

УДК 656.222.5

В. М. ОСОВИК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта vnosovik@mail.ru, ORCID 0000-0002-2831-746X

## ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

**Мета.** Вимогами до сучасних залізничних перевезень являються підвищення їх ефективності та стійкості стосовно характеристик пропускної спроможності, а також безпеки процесів експлуатації технічних систем, зниження впливу транспорту на навколишнє середовище ін. Забезпечення стійкості перевезень зв'язане з технічною надійністю інфраструктури, зокрема процесами експлуатації стрілочних переводів або їх складових, парків електричних двигунів (ЕД). Підвищення ефективності зазначених процесів не можливе без розвитку комплексних систем автоматизації щодо експлуатації парків технічних систем – АСЕД. Стаття присвячена питанням удосконалення АСЕД в частині методів планування черговості діагностування та ремонтів ЕД з урахуванням впливу на стійкість параметрів пропускної спроможності та ефективності процесів перевезень, різної відповідальності елементів залізничної інфраструктури. Удосконалені моделі і методи автоматизованого управління процесами експлуатації парків також повинні урахувати різну форму апріорної інформації про технічний стан засобів транспортної системи (статистична, нечітка), забезпечувати можливості адаптації параметрів процедур планування, застосування інтелектуальних нейронно-нечітких методів управління АСЕД, з метою підвищення стійкості залізничних перевезень шляхом переходу до автоматизованого обслуговування парків ЕД на основі параметрів поточного стану. **Методика.** Розробки і дослідження були проведені з використанням процедур моніторингу та діагностування ЕД стрілочних переводів (моделі ДП 0.18, ДП 0.25, МСП 0.15, МСП 0.25), які знаходилися під впливом номінальних, робочих навантажень. Управління експлуатацією ЕД виконується на основі індивідуальних інтелектуальних моделей, а також мереж Кохонена, побудованих по на спектральним характеристикам струму ЕД, отриманим швидким перетворенням Фур'є. При плануванні пріоритетність ЕД визначається методом аналітичних ієрархій на основі параметрів пропускної спроможності, а черговості обслуговування і ремонтів – на основі двохетапної моделі стохастичного програмування. **Результати.** Удосконалено методи і засоби автоматизації процесів експлуатації елементів залізничної інфраструктури, які ураховують поточний стан технічних систем, а також різну відповідальності окремих поїзоділянок та інфраструктури, забезпечують стійкість залізничних перевезень. **Наукова новизна.** Отримали розвиток моделі і методи планування черговості діагностування та ремонтів ЕД з урахуванням впливу на стійкість параметрів пропускної спроможності та ефективності процесів перевезень, різної відповідальності елементів залізничної інфраструктури, що забезпечує стійкість залізничних перевезень з урахуванням ризику відмов. **Практична значимість.** Результати розробки і досліджень забезпечують можливість переходу від нормативного методу до обслуговування технічних систем на основі параметрів поточного стану. Вони дають можливість підвищити технічну надійність інфраструктури і стійкість залізничних перевезень.

**Ключові слова:** залізничні перевезення, пропускна спроможність, парки технічних систем, процеси експлуатації, технічна надійність, поточний стан, електричні двигуни стрілочних переводів, інтелектуальне управління, нейронні мережі, двох етапні моделі планування.

**Цель.** Требованиями к современным железнодорожным перевозкам являются повышение их эффективности и устойчивости относительно характеристик пропускной способности, безопасности процессов эксплуатации технических систем, снижение воздействия транспорта на окружающую среду др. Обеспечение устойчивости перевозок связано с технической надежностью инфраструктуры, в частности с процессами эксплуатации стрелочных переводов или их составляющих, парков электродвигателей (ЭД). Повышение эффективности указанных процессов невозможно без развития комплексных систем автоматизации по эксплуатации парков технических систем – АСЭД. Статья посвящена вопросам совершенствования АСЭД в части методов планирования очередности диагностики и ремонтов ЭД с учетом влияния на устойчивость параметров пропускной способности и эффективности процессов перевозок, различной ответственности элементов железнодорожной инфраструктуры. Усовершенствованные модели и методы автоматизированного управления процессами эксплуатации парков также должны учитывать различную форму априорной информации о техническом состоянии средств транспортной системы (статистическая, нечеткая), обеспечи-

вать возможности адаптации параметров процедур планирования, применения интеллектуальных нейронно-нечетких методов управления АСЭД, с целью повышения устойчивости железнодорожных перевозок путем перехода к автоматизированному обслуживанию парков ЭД на основе параметров текущего состояния. **Методика.** Разработки и исследования были проведены с использованием процедур мониторинга и диагностирования ЭД стрелочных переводов (модели ГП 0.18, ГП 0.25, МСП 0.15, МСП 0.25), которые находились под влиянием номинальных, рабочих нагрузок. Управление эксплуатацией ЭД выполняется на основе индивидуальных интеллектуальных моделей, а также сетей Кохонена, построенных по спектральным характеристикам токов ЭД, полученным быстрым преобразованием Фурье. При планировании приоритетность ЭД определяется методом аналитических иерархий на основе параметров пропускной способности, а очередности обслуживания и ремонтов - на основе двухэтапной модели стохастического программирования. **Результаты.** Усовершенствованы методы и средства автоматизации процессов эксплуатации элементов железнодорожной инфраструктуры, которые учитывают текущее состояние технических систем, а также различную ответственности отдельных поездоучастков и инфраструктуры, обеспечивают устойчивость железнодорожных перевозок. **Научная новизна.** Получили развитие модели и методы планирования очередности диагностики и ремонтов ЭД с учетом влияния на устойчивость параметров пропускной способности и эффективности процессов перевозок, различной ответственности элементов железнодорожной инфраструктуры, обеспечивающей устойчивость железнодорожных перевозок с учетом рисков отказов. **Практическая значимость.** Результаты разработок и исследований обеспечивают возможность перехода от нормативного метода к обслуживанию технических систем на основе параметров текущего состояния. Это дает возможность повысить техническую надежность инфраструктуры и устойчивость железнодорожных перевозок.

*Ключевые слова:* железнодорожные перевозки, пропускная способность, парки технических систем, процессы эксплуатации, техническая надежность, текущее состояние, электрические двигатели стрелочных переводов, интеллектуальное управление, нейронные сети, двухэтапные модели планирования.

**Purpose.** The requirements for modern railroading are raising their efficiency and stability relatively to the characteristics of crossing capacity, process safety of operation technical systems, reducing the transport environmental impact, etc. Ensuring the sustainability of transportation is due to the technical reliability of infrastructure, in particular during the operation of switches or their components, park of electric motors (PEM). Improving the efficiency of these processes is impossible without the development of complex automation systems at operating the park of engineering system - SPES. The article is devoted to improving the SPES in terms of planning methods priority diagnostics and repair of PEM with the influence on the stability of the parameters of the capacity and efficiency of the transport process, various elements of the responsibility of the railway infrastructure. Sophisticated models and methods of automated process control operation of parks also have to consider a different form of a priori information about the technical condition of transport system means (statistical, fuzzy), providing the possibility of adapting the parameters of planning procedures, application of intelligent neural-fuzzy management SPES, in order to increase the stability of rail transport by switching to automated maintenance of parks ED based on the parameters of the current state. **Methods.** Research and development were carried out using the procedures for monitoring and diagnosis of PEM switches (model GP 0.18, GP 0.25, MSP 0.15, MSP 0.25), which were influenced by nominal workloads. Managing exploitation ED performed on the basis of individual mental models, as well as Cohen networks, which is built on the spectral characteristics of current PEM obtained by the fast Fourier transformation. While planning the PEM priority determined by analytic hierarchy process based on the parameters of crossing capacity and priority of service and repairs - on the basis of a two-stage stochastic programming model. **Results.** Improved methods and tools for process automation operating elements of the railway infrastructure, which take into account the current state of technical systems, as well as the different responsibilities of individual train sets sections and infrastructure to ensure the sustainability of railroading. **Scientific novelty.** It has developed the models and methods of diagnosis and planning of priority repairs of PEM considering the influence on the stability of the parameters of the capacity and efficiency of the transport process, various elements of the responsibility of the railway infrastructure, ensuring the stability of railroading, taking into account the risk of failure. **The practical significance.** The results of development and research allow the transition from a standard method for servicing technical systems based on the parameters of the current state. It makes the possibility of increasing the reliability of the technical infrastructure and the sustainability of railroading.

*Keywords:* railroading, crossing capacity, park of electric motors, operational processes, operational reliability, the current state, the electric motors of switches, intelligent control, neural networks, two-stage planning models

## Вступ

Характерними рисами та вимогами до сучасних залізничних перевезень являються підвищення їх ефективності, а також безпеки процесів експлуатації технічних систем, зниження

впливу транспорту на навколишнє середовище в умовах зростаючої інтенсивності транспортних потоків, посилення взаємодії різних видів транспорту при вирішенні логістичних та інших технологічних завдань, розвиток і застосування методів і технологій інтелектуальних

транспортних систем залізничного транспорту ін. У статті розроблено або удосконалено моделі і методи, спрямовані на забезпечення стійкості залізничних перевезень стосовно рівнів пропускної спроможності на основі підвищення ефективності процесів експлуатації та надійності підсистем транспортної інфраструктури. Зокрема елементами аналізу являються залізничні стрілочні переводи, а також процеси експлуатації парків електричних двигунів (ЕД), що в них використовуються (моделі ДП 0.18, ДП 0.25, МСП 0.15, МСП 0.25). На Укрзалізниці експлуатація ЕД здійснюється на основі планово-попереджувального методу, з урахуванням нормування. Відзначається що зараз лише на Південно-Західній залізниці експлуатується понад 6800 ЕД на основі методики [1]. Удосконалення процесів експлуатації парків технічних систем (ТС) (локомотивів, стрілочних переводів, електродвигунів ін.) або їх складових компонентів, з урахуванням параметрів поточного стану, являється актуальною технічною та технологічною проблемою залізничного транспорту. Її важливим аспектом являються питання щодо забезпечення стійкості процесів залізничних перевезень, їх ефективної реалізації при виникненні відмов і обмежень пропускної спроможності поїздоділянок, на основі підвищення надійності технічних засобів залізничної інфраструктури.

У [2, 3] представлені результати із створення інтелектуальної автоматизованої системи, що забезпечує управління процесами діагностування та експлуатації парків ЕД (АСЕД). Відмінність і перевага АСЕД в тому, що в ній проводяться вимірювання характеристик двигунів, які знаходяться під впливом номінальних, робочих значень напруги, струмів, магнітних полів, відцентрових сил та ін. Це дозволяє виявляти більше несправностей, ніж при використанні статичних методів діагностики [2]. В [3] для реалізації безпосередніх процедур управління парком ЕД з урахуванням їх технічного стану розроблена дворівнева система математичних моделей, верхній рівень якої представляє головні контрольовані властивості парку ТС в цілому, забезпечує визначення оцінок параметрів поточного стану і прогнозування їх значень (очікуваний час до прояву несправності, необхідні витрати на відновлення тощо), а нижній – формується з інтелектуальних індивідуальних математичних моделей (ІМ) окремих об'єктів, які представляють еволюцію станів конкретних ЕД.

У статті виходячи із потреб забезпечення

стійкості процесів залізничних перевезень, виконано удосконалення АСЕД [3], а саме – сформовані удосконалені моделі планування черговості діагностування ТС та їх ремонтів з урахуванням впливу на стійкість параметрів пропускної спроможності та ефективності процесів перевезень, різної відповідальності окремих залізничних ділянок і систем що їх обслуговують. Зазначені моделі і відповідні методи автоматизованого управління процесами експлуатації парків ТС також ураховують різну можливу форму апріорної інформації про технічний стан засобів транспортної системи (статистична [2], нечітка [4], умови невизначеності ін.), а також можливості адаптації параметрів процедур планування, застосування інтелектуальних нейронно-нечітких методів управління АСЕД. Обговорюються можливості АСЕД в частині забезпечення стійкості процесів залізничних перевезень.

### Постановка завдання дослідження

Проблема управління пропускною спроможністю залізниць тісно пов'язана з проблемою надійності виконання технології організації перевізного процесу на поїздоділянках [5]. Під надійністю (стійкістю функціонування) будемо розуміти властивість системи зберігати у часі значення всіх визначених параметрів, що характеризують придатність до виконання необхідних функцій при встановлених умовах, в заданих межах. Прикладом такого параметра являється значення максимальної кількості поїздів на деякій ділянці при забезпеченні встановленого рівня експлуатаційної надійності процесу перевезень. Основна функція для залізничної ділянки – це пропускання поїздопотоку із заданою точністю продовж заданого інтервалу часу. Комплексна характеристика надійності визначається набором показників з урахуванням умов експлуатації. Для залізничних ділянок параметром, що визначає стійкість процесу функціонування, являється показник відхилення реального і відповідного нормативного графіка проходження поїздів, а відмовою виступає, наприклад, затримка прибуття/відправлення поїздів. При цьому відмови можуть бути викликані технічними засобами інфраструктури, які визначають технічну надійність пропускної спроможності ділянки (колія, стрілочні переводи, пристрої СЦБ і зв'язку ін.), а також організаційно-технологічними причинами [5]. Затримки поїздів на мережі виникають та залежать від пріоритетності поїздів, насиченості графіка руху, розташування поїздів різних категорій на

ділянках, забезпечення технічної надійності та багатьох інших випадкових і невизначених факторів. Зараз при визначеності пропускної спроможності по суті урахується технічна надійність. Саме питанням підвищення рівня цієї складової стійкості процесів залізничних перевезень присвячене це дослідження.

Завдання із підвищення стійкості перевезень на основі показників технічної надійності стрілочних переводів або їх компонентів (ЕД), що представлено як управління експлуатацією парку ТС, полягає у наступному. Розглядається множина складних техніко-технологічних об'єктів однакового призначення (ЕД), парк технічних систем, а також процеси їх експлуатації. Об'єкти парків характеризуються наборами властивостей, значення яких вказують на їх певний «поточний» стан, що відображає хід і можливості подальшої експлуатації кожної з систем. Технічний стан об'єкта на даному етапі його експлуатації контролюється/визначається за нормативами або «сигналами», що знімається з нього, причому без виключення з процесів експлуатації. Також відомі ресурси (технічні, матеріальні, трудові та ін.), необхідні або ж виділені для експлуатації парку об'єктів. Потрібно автоматизувати процеси із моніторингу і визначення поточного технічного стану компонентів системи, а також забезпечити раннє виявлення прихованих несправностей. Якщо виявлено несправний стан об'єкта, необхідно визначити вид несправності і отримати оцінку достовірності. На основі даних моніторингу об'єктів потрібно побудувати індивідуальні інтелектуальні моделі окремих ТС, спрогнозувати можливі зміни технічного стану елементів системи, а також встановити раціональну черговість відновлення елементів парку ТС, з урахуванням вимог стійкості функціонування та безпеки процесів залізничної перевезень.

### **Індивідуальні інтелектуальні моделі процесів експлуатації в АСЕД**

Автоматизована технологія діагностування та управління парком ЕД заснована на формуванні індивідуальних інтелектуальних моделей, побудованих на основі аналізу частотного спектру робочого струму електродвигунів [2, 3]. Отримання спектральних характеристик струму ЕД реалізоване за допомогою швидкого перетворення Фур'є [2]. Для кожного ЕД сформована ІМ зберігає поточні та спектральні характеристики справного стану двигуна. Завдання з автоматизації керування процесом експлуатації

парку ЕД з контрольованими поточними станами вирішується на основі побудови дворівневої нейронно-мережевої моделі (карти Кохонена [3]). Модель із керування експлуатацією парку двигунів (МП) об'єднує ІМ зміни станів ЕД. Для вирішення задачі за експлуатаційними даними (спектри струмів ЕД) була побудована МП можливих станів електродвигунів у формі карти Кохонена. При навчанні мережі (10000 епох) використовувалися відібрані ЕД з наступними контрольованими станами: І (справний); КЗО (коротке замикання обмотки); КЗПК (коротке замикання пластин колектора); ОСЯ (обрив секції якоря); КПК (круговий вогонь по колектору). У моделі експлуатації парку реалізований механізм «розфарбовування» вузлів мережі відповідно до заданих ознак об'єктів. При аналізі нових даних, або нових ЕД, попадання параметрів деякого об'єкту при класифікації на основі карти Кохонена в певну зону говорить про його очікувані властивості. За рахунок побудови моделі статистичних даних як карти ознак Кохонена, а також маючи інформацію про частину досліджуваних об'єктів, можна досить достовірно прогнозувати поведінку інших об'єктів [3, 4].

Приклад зображення зміни станів ЕД парку показано на рис. 1. У шестикутниках вказаний розподіл двигунів на даний момент (23, 22, 23, 10, 22). Зверху в прямокутниках подано попередній розподіл (23, 25, 20, 10, 22). Колір шестикутника визначає процес. Якщо сталася зміна кількості елементів в кластері – колір зелений, а якщо число елементів перевищує деяке задане число (тут – 22) – колір червоний, інакше колір є стандартним, синім.

На топологічній карті рис. 2 наближено показані межі кластерів технічного стану двигунів. Знаками «+» позначено положення вхідних зразків на карті, їх близькість до центрів нейронів і між собою. Кластери позначені так: справний – 1, коротке замикання обмотки – 2, коротке замикання пластин колектора – 3, обрив секції якоря – 4, круговий вогонь по колектору – 5. Вхідні зразки, відповідні справним ЕД, добре локалізовані, а кластери деяких типів несправностей мають невеликі перекриття.

Застосування процедур адаптації параметрів індивідуальних інтелектуальних моделей процесів експлуатації ЕД, а також моделі парку МП на основі даних діагностування, з використанням нейронних мереж Кохонена, дозволяє підвищувати надійність інфраструктури залізничних перевезень.

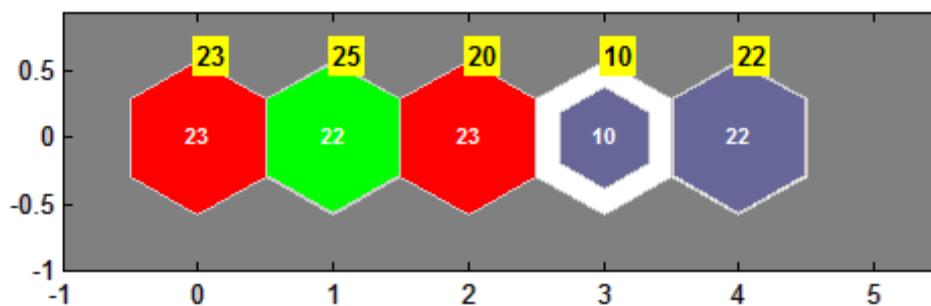


Рис. 1. Відображення динаміки зміни станів парку ЕД стрілочних переводів.

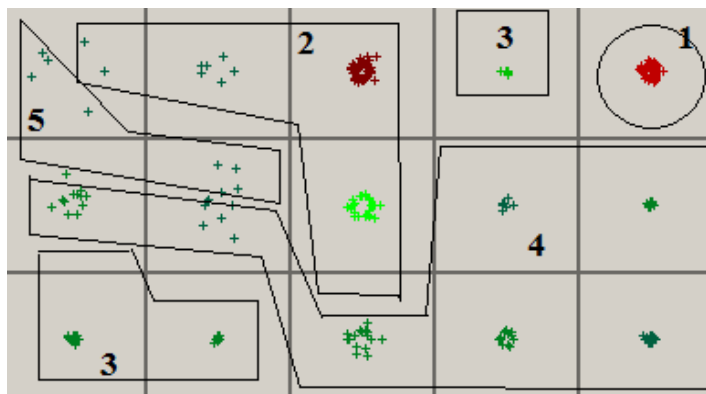


Рис. 2. Топологічна карта для кластеризації спектральних характеристик та типів несправностей електродвигунів

### Моделі урахування неоднорідності об'єктів інфраструктури у завданнях керування процесами експлуатації парків технічних систем

Важливою складовою ефективного керування парками ТС являється урахування неоднорідності окремих об'єктів, як технічно, так і технологічно, через нерівноцінність зв'язків підсистем із рештою елементів інфраструктури – їх призначенням, відповідальністю, наявними ресурсами ін. Зазначена неоднорідність впливає на реалізацію завдань із визначення раціональної черговості діагностування ТС, їх ремонтів тощо. Стосовно експлуатації парків ЕД необхідно урахувати відмінність процедур контролю параметрів та ремонту двигунів різних типів, часові та вартісні показники, технічну базу ін. В умовах обмеженого ресурсу урахування названих чинників, безумовно, впливає на планування і виконання робіт. Неоднорідність ТС передбачає формування математичних моделей планування процесів діагностування і ремонтів ЕД з урахуванням впливу на забезпечення стійкості процесів перевезень, а також супроводу окремих видів ІМ процесів експлуатації ЕД.

В АСЕД неоднорідність керованих ТС ураховується шляхом формування і застосування моделей методу аналітичних ієрархій (МАІ) [6],

а також кластеризації [4]. В першу чергу модель МАІ призначена для оцінки важливості технологічних поїздоділянок, де використовуються окремі ЕД, яким призначається показник відносної важливості ділянок. При визначенні важливості окремої ділянки (відповідного ЕД) ураховується її вплив на пропускну спроможність мережі, види перевезень (вантажні, пасажирські, місцеві ін.), напруженість та відповідальність (число поїздів, напрямок слідування), період року, місце знаходження (можливість заміни маршруту при відмові), період відновлення тощо. Багатопараметричні оцінки важливості окремих технологічних ділянок

$$L_i = \{h_i^1, h_i^2, \dots, h_i^k, h_i^{k+1}, \dots, h_i^K\}, (i = \overline{1, L}) \quad (1)$$

де  $h_i^k$  – відносна значимість  $k$ -ого параметру  $i$ -ої технологічної ділянки, розраховуються на основі процедури МАІ [6].

Загальна структура моделі МАІ для розрахунку показників важливості (1), представлена за рахунок вкладення вузлів, має наступний вигляд:

$$MI = (P(S1, S2, S3, S4, S5), G(S1, S2, S3, S4, S5), PM(S1, S2, S3, S4, S5)), \quad (2)$$

де вузол нульового рівня  $MI$  – корінь ієрархічної моделі; вузли першого рівня  $P, G, PM$  ви-

значають пасажирські, вантажні та приміські перевезення, відповідно; їх підвзули другого рівня ієрархії  $S1, S2, S3, S4, S5$  значать наступне: категорія поїзда, період, місце знаходження, напруженість ділянки, період необхідний для відновлення транспортної мережі. За допомогою моделі (2) оцінюється важливість окремих категорій ділянок  $h_i$  на мережі із стрілочними переводами. Отримані оцінки важливості ділянок (і відповідних ТС) використовуються у моделях планування для упорядкування ТС та визначення черговості діагностування і ремонту ЕД.

Одне із важливих завдань управління процесами експлуатації парку ТС на основі оцінок параметрів поточного стану полягає у вирішенні завдань по встановленню раціональної черговості проведення діагностування ЕД і їх ремонтів. Для визначення черговості ремонту ЕД використаємо узагальнений показник вартості відмови електродвигуна стрілочного перевалу виду:

$$C = f(R, F, Z), \quad (3)$$

де  $R$  – нормативна вартість ремонту електродвигуна;

$F$  – прогнозована вартість ремонту ЕД за індивідуальною моделлю;

$Z$  – витрати, викликані збоями у процесах перевезень, тимчасовим припиненням роботи стрілочного перевалу.

В (3) керовані параметри «X» вибираються з встановленої області  $D_X$ . У лінійній моделі для рівняння (3) вартісна оцінка відмови ЕД може бути представлена, як

$$C = \gamma_Z Z + \gamma_R R + \gamma_F F, \quad (4)$$

де коефіцієнти важливості складових  $\gamma_k$  визначаються на основі моделі (2). При оцінках вартості ремонтів  $R$  використовується значення ймовірності окремих типів несправностей, які вважаються незалежними.

Якщо оцінки витрат  $Z$ , викликаних відмовою ЕД стрілочного перевалу, не враховують пріоритетність поїздів, їх розташування на ділянках мережі, для їх розрахунку можливо використати наступне рівняння

$$Z = N_p T_v C_z P_z, \quad (5)$$

де  $N_p$  – середнє число поїздів, що проходять через стрілочний перевід за годину;

$T_v$  – час, необхідний для відновлення робо-

ти стрілочного перевалу;

$C_z$  – середня вартість затримки поїзда на одну годину;

$P_z$  – ймовірність відмови стрілочного перевалу. Значення ймовірності  $P_z$ , коли не урахуються взаємні впливи різних типів несправностей ЕД  $d_i$  дорівнює  $P_z = \max_i(d_i)$ .

Інша процедура оцінювання показників важливості множини поїздоділянок  $h_i$ , реалізована в АСЕД, базується на вирішенні завдань кластеризації [4]. Поїздоділянкам мережі співставляють значення їх характеристик:  $h_i(S1, S2, S3, S4, S5)$ . Виконується кластеризація  $\{h_i(*)\}$ . Далі на основі МАІ оцінюється відносна важливість отриманих кластерів, значення якої присвоюється ТС цих ділянок, тобто і відповідним стрілочним перевалам та електродвигунам.

#### Планування стохастичних процесів експлуатації парків технічних систем для забезпечення стійкості залізничних перевезень

Окремим завданням щодо забезпечення стійкості залізничних перевезень являється урахування можливих (ймовірних) збоїв у реалізації графіку руху при плануванні процесів експлуатації ТС. Для цього сформуємо двоетапну модель із оптимального планування черговості ремонтів (діагностування) ЕД кожної поїздоділянки. Змістовно формування моделі полягає у наступному. Визначається апріорна інформація планування –  $Sh_k(V_k, H_k, P_k)$  як сценарії відмов  $V_k$  у вигляді різних можливих послідовностей «збоїв» ТС на ділянках, що утворюють значення характерних параметрів умов невизначеності  $\theta$ , оцінюються додаткові витрати на компенсацію збурень  $H_k$  та їх ймовірності  $P_k$ . На основі даних ІМ процесів експлуатації ЕД, а також характеристик важливості поїздоділянок, задаються (генеруються) вектори  $X_{kj}$  послідовностей обслуговування парку ЕД, серед яких визначається оптимальний  $X_{kj^*}$  шляхом застосування двоетапної моделі планування [7].

Розглядаємо планування як вибір  $X_{kj^*}$  з урахуванням стохастичних факторів – множини

$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$  випадкових станів системи експлуатації, що характеризує  $Sh_k(V_k, H_k, P_k)$ , умови реалізації плану обслуговування ЕД  $X^{(t)}$ , для яких відомі ймовірності  $\{p(\theta_i)\}_s$ . Будемо визначати стани  $\theta$  як діапазони  $[d_i^1, d_i^2]$  значень можливих відхилень графіка руху (затримок прибуття/відправлення поїздів)

$$\theta_i = \langle [d_i^1, d_i^2], h_i(\theta_i), p(\theta_i) \rangle; \sum_i p(\theta_i) = 1, (6)$$

де  $h_i(\theta_i)$  – питомі оцінки додаткових витрат на корегування графіку перевезень в умовах  $\theta_i$ . Визначення  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$  (6), опис набору випадкових параметрів моделі, а також виду функцій додаткових витрат, формалізує варіанти постановок двохетапних завдань із планування процесів обслуговування парків ЕД. Модель двохетапної задачі планування  $X_{kj}$  представимо у вигляді

$$\{\Psi(X) = B(X) + M[f_h(X, Y(X, \theta), \theta)]\} \Rightarrow \min_{X \in G_X} (7)$$

В (7) позначено: детермінована функція  $B(X)$  – вартісна оцінка вектора послідовностей ремонтів ЕД  $X_{kj}$  при виконанні графіка руху,  $f_h(*)$  – функція додаткових витрат на коректування графіка в умовах  $\theta$ ,  $Y(X^{(t)}, \theta)$ ,  $M[*]$  – знак математичного сподівання,  $G_X$  – область допустимих значень параметрів планів на етапі планування  $t$ ,  $X^{(t)}$ . При реалізації (7) методами стохастичного програмування для деякого  $X' \in G_X$  і для кожного  $\theta_i \in \theta$  розраховують та узагальнюють по  $p(\theta_i)$  значення  $f_h(X', Y', \theta_i)$ , які разом із  $B(X')$  дають оцінку  $X' : \Psi(X')$ , яка вимірює якість  $X' \in G_X$  відповідно (7). Відповідно (7) оптимальний  $X_{kj}^*$  забезпечує мінімум суми витрат на обслуговування парку ЕД при виконанні графіка руху і очікуваних додаткових витрат за умов виникнення відмов процесу залізничних перевезень.

Запропонована модель (6) – (7) планування процесів обслуговування ТС (зокрема визначення послідовностей проведення діагностування, ремонтів ін.) передбачає використання попередніх даних у вигляді (6), формально – статистичної природи [7]. У разі відсутності

достовірних статистичних даних замість ймовірнісних моделей щодо варіантів відмови процесів залізничних перевезень на деякій мережі, можливо застосовувати нечіткі аналоги [4], що базуються на формуванні нечіткого опису інформації про можливості відмов у перевізному процесі, з подальшим застосуванням методів нечіткого управління.

## Висновки

Виходячи із потреб забезпечення стійкості процесів перевезень, сформовано удосконалені методи та засоби із автоматизації та інтелектуального управління процесами експлуатації парку ЕД залізничних стрілочних переводів. Моделі планування черговості діагностування та ремонтів ЕД ураховують різну відповідальність окремих поїздоділянок та їх інфраструктури, представлену засобами МАІ, У побудованих моделях планування процесів ураховується різна можлива форма апріорної інформації (статистична, нечітка) про технічний стан та шаблони відмови засобів системи залізничних перевезень [8]. На основі використання процедур моніторингу і діагностування, а також застосування інтелектуальних нейронно-нечітких методів управління АСЕД забезпечуються можливості адаптації параметрів процедур планування та управління. Виконані дослідження і розробки дозволяють перейти від планово-попереджувального методу експлуатації до обслуговування по фактичному технічному стану ЕД. При цьому на основі ІМ здійснюється прогнозування технічного стану ТС засобами штучного інтелекту і методами кластеризації. Підвищення технічної надійності засобів інфраструктури дозволяє забезпечити стійкість залізничних перевезень [9]. Віддалена діагностика ЕД без їх виключення з процесів експлуатації; розділення процедур визначення черговості діагностування ТС і їх ремонтів; урахування різної важливості залізничних ділянок та інфраструктури; самонавчання та адаптація індивідуальних моделей окремих ТС; визначають можливість застосування АСЕД до експлуатації парків інших технічних систем.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв, сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) [Текст] : Затв. : Наказ Укрзалізниці 07.10.2009 № 090-ЦЗ. – Київ, 2009. – 88 с.
2. Скалозуб, В. В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока [Текст] / В. В. Скалозуб, О. М. Швец // Інформацій-

но-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 7-11.

3. 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. – 2014. – № 6. – С. 8-12.

4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат, Пер. с англ. А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева, под ред. Ю. В. Тюменцева – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

5. Чагур, О. В. Концептуальні підходи до управління пропускнуою спроможністю залізничної інфраструктури в умовах конкуренції на ринку перевезень [Текст] / О. В. Чагур, В. В. Кассір // Проблеми економіки транспорту : Тези доп. XIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2015. – С. 79-80.

6. Саати, Т. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати, А. Кернес. – Москва : Мир, 1991. – 352 с.

7. Ермольев, Ю. М. Математические методы исследования операций [Текст] : Учеб. пособие для

вузов / под ред. Ю. М. Ермольева. – Киев, 1979. – 302 с.

8. Верлан, А. И. Совершенствование методов стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте [Текст] / А. И. Верлан / Наука та прогрес транспорту : Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – Вип. 45. – С. 75-85.

9. Козаченко, Д. Н. Проблемы управления парками грузовых вагонов в условиях реформирования железнодорожного транспорта [Текст] / Д. Н. Козаченко, Ю. В. Германюк / Транспортні системи і технології перевезень : Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 55-59.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Михалевим О. І. (Україна)*

Надійшла до редколегії 25.05.2015.

Прийнята до друку 26.05.2015.