

УДК 656.222.5

В. В. СКАЛОЗУБ<sup>1\*</sup>, О. П. ІВАНОВ<sup>2\*</sup>, О. М. ШВЕЦЬ<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Фак. «Технічна кібернетика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-52, ел. пошта skalozub\_vl\_v@mail.ru, ORCID 0000-0002-1941-4751

<sup>2\*</sup> Каф. «Комп'ютерних інформаційних технологій», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта iv\_inbox.ru, ORCID 0000-0003-1259-6377

<sup>3\*</sup> Каф. «Комп'ютерних інформаційних технологій», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта shvetsom@mail.ru, ORCID 0000-0002-7175-2256

## НЕЧІТКІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

**Мета.** Вирішення завдань із забезпечення ефективності, надійності та безпеки процесів експлуатації технічних систем (ТС), спрямованих на підвищення стійкості залізничних перевезень, потребує урахування комплексу умов невизначеності. У статті розроблені або удосконалені нечіткі моделі і методи управління процесами експлуатації парків ТС, зокрема електричних двигунів (ЕД) стрілочних переводів, призначені для підвищення рівня пропускної спроможності залізничної мережі. Удосконалено методи планування черговості діагностування та ремонтів ЕД. Моделі призначені для систем автоматизованого управління експлуатацією парків ТС. Вони повинні враховувати різну форму інформації про технічний стан засобів транспортної системи (статистична, нечітка), забезпечувати можливості адаптації параметрів процедур планування, бути придатними для застосування інтелектуальних методів управління парками ТС. **Методика.** Розробки проведені на основі даних моніторингу та діагностування ЕД стрілочних переводів, які знаходилися в умовах робочих навантажень. Управління експлуатацією ЕД виконується на основі індивідуальних інтелектуальних моделей. Показники стійкості функціонування залізничних ділянок ураховують відхилення від нормативного графіка руху поїздів. Черговості обслуговування і ремонтів ТС визначається на основі нечіткої двохетапної моделі планування. Для аналізу та прогнозування параметрів затримки поїздів на ділянках застосовано методи нечіткого управління. **Результати.** Удосконалені нечіткі моделі і методи автоматизації управління експлуатацією парків технічних систем, призначені для забезпечення стійкості залізничних перевезень. **Наукова новизна.** Отримали розвиток методи автоматизованого управління експлуатацією залізничних технічних систем шляхом застосування нечітких двохетапних моделей планування черговості обслуговування. Для аналізу і прогнозування часу затримок поїздів на ділянках розроблено модель нечіткого управління. Виконано порівняльний аналіз стохастичних і нечітких двохетапних методів управління. **Практична значимість.** Результати розробки і досліджень забезпечують можливість автоматизації процесів експлуатації парків технічних систем з урахуванням нечітких параметрів систем управління. Вони дозволяють застосовувати нечітку інформацію для підвищення ефективності процесів планування обслуговування, а також стійкості залізничних перевезень.

**Ключові слова:** процеси експлуатації, парки технічних систем, залізничні перевезення, пропускна спроможність, стійкість перевезень, затримка поїзда, електричні двигуни стрілочних переводів, нечітке управління, двохетапні моделі планування, черговість обслуговування.

**Цель.** Решение задач по обеспечению эффективности, надежности и безопасности процессов эксплуатации технических систем (ТС), направленных на повышение устойчивости железнодорожных перевозок, требует учета комплекса условий неопределенности. В статье разработаны или усовершенствованы нечеткие модели и методы управления процессами эксплуатации парков ТС, в частности электродвигателей (ЭД) стрелочных переводов, в отношении повышения уровня пропускной способности железнодорожной сети. Усовершенствованы методы планирования очередности диагностики и ремонтів ЭД, с учетом влияния на устойчивость параметров пропускной способности и эффективности перевозок. Модели предназначены для систем автоматизированного управления эксплуатацией парков ТС. Они должны учитывать различные виды неопределенности параметров состояния систем (статистическая, нечеткая), быть пригодными для применения интеллектуальных методов управления парками ТС. **Методика.** Разработки проведены на основе данных мониторинга и диагностирования ЭД стрелочных переводов, которые находились в условиях рабочих нагрузок. Управление эксплуатацией ЭД выполняется на основе индивидуальных интеллектуальных моделей. Расчет характеристик устойчивости функционирования железнодорожных участков основан на значе-

ниях отклонений от нормативного графика движения поездов. Очередности обслуживания и ремонтов ТС определяется на основе нечеткой двухэтапной модели планирования. Для анализа и прогнозирования параметров задержки поездов на участках применены методы нечеткого управления. **Результаты.** Усовершенствованы нечеткие модели и методы автоматизации управления эксплуатацией парков технических систем, предназначенные для обеспечения устойчивости железнодорожных перевозок. **Научная новизна.** Получили развитие методы автоматизированного управления эксплуатацией железнодорожных технических систем путем применения нечетких двухэтапных моделей планирования очередности обслуживания. Выполнен сравнительный анализ стохастических и нечетких двухэтапных методов управления. **Практическая значимость.** Результаты разработки и исследований обеспечивают возможность автоматизации процессов эксплуатации парков технических систем с учетом нечеткой определенности параметров систем управления. Они позволяют применять нечеткую информацию для повышения эффективности процессов планирования обслуживания, а также для обеспечения устойчивости железнодорожных перевозок.

*Ключевые слова:* процессы эксплуатации, парки технических систем, железнодорожные перевозки, пропускная способность, устойчивость перевозок, задержка поезда, электрические двигатели стрелочных переводов, нечеткое управление, двухэтапные модели планирования, очередность обслуживания.

**Purpose.** To solve the problems of efficiency, reliability, and safety of the operation of processes technical systems (TS), aimed at improving the sustainability of rail transportation, required to take into account the complex conditions of uncertainty. In the article is developed or improved fuzzy models and methods of process control operation of parks the TS, in particular the electric motors (ED of turnouts, in respect of improving the current capacity of the railway network. In article the methods of planning the priorities for the diagnosis and repair of ED have been improved. Models are designed to automate the operation of parks the TS. The models must take into account the different types of uncertainty (statistical, fuzzy) and they will be suitable for application of intelligent management of parks TC. **Methods.** Developments have been carried out on the basis of the monitoring and diagnosis of ED turnouts that were under workloads. Management of operation DE is executed on the basis of individual intelligent models. In the calculation of the sustainability of the railway sections used the values of deviations from the train schedule. The regular maintenance and repair of the TS is determined on the basis of fuzzy two-stage model of planning. For predict the values of the parameters is used the method of fuzzy control. **Results.** Improved fuzzy models and methods are designed to automate the operation of the parks the TS in order to increase the stability of railway transportations. **Scientific novelty.** The method of the automated control for operation of the railway TS with use fuzzy two stage model have been developed. For the analysis and prediction the time of delays trains on railway sections the fuzzy control model has been developed. **The practical significance.** The results enable automation the operation of the park TS, taking into account the fuzzy parameters of control systems. They provide the ability to use fuzzy information to improve the effectiveness of planning services, as well as to ensure the sustainability of rail transportations.

*Keywords:* operational processes, the engines, rail transport, capacity, sustainable transport, delayed trains, electric motors, turnouts, fuzzy control, two-stage planning model, sequence of diagnosis and repair.

## Вступ

Вимоги до сучасних залізничних перевезень охоплюють і завдання щодо ефективності, надійності та безпеки процесів експлуатації технічних систем (ТС), вирішення логістичних та інших технологічних завдань, з урахуванням комплексу умов невизначеності. У статті вирішується завдання із розроблення або удосконалення моделей і методів експлуатації парків ТС з урахуванням невизначеності нечіткого типу [1, 2], призначених для забезпечення стійкості залізничних перевезень стосовно рівнів пропускної спроможності мережі. У якості ТС при аналізі обрано залізничні стрілочні переводи, а також процеси експлуатації парків їх електричних двигунів (ЕД), моделі ДП 0.18, ДП 0.25, МСП 0.15, МСП 0.25) [3, 4]. Експлуатація парків ЕД на Укрзалізниці здійснюється на основі планово-попереджувального методу, з ураху-

ванням нормування [5]. Удосконалення процесів експлуатації парків ТС (локомотивів, стрілочних переводів, електродвигунів ін.) з урахуванням параметрів поточного стану, являється актуальною проблемою, також з точки зору забезпечення стійкості процесів залізничних перевезень. Збереження певного рівня ефективної їх реалізації при виникненні відмов і обмежень пропускної спроможності поїздоділянок можливе шляхом підвищення надійності технічних засобів залізничної інфраструктури (парків ЕД, зокрема), а також удосконалення процедур планування недетермінованих процесів [6].

Завдання із підвищення стійкості перевезень на основі показників технічної надійності стрілочних переводів або їх компонентів (ЕД), може бути представлено як управління експлуатацією парка ТС [3, 4]. При цьому розглядається множина ТС і процеси їх експлуатації. ТС характеризуються наборами властивостей, мають певний «поточний» стан, що відображає мож-

ливості подальшої експлуатації. Відомі ресурси (технічні, матеріальні, трудові ін.), необхідні або ж виділені для експлуатації парку об'єктів. Вирішуються завдання щодо автоматизації процесів із моніторингу і визначення поточного технічного стану компонентів системи (ЕД), а також виявлення прихованих несправностей. На основі даних моніторингу об'єктів будуються індивідуальні інтелектуальні моделі (ІМ) окремих ТС, реалізовані на основі мереж Кохонена [1], що забезпечують прогнозування можливих відмов. ІМ побудовані на основі аналізу частотного спектру робочого струму ЕД [3], для отримання спектральних характеристик струму використовується швидке перетворення Фур'є. Засоби автоматизації ураховують ІМ зміни технічного стану, а також встановлюють раціональну черговість обслуговування та відновлення парку ТС.

Зазначені вище процедури автоматизованої експлуатації парків ТС повинні бути інтегрованими, функціонувати у відповідності до потреб підвищення рівня стійкості процесів залізничних перевезень.

### Постановка завдання дослідження

У статті сформовані та досліджені удосконалені нечіткі моделі планування черговості експлуатації, діагностування ТС та їх ремонтів, з урахуванням впливу можливих відмов на стійкість параметрів пропускної спроможності та ефективність процесів перевезень.

Далі під стійкістю функціонування (надійністю) розуміється властивість системи зберігати придатність до виконання визначених функцій при встановлених умовах. Комплексна характеристика надійності визначається набором показників з урахуванням умов експлуатації. Параметром, що визначає стійкість процесу функціонування залізничних ділянок, являється відхилення реального від нормативного графіка руху поїздів. При цьому відмови (затримка прибуття/відправлення поїздів ін.) можуть бути викликані технічними засобами інфраструктури, які визначають технічну надійність пропускної спроможності ділянки (колія, стрілочні переводи, пристрої СЦБ ін.), а також організаційно-технологічними причинами [6]. Затримки поїздів на мережі виникають та залежать від насиченості графіка руху, розташування поїздів різних категорій на ділянках, забезпечення технічної надійності та інших випадкових і невідзначених факторів.

Через складність системи факторів, а також їх зв'язків між собою і параметрами інфраструктури,

розглядаються завдання із удосконалення моделей управління процесами експлуатації з урахуванням факторів недетермінізму, зокрема нечіткості.

### Стохастичні та нечіткі двохетапні моделі планування процесів експлуатації парків залізничних технічних систем

Для забезпечення надійності та стійкості залізничних перевезень необхідно попередньо урахувати можливі відмови, збої у реалізації графіку руху поїздів, які залежать від планування процесів експлуатації ТС. Для цього сформуємо стохастичну двохетапну модель із оптимального планування (СДМОП) [7] черговості ремонтів (діагностування) ЕД кожної поїздоділянки. Модель визначається через сценарії або шаблони  $Sh_k(V_k, H_k, P_k)$  відмов  $V_k$ , як різних можливих послідовностей «збоїв» ТС на ділянках. Шаблони містять значення характерних параметрів умов невизначеності  $\theta$ , оцінки додаткових витрат на компенсацію збурень  $H_k$  та їх ймовірності  $P_k$ . На основі даних ІМ процесів експлуатації ЕД, а також характеристик важливості поїздоділянок, генеруються вектори  $X_{kj}$  послідовностей обслуговування парку ЕД. Серед них шляхом на основі СДМОП визначається оптимальний  $X_{kj^*}$  [7].

У СДМОП параметри  $X_{kj^*}$  визначаються 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  $X^{(t)}$  при апіорі відомих ймовірностях  $\{p(\theta_i)\}_s$ . Визначимо стани  $\theta$  діапазонами значень можливих відхилень  $[d_i^1, d_i^2]$  графіка руху (затримок прибуття/відправлення поїздів)

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

де  $h_i(\theta_i)$  – оцінки питомих додаткових витрат при корегуванні графіку перевезень в умовах  $\theta_i$ . При цьому модель СДМОП задачі планування  $X_{kj}$  має вигляді

$$\{\Psi(X) = B(X) + M[f_h(X, Y(X, \theta), \theta)]\} \Rightarrow \min_{X \in G_X} (2)$$

Модель (2) має наступні складові:  $B(X)$  – детермінована функція вартісної оцінки вектора

$X_{kj}$  при виконанні графіка руху,  $f_h^*$  – витрати на коректування графіка в умовах  $\theta$ ,  $Y(X^{(t)}, \theta)$ ,  $M[*]$  – знак математичного сподівання,  $G_X$  – область допустимих значень на етапі  $t$ ,  $X^{(t)}$ . При реалізації (2) [7] для деякого  $X' \in G_X$  і для кожного  $\theta_i \in \theta$  розраховують та узагальнюють по  $p(\theta_i)$  значення  $f_h(X', Y', \theta_i)$ . Вони разом із  $B(X')$  дають оцінку  $X': \Psi(X')$ , яка вимірює якість  $X' \in G_X$ . Відповідно (2) оптимальний  $X_{kj^*}$  забезпечує мінімум суми витрат на обслуговування парку ЕД при виконанні графіка руху і очікуваних додаткових витрат за умов відмов процесу залізничних перевезень.

У разі відсутності достовірних статистичних даних замість ймовірнісних моделей можливо застосовувати нечіткі аналоги. Вони базуються на формуванні лінгвістичного опису даних щодо відмов перевізного процесу, з подальшим застосуванням методів нечіткого управління [1, 2].

Побудуємо нечітку двохетапну модель управління експлуатацією парків ТС. Як указувалось, при управлінні процесами при невизначеності використовують додаткову інформацію. Для обліку різних недетермінованих варіантів реалізації процесів застосовують відповідну двоетапну модель оптимального планування [3], тут – нечіткого (НДМОП). З використанням її ведеться розрахунок черговості діагностики (ремонтів) ЕД стрілочних переводів.

При формалізації задачі НДМОП визначається апріорна інформація  $Sh_k(V_k, H_k, \mu_k)$ . як варіанти сценаріїв відмов  $v_k$  процесу перевезень (можливі відхилення графіка руху ін.). Для них описують значення характерних параметрів умов нечіткості  $\mu$ , а також оцінюють додаткові витрати на компенсацію збурень (як детерміновані  $H_k$  або нечіткі  $\bar{H}_k$  функції), представлених нечіткими показниками можливості їх виникнення  $\mu_k$ . Вважають заданими функції (детерміновані  $F(X)$  або нечіткі  $\bar{F}(X)$ ) з оцінки ефективності планів  $X(Sh_k(V_k, H_k, \mu_k))$  обслуговування парку ЕД –  $\bar{F}(X)$ . Потрібно визначити оптимальний вектор  $X^*(X_{kj^*})$  послідовностей обслуговування, застосовуючи НДМОП.

Визначимо стани  $\mu_i$  як детерміновані

$[d_i^1, d_i^2]$  або нечіткі  $[\hat{d}_i^1, \hat{d}_i^2]$  діапазони значень можливих відхилення графіка руху (затримок прибуття / відправлення поїздів)

$$\mu_i = \langle [\mu_i^1, \mu_i^2], h_i(\mu_i), \mu(\mu_i) \rangle;$$

$$\mu_i = \langle [\hat{\mu}_i^1, \hat{\mu}_i^2], \hat{h}_i(\mu_i), \mu(\mu_i) \rangle, \quad (3)$$

де  $h_i(\mu_i)$ ,  $\hat{h}_i(\mu_i)$  – питомі оцінки (детерміновані або нечіткі) додаткових витрат на коректування графіка в умовах  $\mu_i$ . Представимо НДМОП планування векторів  $X(X_{kj})$  у вигляді

$$\{\Phi(X) = \bar{B}(X) + \hat{E}[\hat{f}(X, Y(X, \mu), \mu)]\} \Rightarrow \min_{X \in G_X} \quad (4)$$

В (4) позначено: детермінована  $B(X)$  або нечітка функція  $\bar{B}(X)$  – вартісна оцінка вектора  $X_{kj}$  при виконанні графіка руху  $\hat{f}_h^*$  – функція додаткових витрат на коректування для умов  $\mu$ ,  $Y(X^{(t)}, \mu)$ ,  $\hat{E}[*]$  – знак операції нечіткого виведення для величин  $\hat{f}_h^*$ ,  $G_X$  – область допустимих значень на етапі  $t$ ,  $X^{(t)}$ .

Для реалізації (4) використовують процедури арифметики нечітких трикутних чисел [8]. Якщо всі нечіткі величини (3), (4), тобто  $\bar{B}(X)$ ,  $\hat{f}_h^*$ ,  $\mu(\mu_i)$ , мають форму векторів із 3-х значень –  $(\alpha_w, \alpha_w, \beta_w)$ , являються відповідно центрами, лівими і правими коефіцієнтами нечіткості. В рамках арифметики нечітких трикутних чисел розрахунок оцінок  $\Phi(X)$  схематично можливо представити у вигляді:

$$X \rightarrow \{\hat{f}_k(X)\}, \bar{B}(X) \rightarrow \quad (5)$$

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

Послідовність етапів (5) дає узагальнений алгоритм розрахунку оцінок нечіткого управління. У ній знаки  $\{\otimes, \oplus\}$  представляють відповідно операції добутку та суми в рамках названої арифметики. Отримані при цьому значення  $\Phi(X)$  далі використовують в процедурах НДМОП для знаходження  $X^*(X_{kj^*})$  в умовах нечіткої невизначеності процедур планування.

### Порівняльний аналіз стохастичних і нечітких моделей процесів експлуатації

Виконаємо порівняння результатів планування з використанням стохастичної (1), (2) та нечіткої (3) – (5) двохетапних моделей. Основні параметри моделі (1), (2) зведено у табл. 1, що

містить наступне: порівнюються два вектори упорядкування обслуговування  $X$ , для яких визначено основні витрати  $V(X)$  (у відносних величинах), ймовірності можливих відмов  $\{P1, P2, P3\}$  і відповідні додаткові витрати  $\{f1(X), f2(X), f3(X)\}$ , також задані у відносних порівнюваних величинах. Змістовно додаткові витрати відповідають таким затримкам у руху годинах  $\{0.5; 1.0; 1.5\}$ . При цьому отримано наступні оцінки показника ефективності моделі (2):  $Y1 = 16.8$ ;  $Y2 = 16.3$ . Тобто перевагу має упорядкування 2. Для  $V(X1) = 10$ ,  $V(X2) = 8.8$  отримано  $Y1 = 11.8$ ;  $Y2 = 11.1$  відповідно.

Таблиця 1

Параметри стохастичної моделі

X	V	P1/f1	P2/f2	P3/f3
1	15	0,5 / 1	0,2 / 3	0,1 / 7
2	14	0,4 / 1,2	0,25 / 2,8	0,15 / 7,5

Розрахунки по нечіткій моделі (3) – (5), сформованій за допомогою трикутних чисел [8], для зручності порівнянь також виконаємо на основі табл. 1, але при заміні значень параметрів їх нечіткими трикутними аналогами. По перше, замість детермінованих ймовірностей  $\{P1, P2, P3\}$ , значення яких практично встановити складно, використаємо трикутні моделі, а саме:  $(0.4; 0.1; 0.15)$ ,  $(0.25; 0.05; 0.15)$ ,  $(0.15; 0.05; 0.05)$ . При цьому отримано наступні трикутні значення  $Y2 = (16.30; 0.63; 0.98)$ . рис.1:

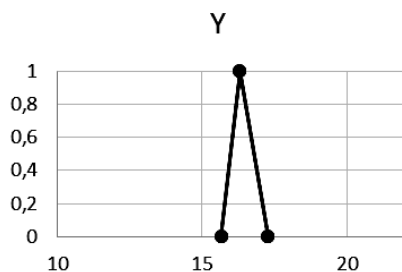


Рис. 1. Нечітка трикутна величина значення результатів планування  $Y$ , модель (4)

У разі представлення даних  $X2$  табл. 1 нечіткими трикутними величинами, відповідно  $(14; 3; 3)$ ,  $(0.4; 0.1; 0.15)$ ,  $(0.25; 0.1; 0.15)$ ,  $(0.15; 0.05; 0.05)$ ,  $(1.2; 0.2; 0.2)$ ,  $(2.8; 0.3; 0.2)$ ,  $(7.5; 0.5; 1.0)$ , отримаємо вихідну величину (5)  $Y2 = (16.30; 3.8; 4.37)$ , рис. 2. Тобто для вхідних нечітких функцій отримано суттєві збільшення коефіцієнтів нечіткості трикутних величин  $Y$ , рис. 2. Нечітка двохетапна модель планування на основі трикутних чисел (3) – (5) дозволяє отримати результати, які також подані трикутними числами, причому їх центри дорівнюють значенням стохастичній моделі (1), (2), а ліві і пра-

ві коефіцієнти невизначеності результату залежать від відповідних параметрів операндів операцій  $\{\otimes, \oplus\}$  у (4), (5).

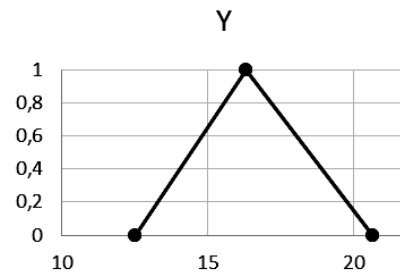


Рис. 2. Нечітке значення моделі (4) результатів планування  $Y$  при нечітких функціях оцінок витрат

Такі нечіткі представлення результату, рис. 1, рис. 2, по перше, можуть бути використані в подальшому для процедур нечіткого управління, представлених нижче, по друге, на їх основі шляхом встановлення  $\alpha$ -рівнів (наприклад, 0.8; 0.9) визначають діапазони очікуваних оцінок критерію. Порівняння інтервалів для  $\alpha$ -рівнів рис. 1 – рис. 2 (0.8) показує їх збільшення. Саме інтервальна, а не точкова оцінка результуючого показника при цьому є «платою» за нечітку форму подання факторів невизначеності.

#### Нечіткі моделі для аналізу параметрів процесів затримки поїздів на ділянках

Сформуємо узагальнену модель логіко-лінгвістичної процедури оцінки очікуваної затримки деякого поїзда на визначеній ділянці. Результуючим параметром моделі є лінгвістична змінна «Очікувана затримка прибуття –  $\tilde{Y}_T$ »; вхідними лінгвістичними змінними являються «Відхилення від графіку в пункті « $k$ » –  $\tilde{X}_k$ », а також «Число поїздів на ділянці –  $\tilde{X}_n$ ». Лінгвістичні змінні утворюються наступними нечіткими термами, для простоти однаковими для всіх « $k$ »:  $\tilde{X}_k = \langle \tilde{X}_{kL}, \tilde{X}_{kM}, \tilde{X}_{kB} \rangle$ , де терми послідовно визначають малі (до 15 хвилин), середні (приблизно 40 хв.) і великі (80 хв.) відхилення від нормативного графіку руху. Таку ж структуру має змінна  $\tilde{X}_n$ , причому при розрахунках малим вважається число «біля 3», середнім – «приблизно 6», а великим – «приблизно 10». Відповідно лінгвістична змінна із оцінки затримки  $\tilde{Y}_T$  має ту ж структуру, а її нечіткі терми визначено наступними: «приблизно 20 хв», «приблизно 50 хв», «приблизно 100 хв». Така модель може бути сформована за результатами

обмеженого числа спостережень процесів перевезень на ділянці, з подальшим «узагальненням», виходячи з практики.

Реалізація наведеної лінгвістичної моделі передбачає можливості використання різних

форм опису функцій приналежності термів, а також процедур виведення [8]. Дослідження впливу цих чинників на результати прогнозу очікуваних затримок прибуття поїздів представлено на рис. 3 та у табл. 2.

Таблиця 2

Аналіз логіко-лінгвістичних моделей і методів нечіткого управління

Варіанти	Відхилення, $\tilde{X}_k$ , хв.	Поїзди, $\tilde{X}_n$ , шт.	Т-Ц	Т-М	П-Ц	П-М	Г-Ц	Г-М
1	10	1	20	7	15	1	25	10
2	10	5	54	40	52	45	42	42
3	40	2	20	13	15	1	39	2
4	40	10	96	99	101	100	85	99

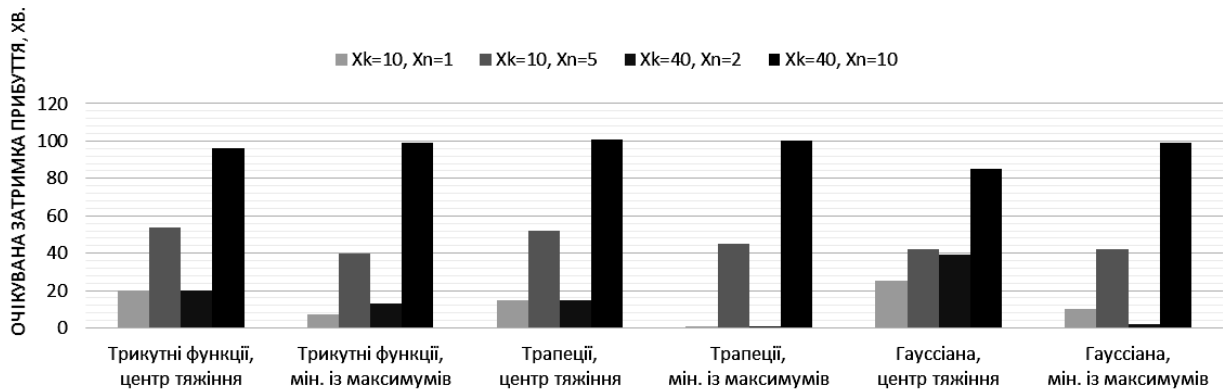


Рис. 3. Порівняльні результати із вибору структури нечітких моделей розрахунку параметрів затримки поїздів

У табл. 2 представлено вхідні дані моделей (відхилення від графіку у визначеному пункті, число поїздів на ділянці), а також обрані види функцій приналежності (трикутна – Т, трапеція – П, функції Гауса – Г) і методи дефазифікації (центр тяжіння – Ц, мінімум із максимумів – М [2]), комбінації яких (наприклад Г – Ц) показують структуру нечіткої моделі. Рис. 3 дає графічне порівняння результатів реалізації нечітких моделей різних типів із наступною базою правил:

*if Відхилення\_від\_графіку is МАЛО and Число\_поїздів\_ділянка is МАЛО then Затримка\_прибуття is МАЛО;*

*if Відхилення\_від\_графіку is БАГАТО and Число\_поїздів\_ділянка is БАГАТО then Затримка\_прибуття is БАГАТО;*

*if Відхилення\_від\_графіку is not БАГАТО and Число\_поїздів\_ділянка is СЕРЕД then Затримка\_прибуття is СЕРЕД;*

*if Відхилення\_від\_графіку is not МАЛО and Число\_поїздів\_ділянка is БАГАТО then Затримка\_прибуття is БАГАТО;*

*if Відхилення\_від\_графіку is not БАГАТО and Число\_поїздів\_ділянка is МАЛО then Затримка\_прибуття is МАЛО* та ін.

Терми правил представлені зазначеними видами функцій приналежності. На підставі аналізу обрано модель типу Г – Ц, рис. 3. Разом з цим аналіз наведених методів управління ще раз підтвердив суттєвість завдання щодо визначення структури нечіткого моделювання, як зазначається у [1, 2, 9] та ін.

### Висновки

У роботі отримано розвиток моделей і методів управління експлуатацією парків технічних систем [9, 10] в умовах невизначеності нечіткого типу. Об'єктом управління являються процеси експлуатації парків [10], у роботі – електричних двигунів залізничних стрілочних переводів, спрямовані на забезпечення встановленого рівня стійкості залізничних перевезень в умовах невизначеності на основі визначення оптимальної черговості обслуговування ТС.

У побудованих моделях планування процесів урахується різна можлива форма апріорної інформації (статистична, нечітка) про тех-

нічний стан та шаблони відмови засобів системи залізничних перевезень. За аналогією із стохастичними сформовані нечіткі двохетапні моделі експлуатації парків залізничних ТС, реалізовані на основі нечітких трикутних величин. Порівняльний аналіз моделей умов планування різних категорій невизначеності дозволяє отримати достовірну інформацію про параметри процесів у вигляді числових інтервалів, які відповідають різним вимогам щодо визначення характеристик поточного стану.

Нечітка модель для аналізу параметрів процесів затримки поїздів на ділянках представляє реалізацію підходу до прогнозування показників виконання графіку руху поїздів на основі обмежених даних спостережень, що можуть бути узагальнені у логіко-лінгвістичній формі. Дослідження математичних моделей лінгвістичних термів дозволило оцінити функціональну придатність і точність отриманих результатів планування.

Виконаний аналіз показав можливість застосування розроблених нечітких моделей для підвищення ефективності процесів експлуатації парків залізничних технічних систем, призначених для забезпечення стійкості процесів перевезень.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / Пер. с англ. А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева, под ред. Ю. В. Тюменцева – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. – 798 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский – Москва: Гарячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
3. Скалозуб, В. В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока [Текст] / В. В. Скалозуб, О. М. Швец // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 7-11.
4. 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.

5. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв, сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) [Текст] : Затв.: Наказ Укрзалізниці 07.10.2009 № 090-ЦЗ. – Київ, 2009. – 88 с.

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

7. Ермольев, Ю. М. Математические методы исследования операций [Текст] : Учеб. пособие для вузов / под ред. Ю. М. Ермольева. – Киев, 1979. – 302 с.

8. Яхьяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети [Текст] / Г. Э. Яхьяева. – Москва: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 320 с.

9. Жуковицький, І. В. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад [Текст] / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, О. В. Ветрова, О. Л. Зіненко // Наука і прогрес транспорту : Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2006. – Вип. 12. – С. 75-78.

10. Козаченко, Д. Н. Проблемы управления парками грузовых вагонов в условиях реформирования железнодорожного транспорта [Текст] / Д. Н. Козаченко, Ю. В. Германок / 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 15.05.2015.

Прийнята до друку 16.05.2015.