

У рамках технолого-економічного управління процесами експлуатації парків ЕД необхідно ураховувати різні типи умов невизначеності (значень параметрів технічних систем, станів перевезень, можливих очікуваних схем їх виникнення і змін «збоїв» ін.). Виконаємо формалізацію завдання із планування на основі нечіткої двоетапної моделі оптимального планування (НДМОП), яка полягає у такому. Визначається апріорна інформація за шаблонами планування – $Sh_k(V_k, H_k, \mu_k)$. як альтернативними

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

варіантами сценаріїв відмов V_k у вигляді різних можливих послідовностей «збоїв» на залізничних ділянках. «Збої» (можливі відхилення графіка руху, ін.) описують відповідними значеннями характерних параметрів умов нечіткості μ, а також оцінюють додатковими витратами на компенсацію збурень (як детермінованих H_k або нечітких $\vec{H}_k$ функцій) і нечіткими показниками можливостей їх виникнення μ_k. Вважаються відомими функції (детерміновані $F(X)$ або нечіткі $\vec{F}(X)$) з оцінки економічної ефективності планів $X(Sh_k(V_{k,H_k,\mu_k}).)$ обслуговування парків ЕД – $\vec{F}(X)$. Необхідно згенерувати вектори $X(X_{kj})$ послідовностей обслуговування парку ЕД, серед яких визначити оптимальний $X^*(X_{kj^*})$ шляхом застосування НДМОП.

Модель НДМОП являє собою нечітке представлення інформації про можливості відмов у перевізному процесі з подальшим застосуванням методів нечіткого управління.

Представимо планування $X^*(X_{kj^*})$ як пошук і вибір X_{kj^*} з урахуванням вектора нечітких факторів $\mu=(\mu_1,\mu_2,...,\mu_s)$ реалізації недетермінованих станів системи експлуатації, що характеризує $Sh_k(V_{k,H_k,\mu_k}).$, умови реалізації плану обслуговування ЕД $X^{(t)}$, для яких відомі нечіткі величини $\{\mu(\mu_i)\}_s$. Для конкретності будемо визначати стани μ_i як детерміновані $[d_i^1,d_i^2]$ або нечіткі $[\hat{d}_i^1,\hat{d}_i^2]$ діапазони значень можливих відхилень графіка руху (затримок прибуття/відправлення поїздів)

$$\mu_i =<[\mu_i^1,\mu_i^2],h_i(\mu_i),\mu(\mu_i)>;\quad \mu_i =<[\hat{\mu}_i^1,\hat{\mu}_i^2],\hat{h}_i(\mu_i),\mu(\mu_i)>, \tag{4}$$

де $h_i(\mu_i)$, $\hat{h}_i(\mu_i)$ – питомі оцінки (детерміновані або нечіткі) додаткових витрат на корегування графіка перевезень в умовах μ_i.

Представимо НДМОП планування векторів $X(X_{kj})$ у вигляді

$$\{\Phi(X)=\hat{B}(X)+\hat{\mathrm{E}}[\hat{f}(X,Y(X,\mu),\mu)]\}\Rightarrow\min_{X\in G_X}. \tag{5}$$

У (5) 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 на коректування графіка в умовах μ, $Y(X^{(t)},\mu)$, $\hat{\mathrm{E}}[*]$ – знак операції нечіткого висновку відповідно величин $\hat{f}_h(*)$, G_X – область допустимих значень параметрів планів на етапі планування *t*, $X^{(t)}$. При реалізації (5) методами нечіткого висновку [4, 6] для деякого $X'\in G_X$ розраховують та узагальнюють за $\mu(\mu_i)$ значення $\hat{f}_h(X',Y',\mu_i)$, які разом із $\hat{B}(X')$ дають оцінку $X':\Phi(X')$, яка вимірює якість $X'\in G_X$ відповідно до (5). Відповідно до (5) оптимальний $X(X_{kj^*})$ забезпечує мінімум суми витрат на обслуговування парку ЕД при виконанні графіка руху й очікуваних додаткових витрат за умов виникнення відмов вигляду (4) процесу залізничних перевезень. Для реалізації завдань планування відповідно до (5) застосовуються процедури арифметики нечітких трикутних чисел [4].

Застосування процедури агрегування для аналізу та оперативного прогнозування недетермінованих технологічних процесів залізничного транспорту

Процеси залізничного транспорту значною мірою недетерміновані. Для визначення очікуваних параметрів процесів перевезень необхідно застосовувати стійкі процедури, що забезпечують можливості розрахунку їх технолого-економічних показників. Розглянемо питання щодо аналізу недетермінованих процесів, представлених часовими рядами (ЧР). Відмінність досліджуваних ЧР – вони є випадковими (ні персистентні, ні антиперсистентні 10]).

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

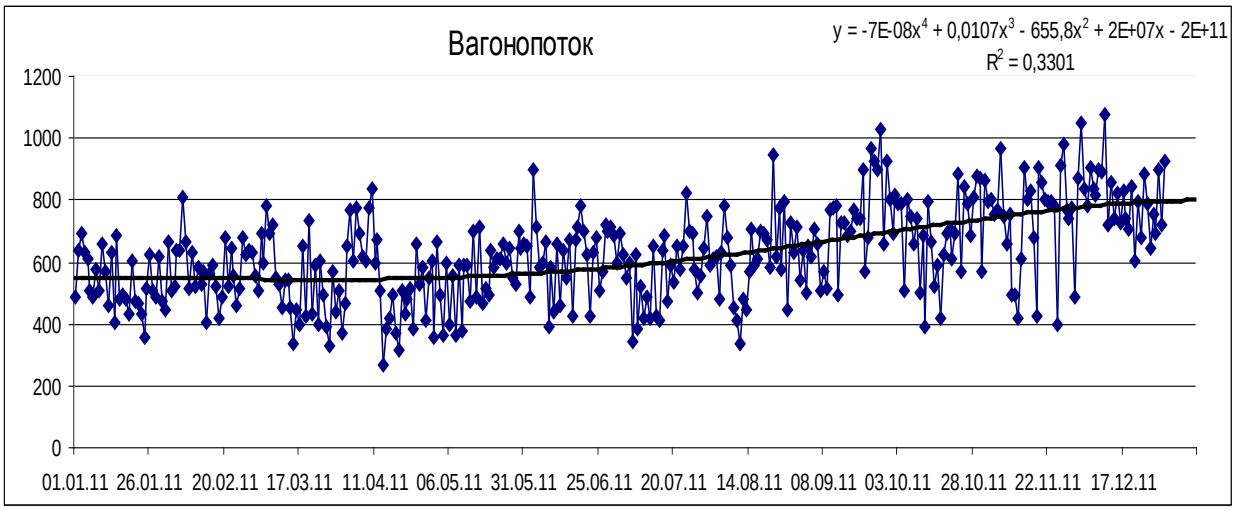

Рис. 1. Часовий ряд щоденного надходження вагонів

Для таких процесів зараз немає загальноприйнятих методик аналізу, прогнозування, практичної інтерпретації. У роботі запропоновано використовувати показник Херста [9, 10] для попередньої оцінки ЧР, а також дослідити залежність параметрів процесу від значення коефіцієнта Херста при виконанні процедури агрегування. На рис. 1 зображений такий ЧР, на рис 2, 3 наведено етапи агрегування.

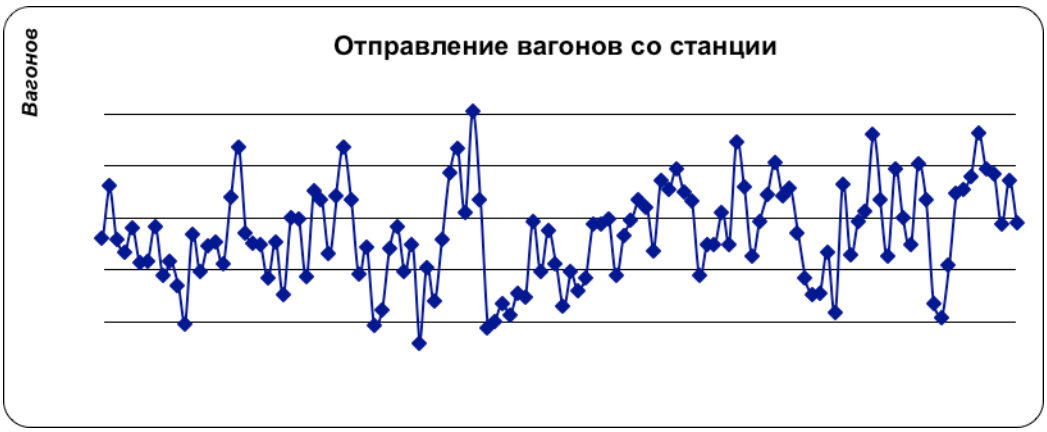

Рис. 2. Параметри вагонопотоку з агрегуванням за 2 доби, H=0.18

Застосування процедури агрегування ЧР і розрахунку для них властивості персистентності (антиперсистентності) показало, що якісні властивості ЧР проявляються на різних етапах. На рис 2, 3 представлено агреговані ряди, побудовані для двох і трьох рівнів параметрів відправлення вагонів. При цьому показники Херста відповідно дорівнюють (0.18 та 0.71). Тобто практично можливо прогнозувати показники й виконувати планування (обсягів, витрат ін.) «з кроком 3».

Аналіз показав, що в разі виникнення процесів, подібних зображеним на рисунках, процедура агрегування рівнів дозволяє диференціювати процеси за різними періодами узагальнення, при яких стає можливим виконувати прогнозування, тобто отримати й використовувати саме для цих узагальнених ЧР і визначених періодів значення прогнозованих параметрів.

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

Рис. 3. Параметри вагонопотоку з агрегуванням за 3 доби, H=0.71.

Питання техніко-економічної оцінки ефективності системи автоматизації управління парком електродвигунів залізничних стрілочних переводів

Розробляється система автоматизації економіко-технологічного управління парками ЕД, яка забезпечує підвищення ефективності процесів експлуатації, а також вирішення таких нових завдань: дистанційна діагностика ЕД без виключення з процесів експлуатації; вимірювання характеристик двигуна, що перебуває під впливом номінальних, робочих значень напруги; планування черговості діагностування й ремонтів ЕД на основі параметрів поточного стану; розподіл робіт з урахуванням спеціалізації виконавців; облік невизначеності умов при формуванні нечітких моделей процесів планування і управління. Зазначені властивості автоматизованого процесу експлуатації парку ЕД дозволяють виділити такі складові оцінки економічної ефективності: скорочення кількості оглядів ЕД і процедур діагностування, скорочення (упорядкування) обслуговуючого персоналу, простота експлуатації системи; зменшення вартості ремонтів парку ЕД за рахунок спеціалізації; зменшення величини можливих додаткових витрат при збоях процесу перевезень; підвищення технічної надійності інфраструктури, стрілочних переводів і стійкості залізничних перевезень.

Виконані дослідження і розробки дозволяють перейти від планово-запобіжного методу експлуатації до обслуговування парку за фактичним технічним станом ЕД.

Висновки

З метою підвищення ефективності управління експлуатацією парків технічних систем вдосконалено економіко-технологічні моделі управління при неповній вихідній інформації, призначені для експлуатації парків ЕД залізничних стрілочних переводів. Розроблено нові нечіткі моделі й методи планування експлуатаційних процесів, які в цілому дозволяють перейти від планово-запобіжного методу експлуатації до обслуговування ЕД за «поточним станом».

Планування обслуговування (ремонтів, діагностування ін.) об’єктів парку ЕД відбувається з урахуванням розподілу робіт на основі спеціалізації виконавців, виконується засобами модифікованої відкритої моделі транспортної задачі про «цілерозподілення» з обмеженими пропускними здатностями, у якій коефіцієнти матриці питомих вартостей представлено нечіткими величинами.

Для урахування різних можливих варіантів реалізації процесів за умов невизначеності застосовується нечітка двоетапна модель оптимального планування, що базується на формалізмі нечітких трикутних чисел.

У роботі визначено складові оцінки економічної ефективності створюваних засобів автоматизації процесів експлуатації парків електричних двигунів залізничних стрілочних переводів.

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Скалозуб, В. В. Методы интеллектуальных систем в задачах управления парками объектов железнодорожного транспорта по текущему состоянию / В. В. Скалозуб, О. М. Швец, В. Н. Осовик // В сб. «Питання прикладної математики і математичного моделювання». – Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2014. – С. 40–47.
3. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – Київ, 2009.
4. Яхъяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети [Текст] / Г. Э. Яхъяева. – Москва : Интернет-Университет Информационных технологий; Лаборатория знаний, БИНИМ, 2008. – 316 с.
5. Алтунин, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : монографія / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень : Изд-во Тюменьского гос. ун-та, 2000. – 295 с.
6. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
7. Зайченко, Ю. П. Исследование операцій / Ю. П. Зайченко. – Киев : Вища шк., 1989. – 392 с.
8. Ермольев, Ю. М. Математические методы исследования операций [Текст] / под ред Ю. М. Ермольева. – Киев, 1979. – 302 с.
9. Скалозуб, В. В. Метод прогнозування часових рядів на основі логістичного відображення [Текст] / В. В. Скалозуб, І. В. Клименко // Тез. докл. V Международной научно-практ. конф. «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании». – Днепропетровск, 2011. – С. 67–68.
10. Сергеева, Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) / Л. Н. Сергеева. – Запорожье : ЗНУ, 2002. – 227 с.

В. В. СКАЛОЗУБ[1*], В. Н. ОСОВИК[2], И. В. КЛИМЕНКО[2]

[1*]Факультет «Техническая кібернетика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. (056) 373-15-35, эл. почта skalozub_vl_v@mail.ru

[2]Каф. «Компьютерные и информационные технологи», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. (056) 373-15-35, эл. почта skalozub_vl_v@mail.ru

ЭКОНОМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ПАРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

Цель. Повышение эффективности и устойчивости процессов эксплуатации на железных дорогах, уменьшение эксплуатационных расходов невозможны без развития комплексных систем автоматизации эксплуатации парков технических систем – АСЭП. Статья посвящена вопросам совершенствования АСЭП в части развития методов анализа и планирования очередности диагностики и ремонтов электрических двигателей (ЭД) железнодорожных стрелочных переводов с учетом условий недетерминированности. Усовершенствованные технологические и экономические модели, по которым выполняется автоматизированное управление АСЭП, должны учитывать различную форму информации о техническом состоянии устройств и условий функционирования транспортной системы (в частности, нечеткую). Также модели должны обеспечивать возможности адаптации параметров и большей результативности процедур планирования с целью повышения эффективности железнодорожных перевозок в целом. **Методика.** Исследования проведены с использованием процедур мониторинга и диагностирования ЭД, которые находились под воздействием рабочих нагрузок. Управление эксплуатацией парков ЭД выполняется на основе индивидуальных интеллектуальных моделей, а также сетей Кохонена, построенных по спектральным характеристикам токов ЭД. При планировании ремонтов учитывается специализация исполнителей. Очередность обслуживания ЭД определяется на

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

основе нечеткой двухэтапной модели планирования. Для анализа и прогнозирования параметров недетерминированных процессов применяются методы хаотической динамики. **Результаты**. Усовершенствованы экономико-технологические модели анализа и управления автоматизированными процессами эксплуатации парков ЭД при нечетком описании параметров и условий. Они учитывают текущее состояние технических систем, а также возможные сбои процесса перевозок. Исследованы свойства недетерминированных процессов железнодорожных перевозок. **Научная новизна**. Получили развитие экономико-технологические модели автоматизированного управления эксплуатацией парков ЭД в условиях нечеткого описания параметров системы. Модели предназначены для планирования очередности диагностики и ремонтов ЭД и учитывают специализацию исполнителей работ. Исследованы свойства процедуры анализа и интерпретации недетерминированных временных рядов при агрегировании уровней. **Практическая значимость**. Результаты исследований обеспечивают возможность автоматизации и повышения эффективности процессов экономико-технологического управления эксплуатацией парков ЭД стрелочных переводов в условиях нечеткого определения параметров системы. Процедуры анализа агрегированных рядов обеспечивают возможности обоснованной интерпретации их свойств и получения достоверных оценок прогнозирования и планирования на основе временных рядов.

Ключевые слова: экономико-технологическое моделирование, парки технических систем, процессы эксплуатации, текущее состояние, электрические двигатели стрелочных переводов, нечеткие двухэтапные модели планирования, агрегированные временные ряды, показатель Херста.

V. SKALOZUB[1*], V. OSOVIK[2], I. KLIMENKO[2]

[1*]Faculty «Technical Cybernetics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. (056) 373-15-35, e-mail skalozub_vl_v@mail.ru
[2]Dep. «Computer Information Technologies», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. (056) 373-15-35, e-mail skalozub_vl_v@mail.ru

ECONOMIC-TECHNOLOGICAL MODELC FOR ANALYSIS AND MANAGEMENT OPERATION FOR PARKS OF ELECTRIC MOTORS OF TURNOUTS

Purpose. Improving the efficiency and the sustainability of the railways operating processes, reducing operating costs is not possible without the complex automation system development intended for technical system park operation - ASPE. The article is devoted to improve the ASPE in terms of methods for analysis and planning priority of diagnostics and repair of electric motors (EM) rail turnouts taking into account condition indeterminacy. Technological and economic models which are used in the automated management ASPE should consider a different form of information about the technical condition of equipment and conditions for the transport system operation (especially fuzzy). Also, the model should provide the possibility of adaptation options and greater efficiency of planning procedures, to improve the efficiency of rail transport in general. **Methods**. The researching works were conducted using the procedures for monitoring and diagnosing EM under the influence of workloads. EM park operation management carried out on the basis of individual intellectual models, as well as the Kohonen network, built on the spectral characteristics of the current EM. Specialization of production was taken into account during repair planning. EM priority service is based on a two-stage fuzzy planning model. For analysis and forecasting parameters of non-determined processes is used methods of chaotic dynamics. **Results.** Economical and technological models and control automated analysis of the EM park operation with fuzzy description of parameters and conditions were improved. They take into account the current state of the technical systems and the possible failures of the transportation process. The properties of some non-determined processes of rail were investigated. **Scientific novelty**. Economical and technological models with automatic control operation of EM parks, taking into account the terms of fuzzy description of the system parameters were developed. The models were designed for priority planning of EM diagnostic and repair, they also take into account the specialization of the production. The properties of the interpretation procedure of the non-deterministic time series with aggregated levels were

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015

investigated. **The practical significance.** The research results provide the ability to automate and improve the efficiency of the processes of economical and technological management operation of EM turnouts park in conditions of fuzzy system settings. The analysis procedure of aggregated series provides opportunities for reasonable interpretation of their properties and for obtaining reliable estimates of forecasting and planning based on time series.

Keywords: economical and technological modeling, parks of technical systems, the operation processes, operating status, electrical motor of rail turnouts, two-stage fuzzy planning model, aggregated time series, Hurst index.

Надійшла до редколегії 30.04.2015.
Стаття рекомендована до друку д-ром екон. наук, доц. Гненним О. М. та д-ром фіз.-мат. наук, проф. Білозьоровим В. Є.

©В. В.Скалозуб, В. М. Осовик, І. В. Клименко, 2015